

技工学校机械类通用教材

第1版

磨工工艺学

劳动人事出版社

本书是根据劳动人事部培训就业局审定颁发的《磨工工艺学教学大纲》编写，供技工学校招收初中毕业生使用的统编教材。

本书内容包括：磨削加工的基本知识、外圆磨削、内圆磨削、圆锥面磨削、平面磨削、无心外圆磨削、复杂零件磨削、刀具刃磨、磨削原理、磨床夹具、精密量具和量仪、磨床、典型零件工艺分析等。

本书也可作为青工培训和职工自学用书。

本书由薛源顺、许兆丰、吴万荣编写，薛源顺主编；杨洁淑、唐志松审稿，杨洁淑主审；应华炎编辑加工。

磨 工 工 艺 学

劳动人事部培训就业局 编

劳动人事出版社出版

（北京市和平里中街12号）

新华书店北京发行所发行

冶金印刷厂印刷

787×1092 16开本 20.25印张 492千字

1987年4月北京第1版 1987年4月北京第1次印刷

印数：1—19,700册

书号：7238·203 定价：3.20元

前 言

我局于一九八三年七月委托部分省、市劳动人事厅（劳动局），分别组织编写了适合初中毕业生使用的技工学校机械类通用工种各课程所需的教材。这次组织编写的有语文、数学、物理、化学、工程力学、公差与配合、机械基础、金属材料与热处理、电工学、机械制图（配套使用的有机械制图习题集）、车工工艺学（配套使用的有车工工艺学习题集）、车工生产实习、铣工工艺学、铣工生产实习、磨工工艺学、磨工生产实习、钳工工艺学、钳工生产实习、焊工工艺学、焊工生产实习、铆工工艺学、铆工生产实习、锻工工艺学、热处理的工艺学、铸工工艺学、铸工生产实习、木模工工艺学、油漆工工艺学、机械制造工艺基础、工业企业管理、微机基础与应用（选学）等三十一 种。其中语文、数学、物理、化学、工业企业管理非机械类工种也可以选用。其他课程的教材，以后将陆续组织编写。

上述教材是按照党的教育方针，本着改革的精神组织编写的。在内容上，力求做到理论与实际相结合，符合循序渐进的要求，从打好基础入手，突出机械类技工学校生产实习教学的特点，密切联系我国机械工业的生产实际，并且尽量反映工业生产中采用新材料、新设备、新技术、新工艺的成就，以便使培养出来的学生，能够具有一定的文化知识，比较系统地掌握专业技术理论和一定操作技能。

本套教材也适合培训在职的中级技术工人使用。

这次组织编写教材的工作，由于时间比较紧促，经验不足，缺点和错误在所难免，希望使用教材的同志提出批评和改进意见，以便再版时修订。

劳动人事部培训就业局

目 录

绪论	(1)
第一章 磨削加工的基本知识	(4)
§ 1.1 磨床的简单介绍	(4)
§ 1.2 磨削加工的特点	(5)
§ 1.3 磨削用量的基本概念	(6)
§ 1.4 砂轮	(8)
§ 1.5 砂轮的平衡	(16)
§ 1.6 砂轮的修整	(18)
§ 1.7 磨削时的冷却	(21)
§ 1.8 文明生产与安全技术	(24)
§ 复习题	(24)
第二章 外圆磨削	(26)
§ 2.1 外圆磨削的形式	(26)
§ 2.2 外圆砂轮及其正确使用	(28)
§ 2.3 工件的安装	(31)
§ 2.4 外圆磨削的方法	(37)
§ 2.5 外圆的测量	(44)
§ 2.6 外圆磨削产生废品的原因及预防方法	(49)
复习题	(52)
第三章 内圆磨削	(53)
§ 3.1 内圆磨削的形式	(53)
§ 3.2 内圆磨削的特点	(55)
§ 3.3 内圆砂轮及其正确使用	(55)
§ 3.4 内圆磨具	(60)
§ 3.5 工件的安装	(61)
§ 3.6 内圆磨削的方法	(68)
§ 3.7 内圆的测量	(72)
§ 3.8 内圆磨削产生废品的原因及预防方法	(74)
复习题	(75)
第四章 圆锥面磨削	(76)
§ 4.1 概述	(76)
§ 4.2 圆锥的各部分名称及计算	(77)
§ 4.3 标准圆锥和圆锥公差	(80)
§ 4.4 圆锥面的磨削方法	(82)

