

磨工与磨削

朱祖根 杭根新 编

·6

机械工业出版社

本书共分七章,就磨削原理、光滑表面的形成、磨削力及磨削热、磨削后工件表面质量、磨料磨具种类、砂轮的选择以及高硬度磨料磨具作了简要介绍。此外还对各种高效磨削、高精度、低粗糙度磨削、特殊材料及特种工件的磨削方法一一作了叙述;并对磨床的夹具和附件、防护与冷却也作了介绍。全书主要以高速磨削为主,结合普通磨削加以叙述。

本书可供从事磨削加工的技术人员和操作工人阅读,也可作工科院校师生参考用书。

磨 工 与 磨 削

朱祖根 杭根新 编

责任编辑:林佩珊
封面设计:郭景云

机械工业出版社出版(北京阜成门内大街甲22号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/32·印张 3.0 3/8·字数 225 千字

1988年3月北京第一版·1988年3月北京第一次印刷

印数 0,001—0,400·定价:2.70 元

ISBN 7-111-00355-1/TG·111

前 言

随着我国社会主义建设事业的不断发展,对机械产品的精度和性能要求越来越高。要提高机械产品的质量,必须提高零部件的质量,这是非常重要的一个环节。

目前,多数机械产品的主要零件精度,是通过磨削技术来达到的,而经过淬硬的工件要达到高精度和低粗糙度更需如此。由此可见,磨削技术对提高产品质量具有重要意义。

磨削技术在生产中的应用日益广泛,目前在工具、农机、机床、轴承、汽车、航空等工业部门正在逐步推广高效、高精度及低粗糙度磨削。

编写本书目的,是为了使广大磨工和有关技术人员熟悉和掌握高效、高精度、低粗糙度的磨削技术,我们把广大磨工在生产实践中积累的磨削工艺参数等方面的磨削经验归纳总结,以便更好地为提高机械产品质量服务,为此,本书对各种磨削方法作了一一介绍。

本书简要叙述了磨削原理及磨料磨具,并以高效、高精度、低粗糙度磨削,特殊材料及特种工件磨削为重点,较详细地介绍了磨削工艺方面的问题。还对各种冷却方法,一般防护及高速磨削防护作了简要介绍。

本书内容主要根据上海机床厂、上海冲剪机床厂等单位的磨削经验编写而成,同时也吸取了一些单位操作者的实践经验,并参阅了一些国内外有关资料。

本书在编写过程中，得到了上海磨床研究所王时正工程师，何秀寿工程师、马金荣工程师、新中机器厂俞和庆同志的热情关心和帮助，并得到了浙江工学院张澄老师的精心审阅，谨在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，错误在所难免，请广大读者指正。

编者

主要符号及其名称

v_s	砂轮线速度(砂轮速度)(m/s)
n_s	砂轮转速(r/min)
v_w	工件线速度(工件速度)(m/min)
n_w	工件转速(r/min)
q	速比——砂轮速度与工件速度之比 v_s/v_w
v_f	砂轮进给速度(mm/min)
Δ	工件每转砂轮的切入进给量(mm/r)
s	工作台纵向进给速度(mm/min)
u	工件每转工作台纵向进给量(mm/r)
t	横向进给量(磨削深度)(mm/行程)
D_s	砂轮直径(mm)
d_w	工件直径(mm)
ΔR_s	砂轮半径磨损量(mm)
Z	单位时间金属切除量(cm^3/min)
Z'	金属切除率($\text{mm}^3/\text{mm} \cdot \text{s}$)
$\bar{Z}$	砂轮在耐用度期间的平均金属切除率($\text{mm}^3/\text{mm} \cdot \text{s}$)
Q	在耐用度期间内切除的金属总体积(cm^3)
Q'	金属总切除量(mm^3/mm)
T	砂轮耐用度——两次修整之间的总磨削时间(min)
τ	磨削时间(s)
R_a	工件表面粗糙度高度参数的允许值(μm)
Q_v	去除金属总切除量砂轮体积磨损量(mm^3)
G	磨削比——磨去的金属体积与砂轮磨损体积之比
N_s	磨削功率(kW)
U	比能量——磨去单位体积的金属所消耗的 能量($\text{kgf} \cdot \text{m}/\text{mm}^3$)

