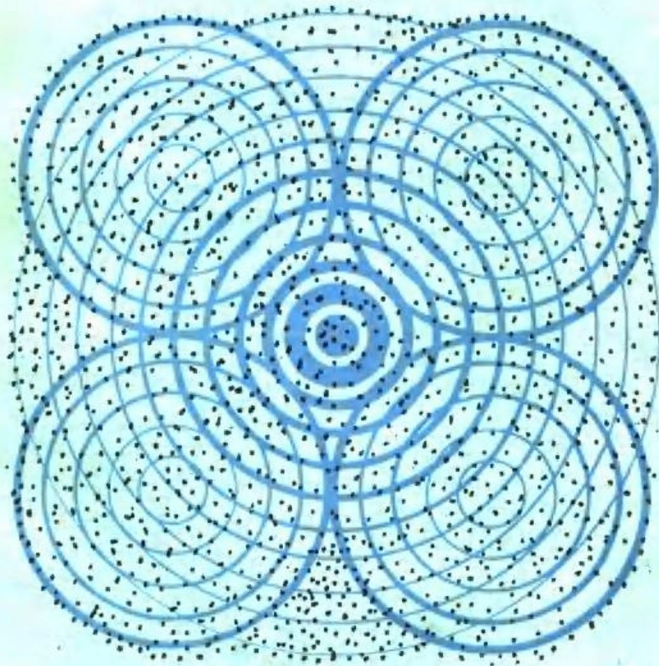


磨具选择与使用

(增订本)

刘蒲生 雷力生 严文浩 王文经等 编著



机械工业出版社

本书简要介绍了磨削加工中的一些基本理论、磨床型号、磨削工艺和磨具的安全使用等基本知识,以及磨料磨具的生产过程及其基本性能。

书中详细阐述了普通磨具和超硬磨具(包括金刚石和立方氮化硼磨具)的选择原则,同时介绍了对难磨材料和特殊磨削工艺中的磨具选择。书中还列有一些典型零件磨削时选择磨具的实例和磨具选择参考表。

本书系《磨具选择》的增订本。

本书可供从事磨削加工和磨具管理的技术人员以及具有中等文化程度的磨工参考。

磨具选择与使用

(增订本)

刘蒲生 雷力生 严文浩 王文经 等编著

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第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·各地新华书店经售

开本 787×1092 1/32·印张 12 7/8·字数 279 千字

1972年9月北京第一版

1985年10月北京第二版·1985年10月北京第二次印刷

印数 108,801—114,850·定价 2.55 元

统一书号: 15033·4166

增 订 说 明

众所周知，磨削加工是目前获得高精度、高光洁度零件的有效加工方法之一，也是提高加工效率的重要手段之一。许多难加工材料，往往需要借助于磨削加工，才能达到预期的目的，获得理想的效果。磨削技术在现代机械加工技术中占有日益重要的地位。因此，人们往往以磨加工在机械加工中所占的比重，作为衡量机械加工工艺水平的一个标志。随着我国经济建设发展和科学技术的进步，磨加工的应用范围正在不断扩大，对磨加工的需求也在不断提高。

磨料磨具是推动磨削加工技术发展的一个极为活跃而又十分关键的因素。提高磨削加工技术，同正确选择和使用磨具是密切相关的。目前，机械工业职工队伍中，青年工人的比例迅速增加，他们需要学习这方面的基础知识；原来从事磨加工的技术人员和工人，也需要更新和补充新的知识；在厂矿企业中，磨具使用知识不普及，磨具的应用水平不高，仍是一个比较突出的问题。广大技术人员和生产工人，迫切希望有一本指导磨具选择和使用的书籍作参考。《磨具选择》第一版，限于当时的条件，内容较为简单，已不适应当前读者的要求。为此，我们对该书从结构到内容作了较大的增订，供读者参阅。

