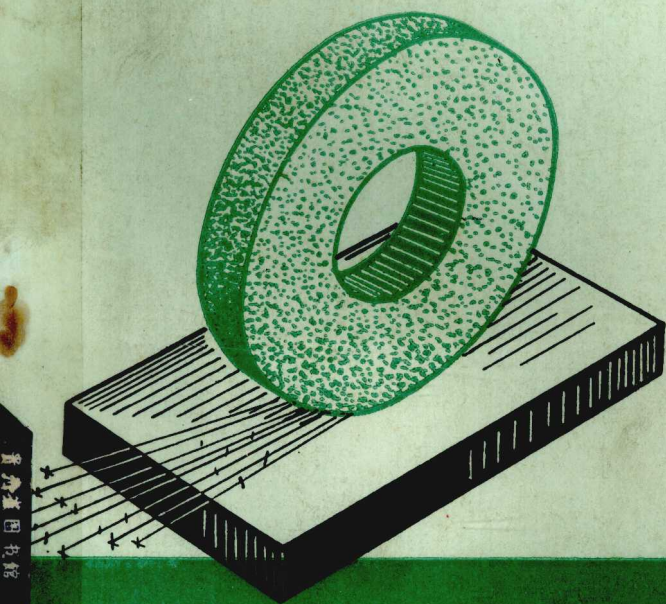


磨 工

广东拖拉机制造厂编著



青年工人学艺丛书

内 容 简 介

本书系青年工人学艺丛书之一，由广东拖拉机制造厂“三结合”编写组编写。

编者着重理论与实践相结合；在介绍磨削的基本理论知识时，紧密围绕如何提高磨削工作的质量、产量、效率和减少消耗的问题，逐个加以解决；在介绍磨床及磨削方法的章节中，选用资料主要按照地方工业特别是农机行业的需要，较多地收入了工人同志们在实践中的丰富经验，并从理论上加以分析，便于读者运用、推广。

为了照顾青年工人的特点，对于一些容易混淆或不易弄清的问题，反复加以说明；在最后一章中，列表说明磨削缺陷的产生原因和消除方法，并作了简明的分析。

本书供青年磨工自修用，可作为工厂业余教学课本，也可供专业人员参考。

磨 工

广东拖拉机制造厂编著

广东人民出版社出版

广东省新华书店发行

广东新华印刷厂印刷

787×1092毫米16开本 17.5印张 421,000字

1975年10月第1版 1975年10月第1次印刷

印数 1—8,000册

书号 15111·80 定价 1.11元

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 磨削加工在社会主义建设中的作用	1
第二节 我国磨削加工的发展概况	2
第三节 磨削加工的发展趋势	3
第二章 磨削的基本知识	4
第一节 磨削加工的特点	4
第二节 磨削的基本原理	5
第三节 磨削余量与粗、精磨	18
第四节 磨削用量的选择	19
第五节 冷却液的应用和选择	22
第六节 常见的磨削方法	24
第三章 磨床概述	28
第一节 磨床的分类编号	28
第二节 外圆磨床	31
第三节 平面磨床	42
第四节 工具磨床	50
第四章 砂 轮	53
第一节 砂轮特性及其选择的基本知识	53
第二节 砂轮特性对磨削效果的影响	67
第三节 砂轮的安装使用	69
第四节 砂轮的修正	78
第五节 新品种砂轮简介	82
第五章 磨外圆及磨圆锥	85
第一节 工件的定位与装夹	85
第二节 外圆磨床常用的夹具及其使用方法	90
第三节 磨外圆的方法	93
第四节 磨台阶轴端面的方法	94
第五节 磨床的调整	96
第六节 磨圆锥的方法	98

第七节 磨削余量和粗、精磨	101
第八节 磨削用量的选择及其对工件加工精度的影响	103
第九节 外圆磨削砂轮的选择、安装和修整	104
第十节 外圆磨削常用的量具及其使用方法	105
第十一节 磨削外圆时的具体操作	110
第十二节 外圆磨削常见缺陷的分析	111
第六章 磨内圆	114
第一节 内圆磨削的特点	114
第二节 内圆磨削的砂轮选择及其紧固方法	114
第三节 内圆磨削用夹具、工件的找正与夹紧	120
第四节 磨内圆的方法和砂轮的修正	124
第五节 磨孔的余量和磨削用量	128
第六节 磨圆锥孔的方法	133
第七节 内圆的测量方法	135
第八节 内圆磨削常见缺陷的分析	139
第七章 无心磨削	141
第一节 无心磨削的基本原理	141
第二节 无心磨床简介	145
第三节 磨削工作的准备	147
第四节 无心磨削实例	151
第五节 无心磨削常见缺陷的分析	152
第八章 磨平面	154
第一节 平面磨削的形式	154
第二节 平面磨削的方法	156
第三节 平面磨削的夹具	157
第四节 平面磨削砂轮的选择及磨削用量的选择	161
第九章 磨工具	162
第一节 工具磨床的应用	162
第二节 刀具刃磨	164
第三节 成型磨削	171
第四节 铣刀盘刃磨	174
第十章 专用磨床及其磨削方法	179
第一节 磨曲轴	179
第二节 磨凸轮轴	186
第三节 磨导轨及磨拖板	190

第四节	磨矩形花键轴	196
第五节	磨球轴承滚道	205
第十一章	特种磨削及特种工件加工	210
第一节	在普通外圆磨床上进行超精磨削	210
第二节	内外球面的磨削	215
第三节	在内圆磨床上磨削两端高同心度工件内孔	219
第四节	薄片工件的磨削	221
第五节	先进磨削法简介	223
第十二章	磨床的维护及安全技术	232
第一节	磨床的维护	232
第二节	磨工安全技术	233
第十三章	磨削缺陷及其产生原因和消除方法	235
	工件不圆的原因和消除方法	236
	工件有锥度的原因和消除方法	237
	工件两头小中间大(腰鼓形)的原因和消除方法	238
	工件两头大中间小(细腰形)的原因和消除方法	238
	工件呈波浪形与弯曲的原因和消除方法	239
	工件不同心(阶梯轴各级外圆不同心或外圆与内孔不同心)的原 因和消除方法	239
	工件不平行或不垂直(包括表面不直度)的原因和消除方法	240
	工件表面光洁度不够的原因和消除方法	241
	工件表面烧伤的原因和消除方法	242
	工件呈现振纹与波纹(多棱形、螺旋形、斑点状)的原因和消除 方法	243
附 录		
一、	公差与配合表	244
二、	标准锥度、工具锥体及其公差表	257
三、	砂轮选择参考表	260