§ 4.5 圆锥的精度检验.....	(85)
§ 4.6 锥度尺寸的控制方法.....	(94)
§ 4.7 圆锥面磨削产生废品的原因及预防方法.....	(95)
复习题.....	(97)
第五章 轴套类零件磨削工艺.....	(98)
§ 5.1 概述.....	(98)
§ 5.2 轴类零件磨削工艺.....	(98)
§ 5.3 套类零件磨削工艺.....	(102)
复习题.....	(104)
第六章 平面磨削.....	(105)
§ 6.1 平面磨削的形式.....	(106)
§ 6.2 平行面的磨削.....	(109)
§ 6.3 垂直面和斜面的磨削.....	(114)
§ 6.4 直角槽的磨削.....	(119)
§ 6.5 平面零件的精度检验.....	(120)
§ 6.6 平面磨削工艺与废品分析.....	(124)
复习题.....	(126)
第七章 精密量具和量仪.....	(127)
§ 7.1 杠杆式卡规和杠杆式千分尺.....	(127)
§ 7.2 扭簧测微仪.....	(129)
§ 7.3 气动量仪.....	(130)
§ 7.4 圆度仪.....	(133)
§ 7.5 表面粗糙度测量简介.....	(135)
复习题.....	(139)
第八章 无心外圆磨削.....	(141)
§ 8.1 无心外圆磨削的特点.....	(141)
§ 8.2 无心磨削工件成圆的原理.....	(141)
§ 8.3 无心外圆磨削的方法.....	(142)
§ 8.4 无心外圆磨床.....	(144)
复习题.....	(149)
第九章 刀具刃磨.....	(150)
§ 9.1 概述.....	(150)
§ 9.2 成形车刀的刃磨.....	(159)
§ 9.3 铰刀的刃磨.....	(160)
§ 9.4 铣刀的刃磨.....	(167)
§ 9.5 圆拉刀的刃磨.....	(178)
§ 9.6 插齿刀的刃磨.....	(181)
复习题.....	(182)
第十章 复杂零件磨削.....	(183)

§ 10.1 细长轴磨削·····	(183)
§ 10.2 成型面磨削·····	(185)
§ 10.3 偏心零件磨削·····	(194)
§ 10.4 花键轴磨削·····	(197)
§ 10.5 螺紋磨削·····	(200)
§ 10.6 齿轮磨削的概念·····	(203)
复习题·····	(205)
第十一章 磨削原理 ·····	(206)
§ 11.1 磨屑形成的过程·····	(206)
§ 11.2 磨屑厚度·····	(206)
§ 11.3 磨削力·····	(208)
§ 11.4 磨削热·····	(209)
§ 11.5 接触弧·····	(210)
§ 11.6 砂轮磨削性能的评定·····	(211)
§ 11.7 高速磨削·····	(213)
§ 11.8 低粗糙度磨削·····	(215)
§ 11.9 控制力磨削·····	(218)
§ 11.10 强力磨削·····	(219)
§ 11.11 特种材料磨削·····	(220)
复习题·····	(222)
第十二章 磨床夹具 ·····	(223)
§ 12.1 概述·····	(223)
§ 12.2 工件的定位·····	(225)
§ 12.3 工件的夹紧·····	(239)
§ 12.4 定心夹紧机构和真空夹紧装置·····	(244)
§ 12.5 磨床典型专用夹具·····	(246)
§ 12.6 组合夹具简介·····	(250)
复习题·····	(252)
第十三章 磨床 ·····	(253)
§ 13.1 磨床型号的编制·····	(253)
§ 13.2 机床传动系统示意图·····	(254)
§ 13.3 M1432A型万能外圆磨床·····	(254)
§ 13.4 磨床上常用的新技术与新结构·····	(277)
复习题·····	(287)
第十四章 提高劳动生产率的方法 ·····	(288)
§ 14.1 单件工时定额的组成·····	(288)
§ 14.2 缩短基本时间的方法·····	(288)
§ 14.3 缩短辅助时间的方法·····	(290)
§ 14.4 先进高效磨削的方法·····	(291)