磨具使用效果的好坏，不仅与磨具本身的特性选择有关，同时也与磨具的合理使用密切相关。因此，我们在增订本中，重点补充介绍了磨削加工中的一些基本理论、磨削用

量的选择、砂轮修整、磨削液的性能及供液方法、磨加工设备等方面的基本知识，对磨料磨具的生产过程中影响磨具使用性能的一些工序，也作了介绍。此外，在详细阐述普通磨具选择原则的同时，还增加了金刚石和立方氮化硼磨具的选择与使用、一些新型磨削工艺和难磨材料加工中的磨具选择与使用等内容。对第一版中一些典型零件磨削时磨具选用实例以及磨具选择参考表，也进行了修订和补充。

一九八五年一月起，我国将执行新的普通磨料磨具国家标准（GB2476~2483—83, GB2484~2495—84）。新标准中有关磨料磨具的代号等，与原标准有较大不同。为使读者逐渐熟悉新标准，又能容易接受书中内容，本书在第二、三章中，将新、旧标准的有关内容作了对照，而在其余章节中，则仍采用原来的代号。此外，鉴于表面粗糙度新的国家标准尚未实施，本书仍采用原光洁度国家标准（GB131—74）。

本书第一版由单位署名。增订本书时，由刘蒲生、雷力生、严文浩、王文经、张树声、董萃然、张春娴、范如生、王俊杰分工进行。书中插图由曹建华同志描绘。在增订本书过程中，中国机械工程学会机械加工学会副秘书长、机械工业部郑州磨料磨具磨削研究所总工程师钱惟圭同志提出了指导意见，第二砂轮厂总工程师黄秉麟同志也对本书提供了宝贵意见，此外，还得到郑州磨料磨具磨削研究所有关同志的帮助，借此表示感谢。

由于作者水平所限，增订本仍可能有许多不足和错误之处，热忱希望广大读者批评指正。

作者

本书主要符号及意义

v_s	砂轮速度 (米/秒)
$D_s(R_s)$	砂轮直径 (半径) (毫米)
n_s	砂轮转速 (转/分)
v_w	工件速度 (米/分)
$d_w(r_w)$	工件直径 (半径) (毫米)
n_w	工件转速 (转/分)
v_a	轴向进给速度——单位时间内工件沿砂轮回转轴线方向的相对移动距离 (米/分或毫米/分)。
S_a	轴向进给量 (纵进给量)——工件每转 (或行程) 沿砂轮回转轴线方向的进给距离 (毫米/转或毫米/行程)
v_f	径向进给速度 (切入速度)——单位时间内工件沿砂轮径向进给的距离 (毫米/分)
a	径向进给量——切入磨削时, 工件每转沿砂轮径向进给的距离 (毫米/转)
	磨削深度——工件有往复运动时沿砂轮径向进给的距离 (毫米/行程)
b	磨削宽度——在工件上的加工宽度 (毫米)
b_s	砂轮工作宽度 (毫米)
U	重复磨削系数——砂轮对工件某一点的磨削次数
τ	磨削时间
q	速比——磨削时砂轮与工件速度之比 ($q = \frac{v_s}{v_w}$)
q_d	修整速比——修整砂轮时修整滚轮与砂轮速度之比 ($q_d = \frac{v_r}{v_{sd}}$)
v_r	修整滚轮的速度 (米/秒)
v_{sd}	砂轮修整速度——砂轮修整时的圆周速度 (米/秒)
v_{ad}	轴向修整速度——修整工具在砂轮工作面上沿砂轮回转轴线方向的移动速度 (米/分)
S_d	修整导程——砂轮每转修整工具沿砂轮回转轴线方向的移动距离 (毫米/转)