第一章 绪 论

第一节 磨削加工在社会主义建设中的作用

随着社会主义建设事业的发展,精密加工日益显得重要,其中磨削加工是达到高光洁度和高精度要求的主要手段。西方的某些资产阶级老爷们把精密磨削技术捧为至宝,妄图通过技术垄断来卡、压我们。一九六〇年,在来比锡国际博览会上,我国一位磨工师傅看到某资本主义国家展出的一台轧辊磨床,加工的样品光洁度较高,一个资本家正在这台磨床旁边散发样品,他也想要一份来看看,那个资本家一看面前是个中国人,竟傲慢地耸耸肩,晃着脑袋,双手一摊,说:“你看不懂,用不来”,拒绝了。这是对中国工人阶级的侮辱;难道我们掌握不了高精度的磨削技术,而要向资产阶级老爷们乞讨过日子吗?帝、修、反想在各个方面扼杀我们,企图阻挡我国社会主义建设事业的迅猛发展,那是永远办不到的!

“中国人民有志气,有能力,一定要在不远的将来,赶上和超过世界先进水平。”

在毛泽东思想指引下,上海工人阶级奋发有为,冲破了重重困难,包括国内资产阶级技术权威的阻挠,经过了反复的科学试验,终于成功地造出了我国第一台镜面磨削机床,粉碎了西方的垄断。

磨削机床的品种很多,数量也不少,目前,世界上磨床的数量约占机床总数的百分之二十,而且正在随着技术的发展而不断增长。

磨削加工有什么特点呢?

1. 它是一种能获得高精度和高光洁度的精加工方法。由于科学技术向高、精、尖方向发展,如电子、宇宙航空等工业的发展需要,要求机械加工的产品日趋精密,而磨削加工可以获得一级精度和 $\nabla 10$ 以上的光洁度,所以,它在近一、二十年的发展非常迅速。

2. 它是一种能加工表面硬度很高的金属和非金属材料的加工方法。随着科学技术的发展,愈来愈广泛地使用高强度、高硬度的材料;同时,由于耐磨的要求,许多材料都进行热处理或表面处理,以提高工件的表面硬度,例如淬火钢、渗碳钢、高钒钢和硬质合金等,这些材料,用一般切削工具是难以加工的,而磨削则较易达到加工要求的精度与光洁度。当采用金刚石砂轮时,甚至可以对硬度极高的材料进行切削。

3. 它是一种高效率的加工方法。随着高速磨削、强力磨削等先进磨削方法的应用,生产效率可成倍地增加,甚至超过其他的加工方法。

4. 它是一种可粗可精的加工方法。随着强力磨削的出现,可大大增加磨削深度和进给量,因而不但可以用作精加工,也能用作粗加工。在某些方面,磨削能代替车、刨、铣……,由毛坯直接磨出成品来。随着精密铸造、精密锻造和冷挤、冷冲等先进加工方法的推广应用,将更多采用由毛坯直接磨出成品的工艺。

5. 它是加工多种形式工件的方法。磨削可加工外圆、内圆、平面、齿轮、螺纹等等。可以说，其他机床具备的加工形式，各种磨床也有相应的加工形式。比如内圆、外圆、螺纹等磨床，就是从车、镗床中演变出来的；平面、导轨等磨床，就是由刨床、铣床演变而来的；齿轮磨床是由滚齿机、插齿机引出来的。

6. 它是一种易于实现自动化和组成自动线的加工方法。由于被磨的表面形状一般较简单，采用数字程序控制、自动测量等技术比较容易，而实现自动化加工，则可大大减轻劳动强度和提高劳动生产率。

由于磨削加工具有上述的特点，因而磨床在金属切削机床中所占的比重愈来愈大。

第二节 我国磨削加工的发展概况

磨削是最古老、最普遍的一种加工方法。在远古时代，人类在同自然界作斗争的过程中，为了保卫自身的生存和猎取禽兽、进行耕作的需要，逐步懂得了利用天然磨料（石类）刃磨、抛光各种工具。从我国古代历史来看，我们的祖先在同自然界斗争的实践中，创造了很多具有科学价值的器具（例如，齿轮传动的指南车，相当精确的天文仪、浑天仪、地动仪等），制造这些器具时，要用各种金属切削加工，有些还必须经过磨削加工。我们的祖先形容磨削作用时，有句“只要功夫深，铁杵磨成绣花针”的古语，足见磨削加工很早就被重视了，不过那时大都用手工作往复运动进行磨削罢了。

1668年，我们的祖先，根据生产发展的需要创造了平面磨床。图1—1为磨削当时的天文仪器中铜环轮面的情形：工件被固定，磨石由畜力带动，并在上面放有漏水箱作冷却剂，以得到光滑的加工面。在同一年，又制造了如图1—2所示的刀具磨床，用手握住刀具进行刃磨。大约一百多年以后，制造了第一台外圆磨床，但是由于当时受技术条件的限制，磨床的最大速度还没有超过10米/秒。

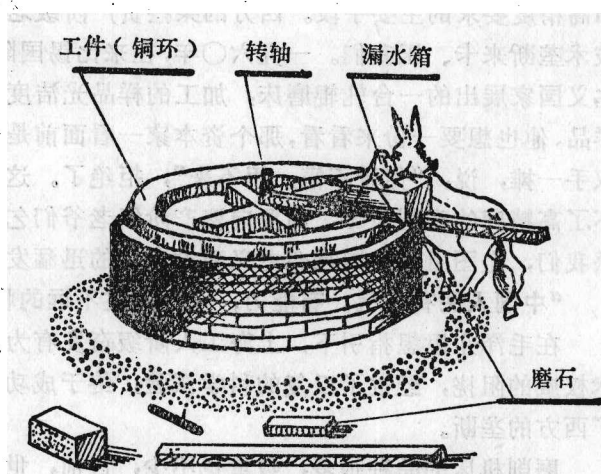


图1—1

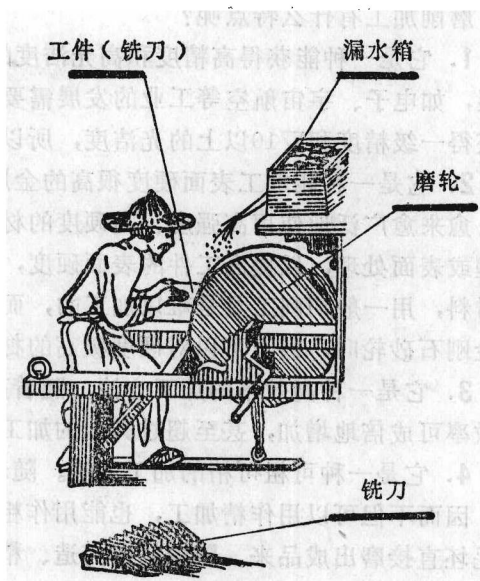


图1—2

经过了长期的生产斗争实践，磨床的结构由古代手摇的、脚踏的、畜力带动的形式发展到今天用电动及液压传动的自动和半自动形式。在磨床上能够完成各种材料所制成的复杂工件的加工工作。