F	总磨削力(kgf)
F_n	法向磨削力(kgf)
F_t	切向磨削力(kgf)
N	电机功率(kW)
l	砂轮表面相邻两磨粒的距离(mm)
L	未变形切屑长度或接触弧长(mm)
θ	磨削热($^{\circ}\text{C}$)
$a_{\max}$	每颗磨粒切去的最大未变形切屑厚度
Δa_w	每次平均金属切除量
l_s	修整导程——砂轮每转金刚石的移动距离(mm/r)
s_s	修整速度(mm/min)
t_s	修整深度(修整时横向进给量(mm/行程))
H_s	修整层厚度——每次修整时切去的砂轮厚度(mm)
f	单位面积内切削力(kgf/mm ²)
B	砂轮磨削宽度(mm)

目 录

前言

第一章 磨削原理及工艺参数选择1

第一节 磨削原理1

一、光滑表面的形成1

二、磨削过程及磨屑的形成6

三、磨削力及磨削热11

四、磨削后工件表面质量15

第二节 磨削工艺参数的选择20

一、磨削余量的确定20

二、砂轮修整及其修整用量的选择21

三、磨削用量的选择39

第二章 磨料磨具46

第一节 磨具的种类与结构特点46

一、组成磨具三要素的作用46

二、磨具的种类及其作用46

第二节 砂轮的选择与应用53

一、磨料的种类与粒度的选择53

二、结合剂的选择56

三、砂轮硬度与组织的选择57

四、砂轮的几何特性59

第三节 超硬度磨料磨具62

一、超硬度磨料磨具62

二、金刚石砂轮的选择63

三、金刚石砂轮的结构67

四、立方氮化硼的特性70

五、立方氮化硼的使用	72
第四节 砂轮的平衡与安装	72
一、砂轮的平衡	72
二、砂轮的平衡方法	73
三、砂轮的检查和安装	77
四、砂轮的安全使用与保管	82
第三章 高效磨削	84
第一节 高速磨削	84
一、高速磨削的特点	84
二、高速磨削的要求	86
三、高速磨削的工艺参数	88
第二节 强力磨削	104
一、强力磨削的特点	104
二、强力磨削的工艺要求	105
三、强力磨削对机床的要求	106
四、强力磨削的砂轮修整	106
第三节 恒压力磨削	108
一、恒压力磨削的特点	109
二、恒压力磨削的原理	110
三、恒压力磨削的工艺参数	111
四、恒压力磨削的几个问题	115
第四节 宽砂轮磨削	116
一、宽砂轮磨削的特点	116
二、宽砂轮磨削对机床的要求	116
三、宽砂轮磨削用砂轮	116
四、宽砂轮磨削的工艺参数	120
第五节 多砂轮磨削	124
一、多砂轮磨削的特点	125
二、多砂轮磨削注意事项	125

三、多砂轮磨削的工艺参数	125
第六节 成形磨削	126
一、成形磨削的特点	126
二、成形修整器的形式	126
第七节 砂带磨削	130
一、砂带的结构及磨削特点	130
二、砂带磨削的应用范围	131
三、砂带磨削的工艺参数	131
四、砂带磨削的优缺点	133
五、砂带磨削的一般原理	133
六、砂带的安全使用	134
七、砂带磨削的发展前途	134
第八节 电解磨削	134
一、电解磨削的原理	134
二、电解磨轮	135
三、电解磨削对磨轮及机床的要求	136
四、电解液	137
五、电解磨削典型工件的工艺参数	138
六、电解磨削时应注意的事项	139
七、电解磨削的主要优点	140
第四章 高精度低粗糙度磨削	141
第一节 低粗糙度表面的形成及其影响因素	141
第二节 高精度低粗糙度磨削特点	143
第三节 高精度低粗糙度磨削工艺参数的选择	143
第四节 高精度低粗糙度磨削对机床的要求	152
一、提高机床刚性	152
二、减少机床振动	154
三、提高砂轮主轴旋转精度及轴承刚度	156
四、降低工作台速度, 满足修整砂轮要求	159