a_d	径向修整进给量——砂轮每转金刚石滚轮沿砂轮径向进给的距离(毫米/转)
t_d	修整吃刀深度——修整工具每行程沿砂轮径向进给的距离(毫米/行程)
H_d	修整层厚度——每次修整砂轮所切去的砂轮半径尺寸(毫米), $H_d = nt_d$ (n ——修整吃刀次数)
τ_p	磨粒与工件接触时间
l_c	接触弧长——砂轮与工件的接触弧长度
p	砂轮表面单位长度上的磨粒数
h_{uc}	外圆磨削时的未变形磨屑厚度
$h_{uc内}$	内圆磨削时的未变形磨屑厚度
$h_{uc平}$	平面磨削时的未变形磨屑厚度
l_{uc}	外圆磨削时的未变形磨屑长度
$l_{uc内}$	内圆磨削时的未变形磨屑长度
$l_{uc平}$	平面磨削时的未变形磨屑长度
F	磨削力(牛顿)
F_n	法向磨削力(牛顿)
F_t	切向磨削力(牛顿)
F_a	轴向磨削力(牛顿)
F'_n	单位宽度法向力(牛顿/毫米)
F'_t	单位宽度切向力(牛顿/毫米)
F_{no}	法向磨削力的切削力分量
F_{ns}	法向磨削力的摩擦力分量
F_{to}	切向磨削力的切削力分量
F_{ts}	切向磨削力的摩擦力分量
N_s	磨削功率——磨削时消耗的有效功率(千瓦)
W_s	一定磨削时间内所作的机械功(千瓦小时)
θ	磨削温度——磨削区的温度($^{\circ}\text{C}$)
θ_{max}	磨削区的最高瞬时温度
θ_y	磨削后工件与砂轮不接触时的稳定温度
v_{θ}	磨削温度上升速度($^{\circ}\text{C}/\text{秒}$)
Q	磨削总热量
Q_w	传入工件的热量
Q_s	传入砂轮的热量
Q_o	传入磨屑的热量
Q_c	传入磨削液的热量
Q_r	辐射热量

- Z** 磨除率——单位磨削时间内的工件磨除体积或重量(毫米³/秒或克/分)
- Z'** 单位宽度磨除率——单位磨削宽度上的磨除率(毫米³/毫米·秒)
- $\bar{Z}'$** 耐用度期间的平均单位宽度磨除率(毫米³/毫米·秒)
- T** 耐用度——两次修整砂轮之间的磨削时间(分),也可用总磨除量或所磨工件件数表示
- V_w** 磨除量——磨削时工件的实际磨除体积(毫米³)
- V'_w** 单位宽度磨除量——每毫米砂轮磨削宽度上工件的实际磨除体积(毫米³/毫米)
- V_{wt}** 总磨除量——砂轮在耐用度期间磨除工件的总体积(毫米³)
- V'_{wt}** 单位宽度总磨除量——在耐用度期间,每毫米砂轮磨削宽度上磨除工件的总体积(毫米³/毫米)
- W_w** 磨除重量——磨削时工件的实际磨除重量(克)
- W_{so}** 砂轮磨损重量——砂轮在磨削过程中由于磨粒脱落、破碎和钝化等造成磨损的重量(毫克)
- V_{so}** 砂轮磨损体积——砂轮在磨削过程中由于磨粒脱落、破碎和钝化等造成磨损的体积(毫米³)
- V'_{so}** 单位宽度砂轮磨损体积——每毫米磨削宽度上的砂轮磨损体积(毫米³/毫米)
- G** 磨削比——工件磨除体积(或重量)与砂轮磨损体积(或重量)之比。

$$G = \frac{V_w}{V_{so}} \text{ 或 } \frac{W_w}{W_{so}}$$
- ϕ** 磨损比——磨削比的倒数, $\phi = \frac{1}{G}$
- ΔS_s** 砂轮边棱磨损尺寸(毫米)
- ΔR_s** 砂轮半径磨损量(毫米)
- Δa** 磨削余量——按照磨削工艺要求,应磨除的材料层厚度
- u** 磨削比能——磨除单位体积金属所消耗的能量(焦耳/毫米³)