但是，由于旧中国长期遭受帝国主义、封建主义和官僚资本主义三座大山的压迫，大大地束缚了机械工业的发展，在国民党反动派统治的几十年中，我国只有一些为进口外国机器修配的工业。历史上劳动人民的勤奋创造，就在反动统治的手下付之东流。

解放后，中国人民在毛主席和中国共产党领导下，克服了重重困难，使我国机械制造业得到飞跃的发展。特别是经过史无前例的无产阶级文化大革命，在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国的磨削加工和磨床制造业得到更大的发展。我国自行设计制造的磨床品种达数百种，其中许多产品达到了先进水平，例如进行镜面磨削的MBG 1432半自动高精度万能外圆磨床、M7150A大型平面磨床、M82100大型曲轴磨床、S 7450大型螺纹磨床、Y 70200大型齿轮磨床、8 MT 4320圆锥滚子球基面磨床，以及为汽车、拖拉机、轴承制造的自动线配套的专用磨床等等；我国砂轮厂已经生产出为高速磨削用的高强度的砂轮；高速磨削正在不断得到推广，我国磨削加工正在向高精度、高效率的方向发展。不过，同国外先进水平相比，还有差距，迫切需要我们加快步伐，为赶超世界先进水平而努力奋斗。

第三节 磨削加工的发展趋势

目前，世界各国磨削加工的发展趋势，是向着提高机床效率、提高自动化程度和提高精度这个方向发展，近几年来，特别是高速磨削和数字程序控制磨削发展更为迅速，成为当前发展的主要标志。

1. 提高机床效率。这是发展的首要趋势，主要通过高速磨削（砂轮线速度在60米/秒以上）、强力磨削（加大进给量和提高磨削速度）、宽砂轮磨削、多砂轮磨削、砂带磨削（加大同时磨削的面积）、恒压力磨削（砂轮以一定的压力压向工件，可减少空行程时间）等磨削方式来提高。

2. 提高自动化程度。主要是发展数字程序控制磨床，可在一台这种机床上精加工一批零件的大部或全部而机床无需调整。加工各个工件是由插销穿孔带或磁带来控制，因此，比用手动调整机床可提高生产效率几倍至几十倍，并大大提高加工精度，降低废品率。

除了采用数字程序控制外，还不断发展和改进磨床的自动测量，自动上下料，自动修整砂轮和自动平衡装置等。目前，自动测量仪最高精度可达 $\pm 0.2 \sim 0.5$ 微米之内。

3. 提高精度。提高磨床本身精度和加工精度，提高精度保持性，是目前磨床发展的又一个重要趋势。为了提高机床精度，目前，各国除了继续努力消除机床的热变形，减少机床振动和提高机床刚性外，还日益广泛采用静压、空气轴承和静压导轨，各种新式的微量进给，和采用光栅和激光测量技术。

但是，不论是资本主义国家或者是修正主义国家，他们发展磨削技术是为了追求最大利润，是为竞争、掠夺和军备竞赛服务的，他们的基础是虚弱的，而且蕴藏着深刻的经济危机。我们遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，对待外国的经验和先进技术，采取批判地吸收的原则，为更好更快地发展我国磨削加工技术而努力。

第二章 磨削的基本知识

第一节 磨削加工的特点

“磨削”就是用砂轮对工件进行切削的加工方法。如图 2—1 的外圆磨削为例，砂轮装在砂轮架的主轴上，由电动机通过皮带变速机构带动砂轮作高速旋转，同时，砂轮架定期作横向进给，而工件则装在头架和尾架的顶尖上，由头架主轴通过鸡心夹带动，作慢速同向旋转，并随同工作台一起作纵向往复运动。由于砂轮相对工件作圆周和纵向运动而产生切削的结果，就能磨出具有一定形状、一定尺寸精度和光洁度的表面来。

磨削的特点，就是能“切下”很薄的切屑（只有几个微米）和留下很浅的加工痕迹，而在车削和铣削时一般是难以达到的。

我们研究一下磨削的过程，就可以明了为什么磨削加工具有上述的特点了。

由磨料用结合剂粘结而成的砂轮，其表面杂乱无章地布满很多很硬的磨粒，在磨粒之间除有结合剂之外，尚形成一定的空隙，每颗磨粒锋利的棱角可看作是一个小刀刃，而砂轮则可视作一把多刀多刃的铣刀，如图 2—2 所示。和铣削的过程相似，磨粒的锋刃“切入”工件表面后，紧压在金属层上，迫使金属层相互间产生挤压和滑移，随着砂轮和工件的运转，磨粒对金属层的压力不断增加，当超过了金属内部的分子结合力时，磨粒就会从工件表面上“切下”一层很薄的“磨屑”，而且磨粒与工件表面因摩擦发热而产生磨削火花。

在车削或铣削时，要“切下”的“切屑”愈薄则刀尖愈要锋利，但是这样一来，刀尖的强度则相应下降，散热条件跟着变坏，容易产生崩刃和烧伤，因此不能切下较薄的切屑。而在磨削时则不同，因为“磨削”是由很硬的，尺寸只有十分之几毫米的磨粒的棱角“刮”下来的，所以不受刀尖锋利程度的限制；而且当磨粒的棱角磨钝了，磨粒还会自动碎裂或脱落（即自锐性），露出新的锋利的磨粒棱角则继续进行