五、提高冷却液净度的措施	160
六、提高内圆磨削精度及降低表面粗糙度的措施	161
第五节 高精度低粗糙度磨削的砂轮选择	164
第六节 高精度低粗糙度磨削应注意事项	165
第七节 高精度低粗糙度磨削工件表面缺陷 的产生及其消除方法	165
第八节 高精度低粗糙度磨削实例	171
第五章 特殊材料和特种工件的磨削	178
第一节 硬脆材料的磨削	178
一、硬质合金的特性及其磨削的特点	178
二、金刚石磨具的磨削用量选择	181
三、开槽碳化硅砂轮的间断磨削	184
第二节 难磨材料的磨削	189
一、难磨材料的区分	189
二、难磨材料缺陷的产生及分析	191
三、磨削耐热合金钢的砂轮选择	194
四、磨削耐热合金钢的工艺参数选择	196
第三节 特殊材料的磨削	201
一、光学玻璃的磨削方法	201
二、光学玻璃的磨削工艺参数	204
三、橡胶轧辊的磨削	207
四、紫铜的磨削	208
五、磁钢的磨削	214
第四节 特种工件的磨削	216
一、细长轴类的磨削	216
二、薄片及薄壁零件的磨削	220
三、阶梯深磨法	224
第五节 刀具磨削	227
一、刀具的磨损和刃磨	227

二、刃磨砂轮的选择与修整	230
三、几种刀具的刃磨方式与方法	233
第六章 磨床夹具与附件	260
第一节 磨床夹具	260
一、通用夹具	260
二、磁性夹具	265
三、正弦夹具	268
四、组合夹具	272
五、电磁无心夹具	272
第二节 磨床附件	275
一、中心架的作用	275
二、中心架的结构形式与种类	276
三、使用中心架的要点	288
第七章 防护与冷却	291
第一节 防护装置	291
一、安全防护装置的作用	291
二、普通磨削的砂轮防护	292
三、高速及强力磨削的砂轮防护	293
第二节 冷却系统	294
一、冷却液的作用	295
二、冷却液的流量	295
三、冷却液的选择与配方	296
四、冷却液过滤系统	301
五、普通磨削时的冷却	309
六、高速磨削及强力磨削时的冷却	310
七、高速磨削冷却液的流量与压力	316
附录一 砂轮直径、转速与线速度关系	317
附录二 加工某些材料的砂轮选择参考	320
参考文献	320

第一章 磨削原理及工艺参数选择

第一节 磨削原理

随着机械工业向高效、高精度、低粗糙度、自动化方面发展，机械零件的精度要求越来越高。因此，必须进一步提高磨削的生产效率和加工质量，才能适应这一要求。

一、光滑表面的形成

磨削加工是在磨床上进行的一般磨削（表面粗糙度在 $R_a 0.1 \mu m$ 以下）光滑表面的形成，与铣削的比较如图1-1所示。砂轮当作一把多刀多刃的铣刀，每一颗磨粒就相当于一个“刀齿”，每一个粒尖就相当于一个刀刃，但它与铣刀又有不同的地方，砂轮有无数的“刀齿”，且刀齿的排列和刀齿的角度都是极不规则的，例如“刀齿”的前角 γ 有正有负，并且大小不一。以外圆磨床为例，砂轮作高速旋转外，又定期作