目 录

本书主要符号及意义

第一章 磨削技术基础	1
一 磨加工的特点及用途	1
1. 磨加工的主要特点	1
2. 磨加工的应用	4
二 磨削参数	6
1. 切削运动参数	6
2. 进给运动参数	8
三 磨屑的形成	10
1. 磨屑形成过程	10
2. 磨屑的厚度、宽度和长度	12
3. 磨屑厚度的计算	13
4. 磨屑长度的计算	16
四 磨削力	18
1. 概述	18
2. 磨削力的产生及组成	21
3. 磨削力与磨削条件的关系	23
4. 磨削力对磨削效果的影响	28
五 磨削热	29
1. 概述	29
2. 磨削温度与磨削条件的关系	33
3. 磨削温度对磨削效果的影响	37
六 砂轮的磨钝磨损	39
1. 磨粒的钝化和磨损过程	39

2. 砂轮的磨钝磨损.....	43
七 评价砂轮磨削性能的指标.....	48
第二章 普通磨具基本知识.....	58
一 磨具的结构及分类.....	58
1. 磨具的结构.....	58
2. 磨具的分类.....	58
二 普通磨料磨具的制造.....	60
1. 磨具制造的工艺流程.....	60
2. 陶瓷磨具的制造过程.....	61
3. 涂附磨具和研磨膏.....	65
三 磨具用磨料.....	67
1. 磨料应具有的基本性能.....	67
2. 磨料的分类.....	68
四 磨具粒度.....	73
1. 磨粒的几何形状.....	73
2. 磨料的粒度及粒度组成.....	75
五 磨具硬度.....	79
1. 磨具硬度的概念.....	79
2. 磨具硬度的等级.....	79
3. 磨具硬度的测定方法.....	79
六 磨具结合剂.....	84
1. 陶瓷结合剂.....	84
2. 树脂结合剂.....	85
3. 橡胶结合剂.....	86
4. 菱苦土结合剂.....	86
七 磨具组织.....	86
八 磨具的形状尺寸.....	87
九 砂轮的强度.....	94
十 砂轮的静不平衡度.....	96

十一 磨具的书写顺序	98
第三章 普通磨料磨具的选择和使用	100
一 磨床	102
1. 对磨床的基本要求	102
2. 磨床的型号	103
二 磨削用量的选择	105
1. 砂轮速度(v_s)的选择	105
2. 工件速度(v_w)的选择	107
3. 轴向进给量(S_e)的选择	108
4. 径向进给量(a 或 t)的选择	109
三 砂轮的修整	110
1. 修整方法的分类及特点	111
2. 修整工具的种类及特点	114
3. 修整工具的合理选择 和使用	116
四 磨削液及其供给方法	129
1. 对磨削液的要求	129
2. 磨削液的分类和组成	131
3. 磨削液的选择	133
4. 磨削液的供给方法	135
五 磨具特性的选择	136
1. 磨料的选择	136
2. 粒度的选择	141
3. 硬度的选择	143
4. 结合剂的选择	147
5. 组织的选择	149
6. 形状和尺寸的选择	150
7. 涂附磨具和研磨膏的选择	153
六 磨具安全使用知识	155
1. 磨具的运输与保管	155

2. 砂轮的安全速度	157
3. 砂轮的装夹	159
4. 砂轮的平衡	159
5. 磨削时的安全操作	165
6. 磨削时的安全防护	166
第四章 超硬磨料磨具的选择和使用	169
一 超硬磨料磨具的加工特点	169
二 超硬磨料磨具的结构及其特性的表征	172
1. 超硬磨料磨具的结构	172
2. 超硬磨料磨具的特性及其标志	172
三 超硬磨料磨具特性的选择	175
1. 磨料的选择	175
2. 粒度的选择	179
3. 结合剂的选择	180
4. 浓度的选择	183
5. 形状和尺寸的选择	185
四 超硬磨料磨具的使用	189
1. 磨削用量的选择	189
2. 使用超硬磨料磨具时磨削液的选择	197
3. 超硬磨料磨具的修整	198
4. 使用超硬磨料磨具时对机床的要求	202
5. 使用超硬磨料磨具时的其他注意事项	203
五 几种特殊金刚石磨具的使用方法简介	203
1. 金刚石电解磨削	203
2. 金刚石珩磨	208
3. 金刚石研磨	210
第五章 难磨材料及特殊磨削工艺的砂轮选择	213
一 难磨材料的磨削及其砂轮的选择	213
1. 难磨材料及其分类	213