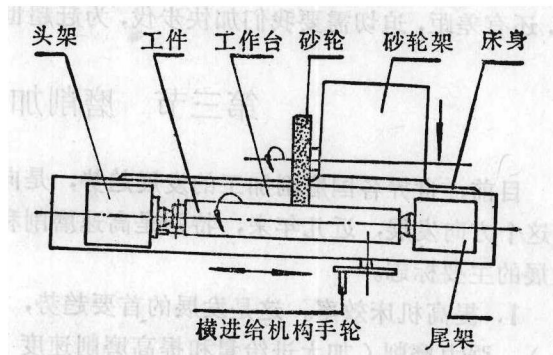


图 2—1

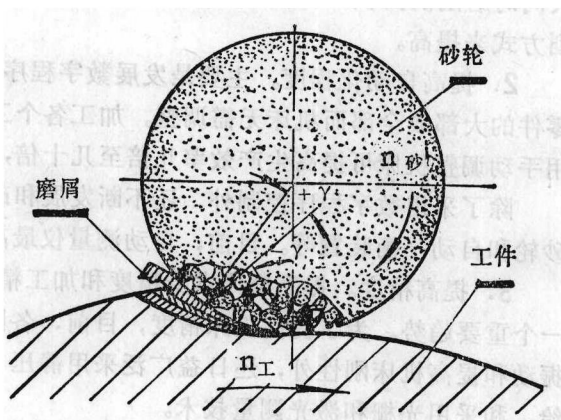


图 2—2

磨削。因此砂轮能用微量的横进给（ $0.002\sim 0.008$ 毫米）切下很薄的切屑，能磨出精度很高的工件。

磨削时光滑的表面又是怎样形成的呢？原来砂轮表面上杂乱分布的磨粒数量很多，数以万计，而这些磨粒之间的距离和磨粒的尺寸都很小，一般只有几百微米。当砂轮作高速旋转时，磨粒可能以几个“棱角”同时进行切削，而工件则作慢速的圆周送进和纵向进给，这时相当于慢进给的高速多刀多刃切削，故此能得到很浅的加工痕迹，形成很光滑的表面。如图 2—3，磨削时，在圆周方向上的运动，相当于砂轮沿工件表面作连续滚动，砂轮圆周上的磨粒在工件表面上由一颗滚动到另一颗时，砂轮所处的位置分别为 O'_3 、 O'_2 、 O'_1 、 O 、 O_1 、 O_2 、 O_3 ……。由于两个相邻磨粒之间的距离很短，所以砂轮两个相邻的位置很近，为此，加工痕迹 R_z 很小（不大于几个微米），沿工件纵向的加工痕迹同样亦很少，这就是被加工的工件形成光滑表面的实质。

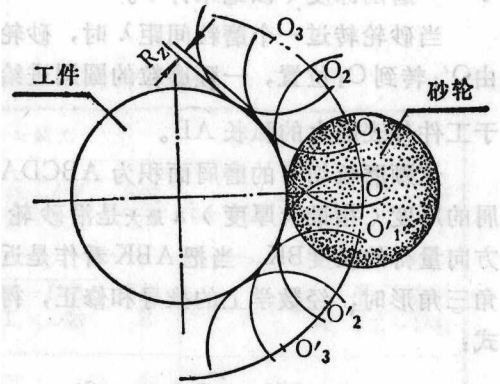


图 2—3

由于磨粒很硬，所以磨削能加工淬硬钢、硬质合金以及用其他切削刀具不能加工的较硬的材料。

磨削加工可以达到国家标准的一级精度，甚至可以超过。同时，根据所能得到的表面光洁度，可以分为一般磨削（表面光洁度在 $\nabla 10$ 以下）和高光洁度磨削（表面光洁度在 $\nabla 10$ 以上）。高光洁度磨削又可分为精密磨削（ $\nabla 11\sim \nabla 12$ ）、超精磨削（ $\nabla 12\sim \nabla 13$ ）和镜面磨削（ $\nabla 14$ ）三种。

第二节 磨削的基本原理

磨削时，砂轮切削速度很快（ 30 米/秒以上），切屑很薄（几个微米），切削温度很高（ $1000\sim 1500^\circ\text{C}$ ），切削过程历时很短（万分之一秒左右），这些特点会对磨削加工带来什么影响呢？我们通过什么途径来提高磨削的加工质量和劳动生产率，而同时又降低砂轮的磨耗呢？这些问题，便是以下介绍的磨削基本原理所要解决的。

一、磨粒的磨屑厚度和接触弧长的计算

我们曾把砂轮比作一把多刀多刃的铣刀，但铣刀刀刃是在圆周上等距离分布，且高度一样，可是砂轮表面上的磨粒则是杂乱分布的，而且形状也不规则。为了便于研究分析，假设与多刀多刃的铣刀一样，

- (1) 磨粒规则地分布在同一个圆周上，而且磨粒之间的距离均等；
- (2) 各个磨粒凸出砂轮表面的高度一样；
- (3) 砂轮切入金属时无滑动。

下面以外圆磨削为例，研究一下磨屑厚度是如何计算的，如图 2—4 所示，砂轮和工件都作顺时针旋转，为了便于分析计算，假定以工件中心 O_2 为圆心加一逆时针旋转（等于工件的旋转速度，但方向则相反）于砂轮和工件，这时变成工件不动，而砂轮除了自身旋转

外，还沿着工件的外圆滚动，即砂轮以工件的中心 O_2 为圆心，以 R 为半径作行星运动。

$$R = \frac{D_{\text{砂}}}{2} + \frac{d_{\text{工}}}{2} - t$$

$D_{\text{砂}}$ ——砂轮直径， $d_{\text{工}}$ ——工件直径， t ——磨削深度（以毫米计）。

当砂轮转过一个磨粒间距 λ 时，砂轮中心由 O'_1 转到 O_1 位置，一颗磨粒的圆周进给量等于工件外表面上的弧长 $\widehat{AB}$ 。

这颗磨粒切下的磨屑面积为 $ABCD$ ，磨屑的厚度（指最大厚度） a 最大是沿砂轮半径方向量得的长度 BK 。当把 ABK 看作是近似直角三角形时，经数学上的推导和修正，得出下式：

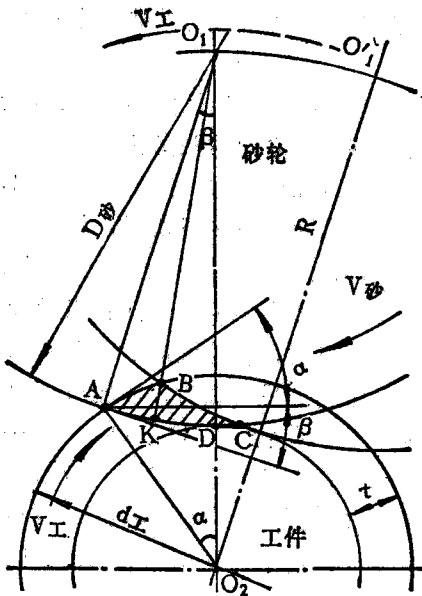


图 2—4

$$a_{\text{最大}} = BK = \widehat{AB} \sin(\alpha + \beta)$$

$$a_{\text{最大}} = \frac{V_{\text{工}}}{30V_{\text{砂}}} \times \lambda \times \sqrt{t} \times \sqrt{\frac{D_{\text{砂}} + d_{\text{工}}}{D_{\text{砂}} \times d_{\text{工}}}} \times \frac{S_{\text{纵}}}{B} \dots\dots\dots(\text{式 } 2-1)$$