复习题.....	(292)
第十五章 典型零件的工艺分析	(293)
§ 15.1 工艺规程的概念.....	(293)
§ 15.2 磨削步骤的制订.....	(297)
§ 15.3 典型零件的工艺分析.....	(298)
§ 15.4 磨削加工精度分析.....	(307)
复习题.....	(308)
附 录	(309)
表 1 砂轮磨料、硬度、结合剂代号新旧国标对照表.....	(309)
表 2 带扁尾的外圆锥.....	(310)
表 3 不带扁尾的外圆锥.....	(311)
表 4 内圆锥.....	(312)
表 5 常用标准锥度.....	(312)
表 6 一般用途圆锥的锥度与锥角.....	(313)
表 7 特殊用途圆锥的锥度与锥角.....	(313)
表 8 表面粗糙度 R_a 值及新旧国标对照表.....	(314)
表 9 磨床的组、系划分 (JB 1838-85).....	(314)

绪 论

机械制造工厂的生产过程，一般包括原材料准备、生产技术准备、毛坯制造、金属切削加工、热处理、装配和油漆等七个部分。其中金属切削加工(如车、铣、刨、磨等)是工厂生产的关键部分之一。它们的主要任务是切除多余的金属，使工件的形状、尺寸和表面粗糙度都符合图样要求，成为各种机械零件。

磨削是一种比较精密的金属切削方法，经过磨削的零件有很高的精度和很小的表面粗糙度。磨削技术在现代机械加工技术中占有日益重要的地位。在现代工业中，一个国家的磨削工艺水平，在一定程度上反映了该国机械制造的工艺水平。随着机械产品质量的不断提高，磨削工艺也将不断发展和完善。

几千年前原始人已开始利用石块来磨锐狩猎工具。磨削加工在我国有着悠久的历史。1668年，我们的祖先就曾利用畜力带动的磨石来磨光天文仪铜环的端面，在磨石的上方还放有水筒漏水，以帮助磨光(图0.1)。当时制造的天文仪，目前还保存在北京。由于长期

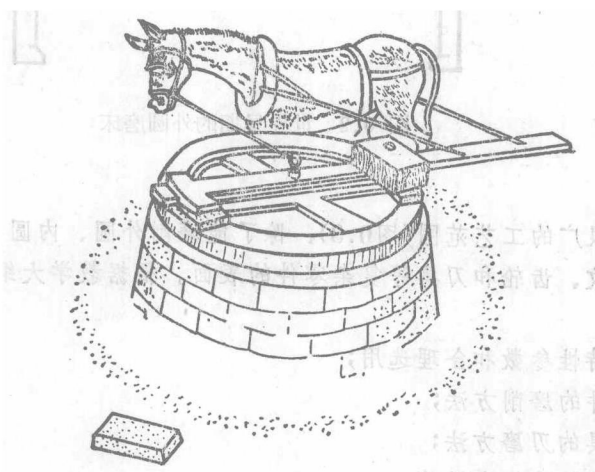


图 0.1 古代平面磨削

的封建统治和帝国主义侵略，解放前我国的工业陷于极端落后的状态。但是，十九世纪中叶世界的磨削加工得到了发展。图 0.2 为 1860 年制造的世界早期的外圆磨床，能磨削带有圆柱面和圆锥面的轴类零件，砂轮和工件均由天轴皮带传动。与此同时，磨削工具的结构也开始发生变革，天然磨石由人工制造的砂轮代替。继 1892 年发明了碳化硅人造磨料之后，又出现了人造刚玉磨料，它们都具有很高的硬度和锐利的刃口。解放后，在党的领导下，我国的磨削加工得到飞速发展，1950 年制成了我国第一台万能工具磨床，能磨削圆柱面、圆锥面、平面和刀具。至今我国制造的磨床，无论在品种和数量上都已部分和完全达到了世界先进水平。我国制成的比较著名的磨床有 MG1432A 型高精度万能外圆磨床、MM7132A 型平面磨床、MS1312 型高速外圆磨床、S7450 型大螺纹磨床、MK8532 型数控磨床

等。其中MG1432A型高精度万能外圆磨床工件的圆度可达0.5微米，表面粗糙度达到 R_a 0.01以下。MS1312型高速外圆磨床的砂轮线速度达到50米/秒，S7450型螺纹磨床已成为世界最大磨床之一。目前各种磨床已广泛地应用于机械、汽车、工具、仪表、液压、航空、轴承等工业部门，在滚动轴承厂磨床约占机床总数的55%左右。