2. 新高速钢的磨削加工及其砂轮的选择	214
3. 钢结硬质合金的磨削加工及其砂轮的选择	222
4. 球墨铸铁的磨削加工及其砂轮的选择	223
5. 铜、铝合金的磨削加工及其砂轮的选择	225
6. 钛合金的磨削加工及其砂轮的选择	228
7. 耐热合金的磨削加工及其砂轮的选择	230
二 特殊磨削工艺的砂轮选择	232
1. 高速磨削及其砂轮的选择	232
2. 缓进给磨削及其砂轮的选择	234
3. 重负荷磨削及其砂轮的选择	238
4. 砂带磨削及其磨具的选择	239
5. 宽砂轮和多砂轮磨削及其砂轮的选择	243
6. 高光洁度磨削及其砂轮的选择	244
7. 其他专用磨具的选择	250
第六章 磨具选择和使用实例	257
一 普通磨具的选择和使用实例	257
1. 外圆磨削	257
2. 无心外圆磨削	261
3. 平面磨削	264
4. 内圆磨削	266
5. 曲轴磨削	269
6. 凸轮磨削	271
7. 轴承沟道磨削	273
8. 导轨磨削	275
9. 花键磨削	279
10. 螺纹磨削	280
11. 齿轮磨削	284
12. 珩磨	289
13. 刀具刃磨	293

二 金刚石磨具的选择和使用实例	293
1. 硬质合金刀具的刃磨	298
2. 硬质合金轧辊的磨削	300
3. 其他硬质合金零件的磨削	302
4. 光学玻璃磨削	303
5. 陶瓷零件的磨削	304
6. 其他材料的金刚石磨削	306
7. 金刚石电解磨削	308
8. 金刚石珩磨	310
9. 金刚石研磨	310
三 立方氮化硼磨具的选择和使用实例	312
1. 精磨拉刀底侧面	312
2. 叶片榫头铣刀成型磨削	313
3. 轴承套圈外滚道磨削	314
4. 最小压力活塞衬套的珩磨	315
5. 开槽拉刀侧隙角的刃磨	315
第七章 磨具选择参考表	317
一 普通磨具选择参考表	317
二 金刚石磨具选择参考表	354
三 立方氮化硼磨具选择参考表	362
附表	364
一 国内外磨料品种代号对照表	364
二 国外人造金刚石磨粒牌号对照表	366
三 主要国家磨料粒度尺寸对照表 (之一)	368
四 主要国家磨料粒度尺寸对照表 (之二)	369
五 主要国家磨具硬度代号对照表	370
六 主要国家磨具结合剂代号对照表	371
七 主要国家金刚石磨具结合剂代号对照表	371
八 主要国家磨具组织号对照表	372

九 主要国家磨具形状代号对照表.....	372
十 主要国家磨具形状尺寸及特性标志方法.....	374
十一 人造磨料的物理性能	377
十二 人造磨料的化学性能	378
十三 国内外磨料化学成分	379
十四 磨料与被加工材料的反应	381
十五 磨料对被磨削材料的适应性	382
十六 磨床型号及参数表	383
十七 一些磨削液配方及其使用性能	389
主要参考文献	395

第一章 磨削技术基础

一 磨加工的特点及用途

磨加工是指用磨料、磨具进行加工的总称。在加工中，磨粒可以呈游离状态，也可以呈固结状态；可以采用机动加工，也可以采用手动加工。采用高速回转的砂轮磨削工件的加工方法，一般称为磨削加工。