$S_{\text{纵}}$ ——纵向进给量（毫米/转）， B ——砂轮宽度（毫米）。

λ 值主要与砂轮粒度大小有关，其次与砂轮组织的疏松程度也有关。

$$a_{\text{平均}} = \frac{1}{2} a_{\text{最大}} = \frac{V_{\text{工}}}{60V_{\text{砂}}} \times \lambda \times \sqrt{t} \times \sqrt{\frac{D_{\text{砂}} + d_{\text{工}}}{D_{\text{砂}} \times d_{\text{工}}}} \times \frac{S_{\text{纵}}}{B} \dots\dots\dots(\text{式 } 2-2)$$

此时砂轮与工件的接触弧长 (L_k) 为

$$L_k = \widehat{DA} = \frac{D_{\text{砂}}}{2} \times \beta$$

$\because \beta$ 角很小， $\therefore \beta \approx \sin \beta$ ，代入上式得：

$$L_k = \frac{D_{\text{砂}}}{2} \times \sin \beta \text{——此式经过数学推导得出(略)}$$

$$L_k = \sqrt{t} \times \sqrt{\frac{D_{\text{砂}} \times d_{\text{工}}}{D_{\text{砂}} + d_{\text{工}}}} \dots\dots\dots(\text{式 } 2-3)$$

表2—1 各种磨削方法的磨屑厚度和接触弧长的计算公式

序号	磨削方法	磨削厚度 $a_{\text{最大}}$	接触弧长 L_K
1	外圆磨削	$a_{\text{平均}} = \frac{V_{\text{工}}}{60V_{\text{砂}}} \times \lambda \times \sqrt{t} \times \sqrt{\frac{D_{\text{砂}} + d_{\text{工}}}{D_{\text{砂}} \times d_{\text{工}}}} \cdot \frac{S_{\text{纵}}}{B}$	$L_K = \sqrt{t} \times \sqrt{\frac{D_{\text{砂}} \times d_{\text{工}}}{D_{\text{砂}} + d_{\text{工}}}}$
2	内圆磨削	$a_{\text{平均}} = \frac{V_{\text{工}}}{60V_{\text{砂}}} \times \lambda \times \sqrt{t} \times \sqrt{\frac{d_{\text{工}} - D_{\text{砂}}}{d_{\text{工}} \times D_{\text{砂}}}} \cdot \frac{S_{\text{纵}}}{B}$	$L_K = \sqrt{t} \times \sqrt{\frac{d_{\text{工}} \times D_{\text{砂}}}{d_{\text{工}} - D_{\text{砂}}}}$
3	平面磨削	用砂轮轮缘 $a_{\text{平均}} = \frac{V_{\text{工}}}{60V_{\text{砂}}} \times \lambda \times \sqrt{t} \times \sqrt{\frac{1}{D_{\text{砂}}}}$	$L_K = \sqrt{t} \times \sqrt{D_{\text{砂}}}$
	用砂轮端面	$a_{\text{平均}} = \frac{V_{\text{工}}}{60V_{\text{砂}}} \times \lambda \times S_{\text{纵}}$	

上面各式都是理论计算公式，其数值与实际有时相差较大，还需要乘以修正系数，但是上面各式可以反映出各个因素对磨屑厚度的影响。

磨粒的磨屑厚度对磨削加工有什么影响呢？随着磨屑厚度的增加，磨粒所承受的负荷也随之增加，磨粒也就容易磨钝脱落，使砂轮的磨耗加快；同时，工件表面的塑性变形也增大，由塑性变形所引起的表面缺陷和粗糙程度也增加，而且加工残留的凹痕也加深，工件表面的光洁度也随之下落。为了降低砂轮的磨耗，提高工件的表面光洁度，就应减薄磨粒的磨屑厚度。要达到这样的目的，根据磨屑厚度的公式，就应选用粒度号大（磨粒细而密，间距 λ 小）的砂轮，选择浅的磨削深度，小的纵向进给量，低的工件圆周速度和高的砂轮圆周速度；同时，在砂轮和工件转速不变的条件下，砂轮直径增加和工件直径减少，都使磨屑厚度减薄。从表2—1所示的公式中可知，受直径影响较大的是内圆磨削，其次的是轮缘平面磨削，影响较小的是外圆磨削。

接触弧对磨削加工亦有影响，接触弧长增加时，磨粒所受的阻力增大，砂轮的磨耗加快，同时，接触弧大时磨粒与工件摩擦加剧，磨削时产生的热量增多。为了降低砂轮的磨耗和减少造成工件烧伤的磨削热，应尽量缩短接触弧。为此，应减少磨削深度，减少砂轮的直径，这可以从表2—1的公式和图2—5a)得到说明。

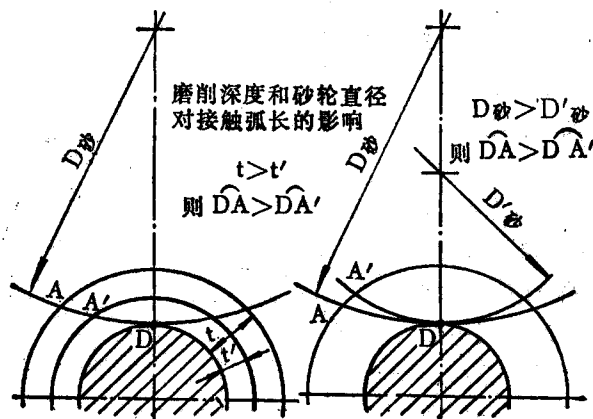


图2—5 a)