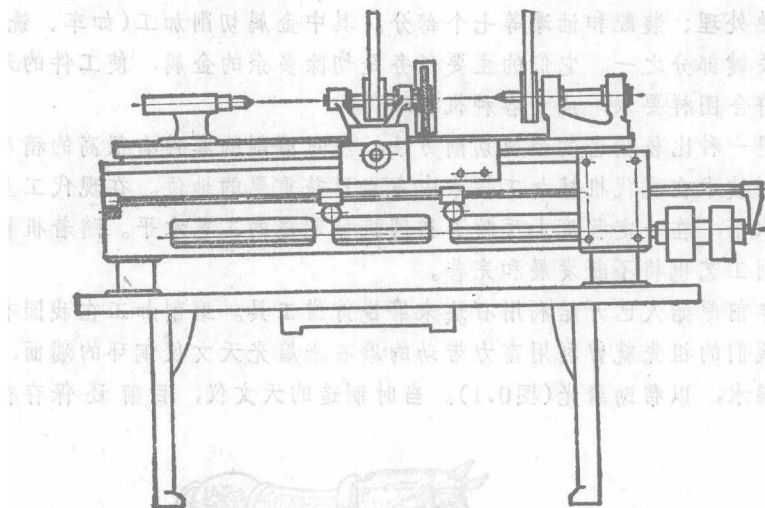


图 0.2 世界早期的外圆磨床

磨削加工有很广的工艺范围(图0.3)，除了能磨削外圆、内圆、锥面、成型面、平面外，还能磨削螺纹、齿轮和刀具等复杂零件的表面。根据教学大纲的规定，本课程的教学内容有：

1. 砂轮的特性参数和合理选用；
2. 各种工件的磨削方法；
3. 各种刀具的刃磨方法；
4. 磨削用量的选择和计算；
5. 量具的结构原理和工件的技术测量；
6. 废品的产生原因和预防方法；
7. 磨床夹具的结构原理和合理使用；
8. 磨床主要部件的结构原理和传动系统；
9. 磨削的基本原理；
10. 典型零件磨削工艺分析；
11. 磨削的新工艺、新技术以及提高产品质量和劳动生产率的措施和方法。

磨工工艺学是一门理论与生产实际紧密结合的课程。学习本课程时，要注意掌握好磨削加工的理论，并把学到的理论知识运用到生产中去，做到创造性地与生产中的实际问题相结合，以便在未来的工作岗位上为四化建设作出更大的贡献。