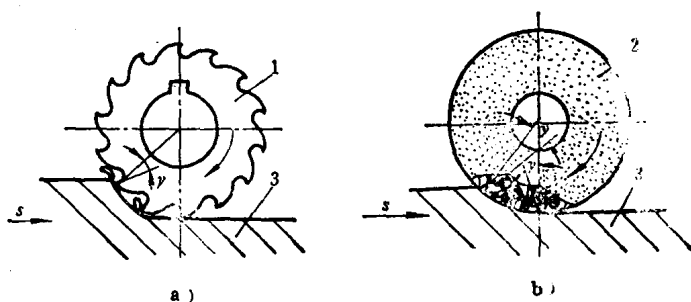


图1-1 铣削与磨削的比较

a) 铣削 b) 磨削

1—铣刀 2—砂轮 3—工件

横向进给,工件一面旋转,一面作纵向往复运动。加工时砂轮对工件表面进行“切除”,那些突起在砂轮周围表面的“刀齿”,在切削力的作用下,从工件表面上切除一条薄层的切屑,并在工件表面摩擦发热而产生火花。这样无数磨粒切削的结果,就把工件表面要切除的金属磨去,形成光滑表面。

对于精密磨削($R_a0.05\sim0.025\mu\text{m}$)、超精磨削($R_a0.025\sim0.012\mu\text{m}$)和镜面磨削($R_a0.01\mu\text{m}$)来说,其光滑表面的形成与一般磨削相似,但也有其本身的特点。低粗糙度磨削是由砂轮通过精细修整后形成等高的微刃切削作用和适当接触压力的摩擦抛光作用而使工件表面获得低粗糙度。

磨削加工与其他加工方法比较,有如下特点:

磨削加工比其他加工方法的精度高得多和粗糙度低得多。一般可达新标准5~7级精度,粗糙度达 $R_a0.8\sim0.1\mu\text{m}$ 。如采用高精度、低粗糙度磨削或镜面磨削方法,精度可达5级,粗糙度达 $R_a0.012\sim0.01\mu\text{m}$ 。

磨削加工既可加工软材料,如橡胶、塑料等,以及未淬火的钢件、铸铁件、有色金属件等。又可以加工硬度很高的材料,如淬火钢件、硬质合金以及耐热合金钢等,即能加工金属刀具难以加工的材料。

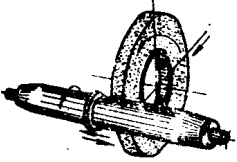
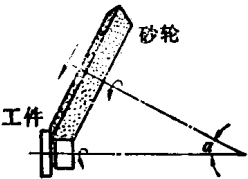
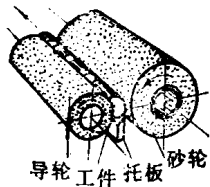
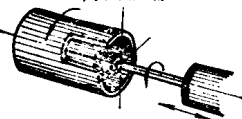
在一般情况下,磨削的深度较小,一次行程切除的金属层很薄。但目前已发展强力磨削、一次行程能切除几毫米甚至几十毫米厚的金属。

由于以上特点,磨削主要用于精加工,如加工内外圆柱面,内外圆锥面,各种平面,各类刀具表面和各种成型面等。

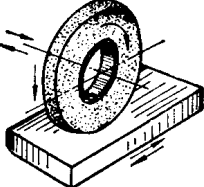
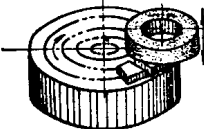
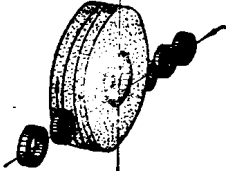
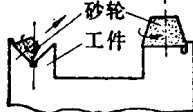
磨削的形式很多,有外圆磨削、内圆磨削、无心磨削、平面磨削、螺纹磨削、齿轮磨削、非圆磨削等等。若以砂轮工作表面来分,基本上可分为下列三种磨削方法:即周边磨

削、端面磨削和成形磨削。表1-1列举了按上述方法分类的几种常见的磨削形式，运动关系及其特点。除了表1-1所列举的以外，还有外圆切入、切向磨削、行星内圆磨削等等，对这些不一一列举。