在其他条件相同时，外圆磨削的磨屑厚度最大，平面磨削次之，内圆磨削最小，但外圆磨削的接触弧最短，平面磨削次之，内圆磨削则最长，如图 2—5 b) 所示。

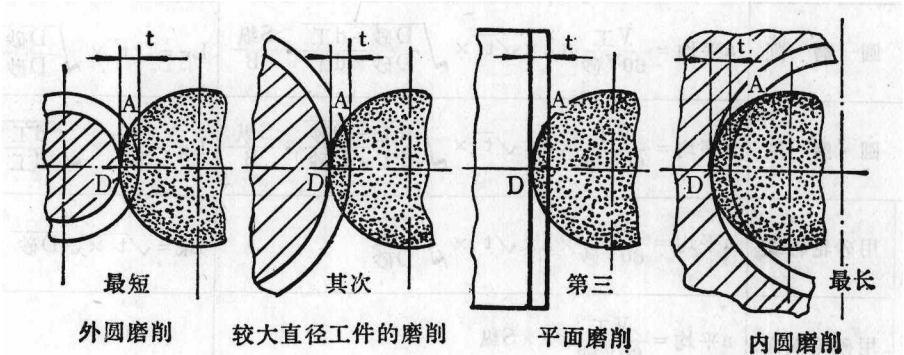


图 2—5 b)

二、提高工件表面光洁度的原理

毛主席教导我们：“研究任何过程，如果是存在着两个以上矛盾的复杂过程的话，就要用全力找出它的主要矛盾。捉住了这个主要矛盾，一切问题就迎刃而解了。”

在一般磨削时（表面光洁度在 $\nabla 10$ 以下），磨削用量和砂轮选择是否恰当对表面光洁度的提高起主要作用；但在高光洁面磨削时（表面光洁度在 $\nabla 10$ 以上），则起主要作用的是砂轮的微刃性和微刃的等高性，下面分别阐述它们的作用。

1. 磨削用量的影响

（一）当砂轮的圆周速度增加和工件的圆周速度降低时，可提高工件的表面光洁度。

在图 2—6 a) 中，当砂轮圆周速度增加，工件圆周速度降低时，砂轮转过一个磨粒间距所需的转角 θ 减少了，磨屑厚度 BK 也随之减少。

在图 2—6 b) 中，当砂轮圆周速度增加，工件圆周速度降低时，由于转角 θ 减少，加工残留面积的高度 R_z 也随之减小。

由图 2—6 可知：由于磨屑厚度减薄，工件表面的塑性变形减少，以及单位时间内参加切削的磨粒数增多，相邻两凹痕间的加工残留面积减少，都使工件表面光洁度得到提高。

（二）当切削深度和纵向进给量减少时，可提高工件表面光洁度。如图

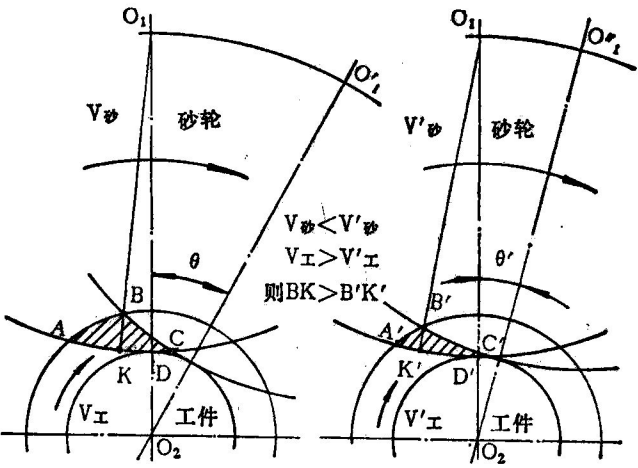


图 2—6 a)

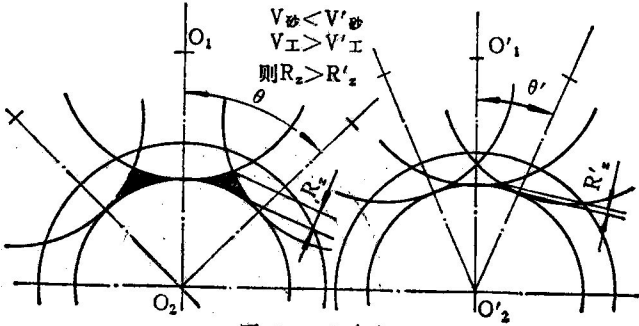


图 2—6 b)

2—7a)所示：当切削深度 t 减少时，磨粒的切屑厚度减少，工件表面的塑性变形也减少，因而改善了工件表面的光洁度。但此时圆周方向的加工残留面积及其高却不变（即面积 $DCM = D'C'M'$ ，其中 $CM = C'M'$ ）。

又如图 2—7b)所示：当工件每转的纵向进给量降低一半时，工件表面纵向加工残留面积的高度也随之降低，因为在砂轮宽度的范围内工件作纵向进给的过程中，工件由只转了一圈变为转了两圈，所以工件表面受磨削的机会增加了一倍，参与切削的磨粒数目也增加了一倍，所以切痕密了，切痕的深度也浅了，工件表面光洁度也就得到提高。

2. 砂轮选择的影响

当选用粒度号较大（磨粒较细）的砂轮时，可提高工件表面光洁度。

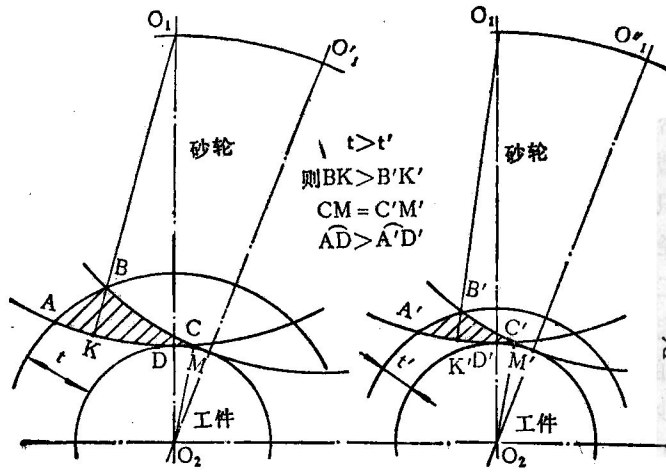


图 2—7 a)

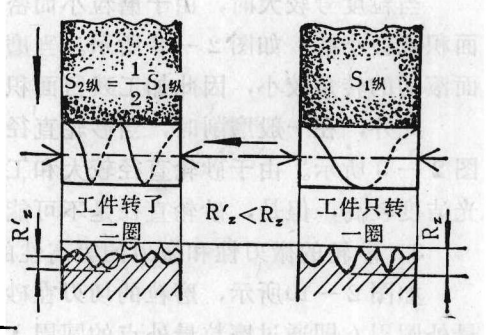


图 2—7 b)