1. 磨加工的主要特点

(1) 磨削过程中参加切削的磨粒数极多

砂轮中含有大量磨粒。据测定，每克白刚玉磨料有上万吨甚至十多万颗磨粒（表1-1），而一片尺寸为300×32×75

表1-1 每克白刚玉磨料的磨粒数

磨料粒度	46 [*]	60 [*]	80 [*]
每克磨料中的磨粒数(颗)	14228	24044	102417

的白刚玉砂轮，其重量为5公斤，除去其中百分之十几的结合剂以外，每片砂轮中包含的磨粒数极多。不同粒度和硬度的砂轮，每平方厘米砂轮表面上的磨粒数约为60~1400颗。但是，在砂轮表面上，磨粒的分布参差不齐，极不规则。磨粒切刃在砂轮圆周方向并非等地分布在同一圆周上，在砂轮轴向也不是等地分布在同一母线上。显然，这就使实际参加切削的磨粒数（即有效磨粒数）少于砂轮表面的磨粒总

数。如果考虑到磨削时的工作条件，则实际参加工作的磨粒数（即动态有效磨粒数）将更少。根据砂轮特性和工作条件的不同，有效磨粒数约占砂轮表面总磨粒数的10~50%。即使这样，参加磨削的磨粒数也是很多的。因此，磨削过程是大量磨粒进行统计抓削的过程。

(2) 起切削作用的磨粒具有独特的性能

磨粒具有很高的硬度（表1-2），因此，它能顺利地切削

表1-2 几种磨料和硬质合金的显微硬度比较

材料种类	显微硬度(公斤力/毫米 ²)
棕刚玉	1800~2200
绿碳化硅	3200~3400
碳化硼	4000~4500
立方氮化硼	7300~10000
人造金刚石	8600~10600
钨钴硬质合金	1650~1750
钨钴钛硬质合金	2800~3000

硬的工件。磨粒的热稳定性好，在高温下仍不会失去切削性能。同时，由于磨粒具有一定的脆性，在磨削力的作用下能够碎裂，从而更新其切削刃。

由于磨料晶体的生长机理或制粒过程中的粉碎方法不同，磨粒的形状多种多样，在砂轮中的排列又极不规则，磨削工件时，磨粒多呈负前角，一般 $\gamma_0 = -15^\circ \sim -60^\circ$ 。文献[25]指出，刚玉砂轮修整后，其磨刃前角平均值为 -80° ，在磨削一段时间后，还会进一步增大至 -85° 。

同一粒度号的磨粒，尺寸也不一样。例如，按GB2477-83规定，46#磨粒100%通过网孔尺寸为600微米的30号筛并

允许有重量不多于30%的不通过筛号为40（其网孔基本尺寸为425微米）的粗粒和通过筛号为60（其网孔基本尺寸为250微米）、重量最多为3%的细粒。也就是说，46#磨粒中，磨粒尺寸大都在250~600微米之间。

磨粒的刃尖具有一定的顶尖角和圆弧半径。同时，磨粒表面及切刃也不光滑，而是存在微小的不平度。

（3）每个磨粒切刃切去的切屑很小

磨削时，由于参加切削的磨粒切刃数量很多，因此，即使在磨削效率很高的情况下，一个切刃切下的磨屑体积也只有 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ 毫米³。精磨时，每个磨屑的体积更小。而在铣削时，每个刀齿切下的切屑体积一般为40毫米³，比磨屑体积大得多。

（4）磨粒的切削速度极高

磨削时，砂轮圆周表面的速度极高，磨粒切刃与被加工工件的接触时间极短，一般为 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 秒。在这样短的时间内要切去切屑，将使磨粒和工件间产生强烈的摩擦，并产生急剧的塑性变形，因而产生大量的磨削热，使磨削区域产生极高的磨削温度（400~1000℃），且80%以上的热量将传入工件。

表1-3 切除单位体积金属所消耗的能量 [34]

加工方法	比能(焦耳/毫米 ³)	加工方法	比能(焦耳/毫米 ³)
磨削	10~200	缓进给磨削	30~200 [24]
磨料切削	10~30	高速磨削	15~50 [27] [11]
一般磨削	20~60	砂带磨削	10~30
光整磨削	60~200	车削	1~10