表1-1 常见的磨削形式分类表

磨削方法	磨削形式	砂轮运动	工件运动	备注
周 边 磨 削	外圆纵磨 	1. 旋转 2. 横向进给	1. 旋转 2. 纵向往复移动	
	端面外圆斜切入磨削 	1. 旋转 2. 斜进给	旋 转	
	无心外圆磨削 	旋 转	由导轮带动旋转，并作轴向移动	导轮旋转
	内圆纵磨 	1. 旋转 2. 横向进给 3. 纵向往复移动	旋 转	

(续)

磨削方法	磨削形式	砂轮运动	工件运动	备注
周边磨削	平面磨削 	1. 旋转 2. 垂直进给 3. 横向进给	纵向往复移动	
	平面磨削 	1. 旋转 2. 垂直进给	旋 转	
端面磨削	双端面磨削 	旋 转	沿导向板移动	
	导轨磨削 	1. 旋转 2. 轴向进给	纵向往复移动	

(续)

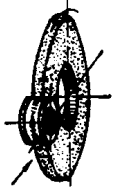
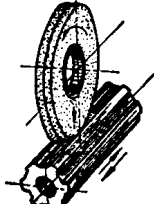
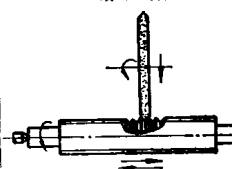
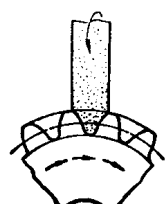
磨削方法	磨削形式	砂轮运动	工件运动	备注
成形磨削	轴承滚道磨削 	旋 转	1. 旋转 2. 进给	
	花键磨削 	1. 旋转 2. 垂直进给	1. 分度 2. 纵向往复移动	
	螺纹磨削 	1. 旋转 2. 横向进给	1. 旋转 2. 纵向移动	工件旋转和纵向移动保持一定的关系
	成形砂轮磨齿轮 	1. 旋转 2. 往复移动	分 度	

表1-1中所列举的磨削形式分类,不是一成不变的,还要根据具体条件决定。如表1-1中将花键磨削列入成形磨削一类里,但由于花键形状不同,要求也不一样,而且各厂根据设备条件和加工习惯所采用的方法也不同,既可以用端面磨削,也可以用周边磨削。又如齿轮磨削的方法,可分展成和成形磨削法,一般都采用展成法,很少采用成形法。

随着新的磨削工艺方法不断涌现,从改变磨削用量方面考虑,有高速磨削、强力磨削、恒压力磨削、蠕进给磨削等。从增大磨削面考虑,有宽砂轮磨削、多砂轮磨削、砂带磨削等。电解磨削也是一种高效率磨削,它比机械磨削效率高,也能达到表面低粗糙度的要求。

二、磨削过程及磨屑的形成

1. 磨削过程的工艺要求

磨削时,砂轮高速旋转,工件则根据不同的磨削方式,作旋转运动,直线运动或其他较复杂的运动。上面介绍了磨削时的几种运动,为了掌握磨削技术,下面具体分析一下磨削过程的一些工艺要求:

(1) 在磨削过程中,由于砂轮以很高的速度旋转,离心力很大,往往因砂轮结构不均匀(质量不好)或者安装不当产生振动,易造成砂轮碎裂而发生事故。因此,砂轮在使用前一定要严格地做好平衡工作。(粗修、精修二次平衡)。

(2) 在磨削过程中,由于磨屑、碎粒及粘结剂等在高温状态下都会堵塞砂轮的空隙,使砂轮的切削性能下降,在严重的情况下,砂轮的工作表面会被破坏,一般砂轮虽具有自锐性能,即磨粒磨钝后,在磨削力的作用下自行破碎或脱落,并露出新的磨粒及锐利的微刃;但单靠砂轮的自锐性是不能满足要求的,要使砂轮能继续正常磨削工件,还必须靠