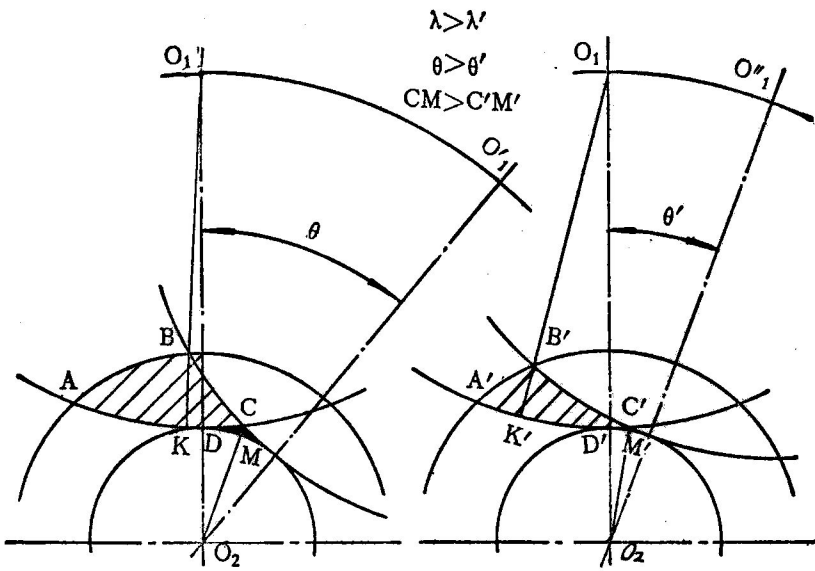


图 2—8

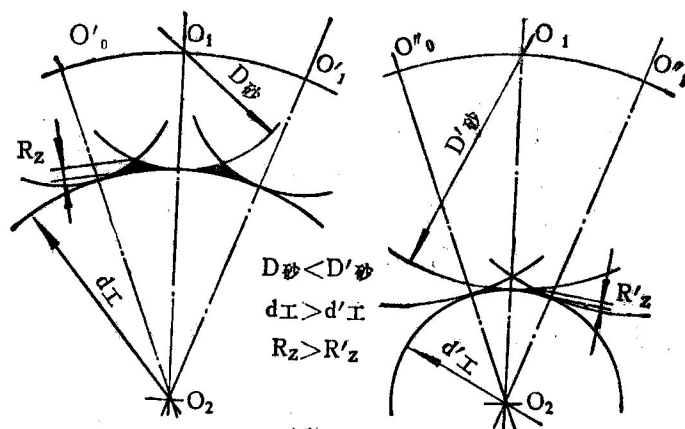


图 2—9

当粒度号较大时，由于磨粒小而密，同时参加切削的磨粒数量多，工件表面的加工残留面积就会小些，如图 2—8 所示。当磨粒愈密，则砂轮转过一个磨粒间距时，砂轮沿工件表面滚动的转角较小，因此加工残留面积的高度 CM 也降低了，所以工件表面光洁度得到提高。

此外，在一般磨削时，当砂轮直径较大，工件直径较小时，工件表面光洁度也较高，如图 2—9 所示。由于砂轮直径较大和工件直径较小时，工件表面加工残留面积高度降低，所以光洁度较高，但是，砂轮直径是不可能随意改动的，因此，以上说的仅供成批生产时参考。

3. 砂轮的微刃性和微刃的等高性的影响

如图 2—10 所示，磨粒的切刃在砂轮表面圆周上是高低不平地杂乱分布的，若以砂轮的最外圆周（即通过磨粒最外点的圆周）作为基准圆，则磨粒切刃距离基准圆有远有近，磨粒切刃分布的这种性质，称为微刃的不等高性。每颗磨粒具有好几个切刃同时参加切削的这种性质，称为磨粒的微刃性，如图 2—11 所示。

高光洁度磨削时，砂轮经细修整（用金刚钻以很慢的纵向进给修整砂轮），磨粒的微刃性和微刃的等高性都很好，这时，由于磨粒的切刃很短，相距很密，刃口高度一致，所以能

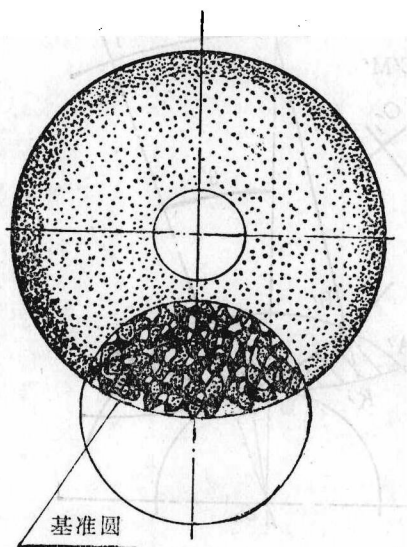


图 2—10

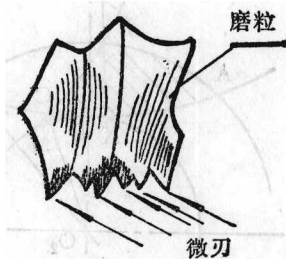


图 2—11

磨出很光滑的表面。如图 2—12 所示，从 a) 与 b) 的对比中，可以清楚地说明磨粒的微刃性和微刃等高性的作用。除了微刃的切削作用外，在一定磨削压力下微刃因磨损而呈半钝态，半钝态微刃与工件表面发生一定的摩擦抛光作用而形成更光滑的表面。当用粗粒度砂轮经细修整进行磨削时，容易形成锋利的微刃，工件的光滑表面，主要地是由微刃的切削作用所形成的，但用细粒度砂轮经细修整进行磨削时，由于微刃容易磨钝，工件光滑表面的形成，则主要地是靠半钝态微刃的摩擦抛光作用了。

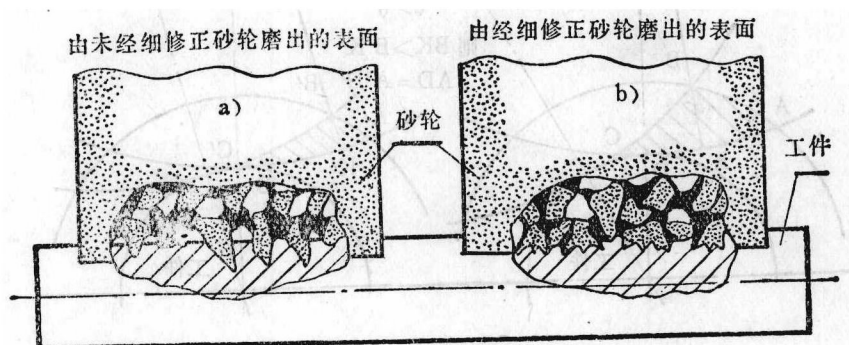


图 2—12

在砂轮选择恰当的前提下，磨粒的微刃性和微刃的等高性靠正确的细修整方法来保证，而微刃的切削作用和摩擦抛光作用的充分发挥，则靠正确的操作方法来实现。

除了上述影响工件表面光洁度的主要因素外，当工件的硬度愈高，冷却润滑液使用得愈恰当，磨削时振动愈小，机床纵向运动时“爬行”现象愈小，则光洁度也就愈高。下面分述它们的作用：

当工件硬度愈高时，则工件表面的塑性降低，磨削时金属的塑性变形减少，同时磨粒切入时滑移的距离缩短，砂轮与工件表面的摩擦也减少，因而使工件表面光洁度得到提高。

当使用冷却润滑液时，不仅可以带走磨削热，减少砂轮和工件表面之间的摩擦，还可以从砂轮和工件表面上冲走磨屑和脱落下来的砂粒，避免划伤工件表面而产生很深的划痕，因而可提高工件表面光洁度。

当磨削时振动愈小，在工件表面上产生波形振纹也就愈小，表面光洁度也就愈高。为此就应对砂轮和传动砂轮的电动机皮带轮等进行准确的平衡，提高整个工件——夹具——机床系统的刚性。

最后，当机床纵向往复运动时愈平稳，无液压“爬行”现象，则不会产生纵向不均匀的波纹，所以工件表面光洁度也得到提高。

三、减少砂轮磨耗的原理

在磨削过程中，随着磨粒的磨损，磨粒所承受的负荷也随之增加，当超过砂轮结合剂对磨粒的粘结力时，磨粒就会脱落；即使磨粒不脱落，由于磨粒变钝，也要对砂轮进行修整，才能继续磨削。如果磨削中接触弧长增加，砂轮与工件的摩擦阻力增大，磨粒因所承受的负荷加重而容易变钝和脱落，便会使砂轮的磨耗增加。

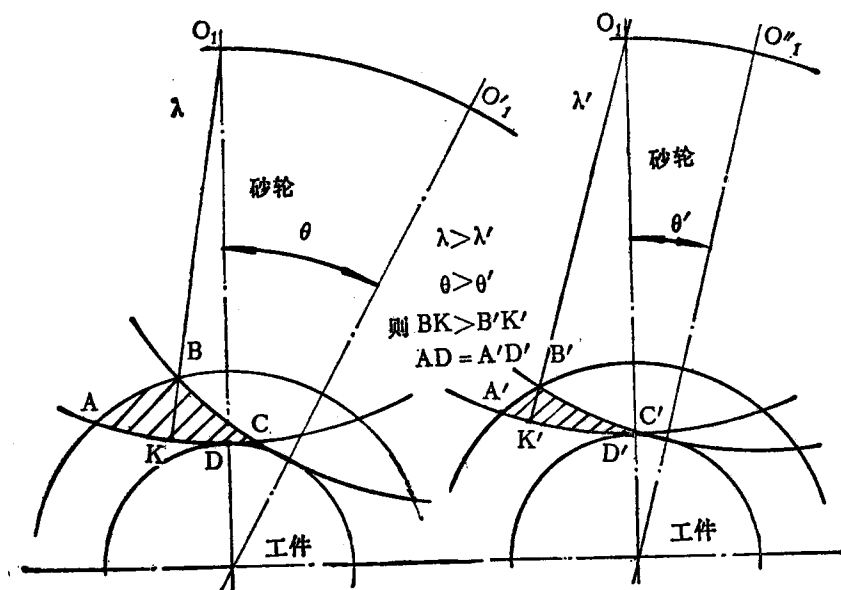


图 2—13

以磨削时砂轮体积减少的快慢来衡量砂轮磨耗的多少，并以单位时间内磨去的金属量 (Q) 与砂轮磨耗量 ($Q_{\text{砂}}$) 的比值来衡量砂轮的经济性，叫做磨削比 (G)。即：

$$G = \frac{Q}{Q_{\text{砂}}} = \frac{\text{金属磨量}}{\text{砂轮磨耗量}}$$

砂轮磨耗以磨粒碎裂、磨粒自动脱落和修正砂轮三种形式出现。当砂轮磨削工件时，磨粒是在高温、高压和强烈磨擦的条件下工作的，容易引起磨粒磨钝、碎裂和脱落。

磨粒碎裂：在高温、高压下，硬而脆的磨粒会沿着晶界面裂开，露出新的锋利的棱角，这时可继续进行磨削。

磨粒自动脱落：当磨粒变钝后，磨粒所承受的负荷超过砂轮结合剂的粘结力时，磨粒就会从砂轮表面脱落。这时也会露出新的锋利的磨粒，也可继续进行磨削。

修正砂轮：砂轮的磨耗大体经历两个阶段，初期是磨粒碎裂和脱落，到一定时候逐渐趋于稳定，其后，磨粒磨钝后不再碎裂和脱落，砂轮工作面逐渐平滑而切削能力逐渐下降，如果不及时修整，砂轮与工件就会产生强烈的磨擦，发出大量的热，以至烧坏工件。修整砂轮就是用修整工具（如金刚钻）将磨钝了的磨粒“打”去（或将其“打”碎），露出新的锋利的棱角来。修整时的消耗往往占了砂轮磨耗的大部分。要是砂轮很软，自锐性很好时，也可以不用修整砂轮。

以上三种形式的磨耗，都是由于磨粒所受的负荷和磨擦所造成的，为了减少砂轮的磨耗，就应减少磨屑厚度 ($a_{\text{平均}}$) 和接触弧长 (L_k)。因为磨屑厚度减薄时，磨粒所承受的负荷也减少，接触弧缩短时，磨粒与工件之间的磨擦也减少。

为此，我们可以选用粒度号较大的砂轮，降低工件圆周速度和增加砂轮圆周速度、减少切削深度和减少纵向进给量等方法，来达到降低砂轮磨耗的目的。

粒度号较大，即磨粒较细，在砂轮圆周上分布得较密，砂轮转过一个磨粒间距所需的转