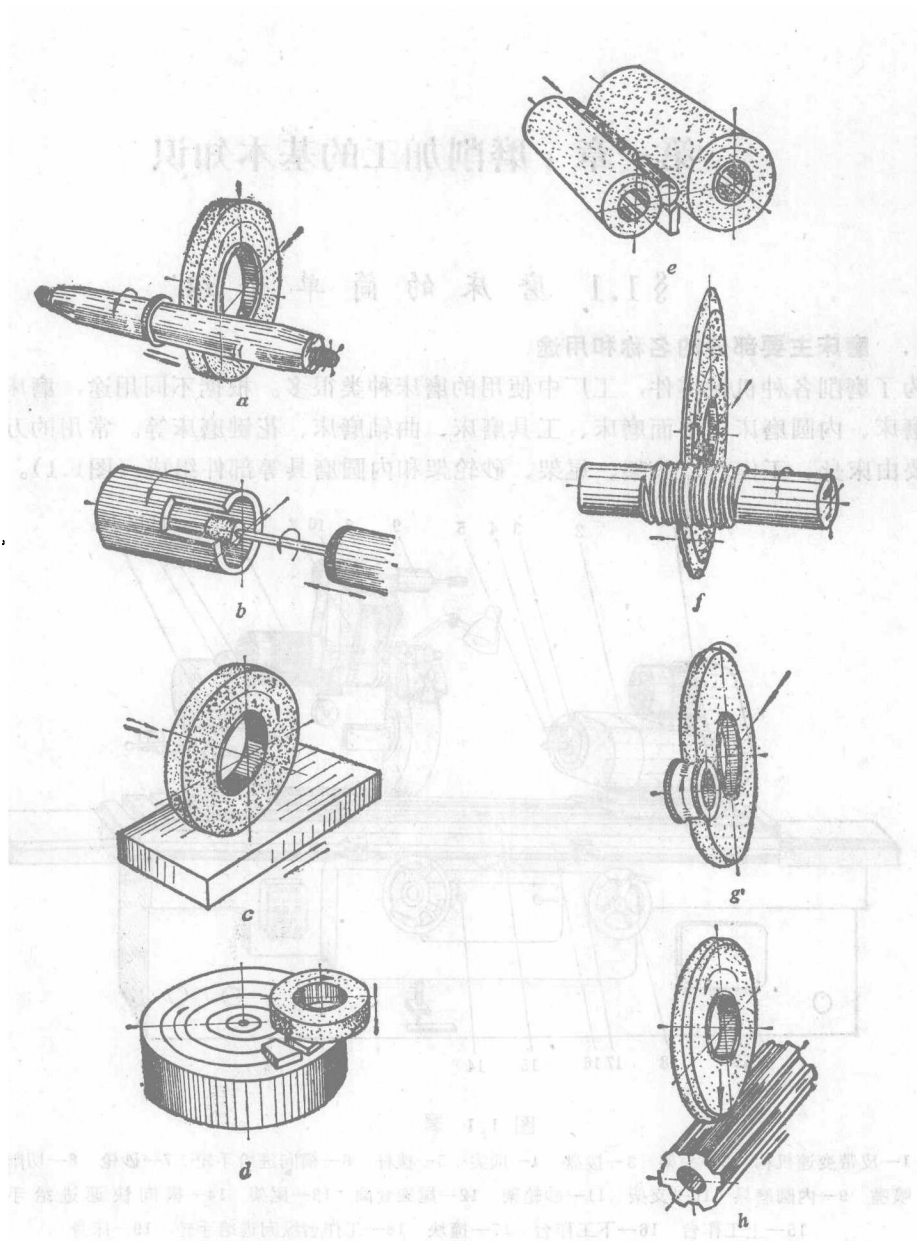


图 0.3 磨削加工的工艺范围

a—外圆磨削 *b*—内圆磨削 *c*、*d*—平面磨削
e—无心磨削 *f*—螺旋磨削 *g*—成型磨削 *h*—花键磨削

第一章 磨削加工的基本知识

§1.1 磨床的简单介绍

1. 磨床主要部分的名称和用途

为了磨削各种机械零件，工厂中使用的磨床种类很多。根据不同用途，磨床可分为：外圆磨床、内圆磨床、平面磨床、工具磨床、曲轴磨床、花键磨床等。常用的万能外圆磨床主要由床身、工作台、头架、尾架、砂轮架和内圆磨具等部件组成（图1.1）。

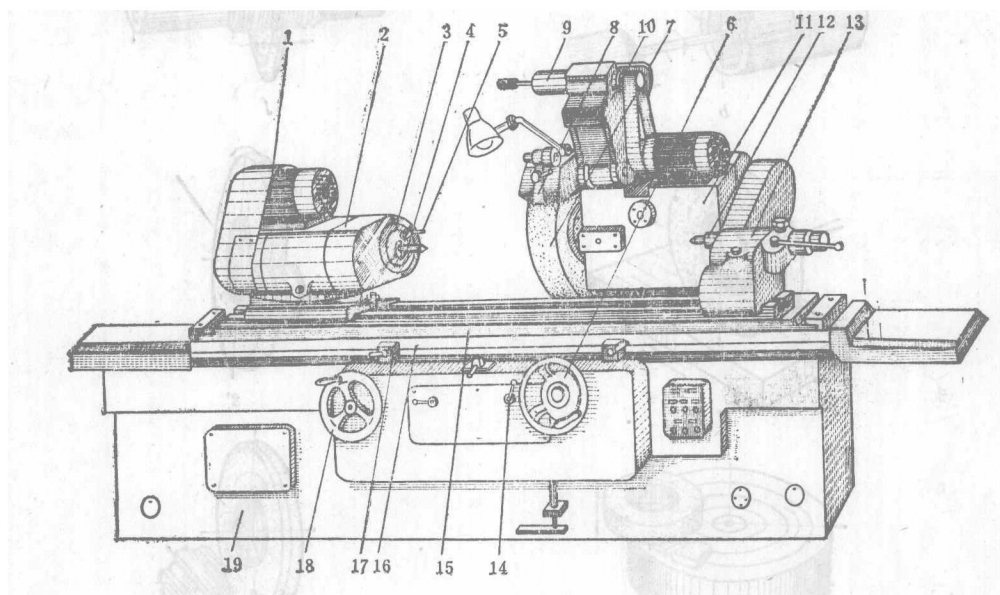


图 1.1 磨

1—皮带变速机构 2—头架 3—拨盘 4—顶尖 5—拨杆 6—横向进给手轮 7—砂轮 8—切削液喷嘴 9—内圆磨具 10—支架 11—砂轮架 12—尾架套筒 13—尾架 14—横向快速进给手柄
15—上工作台 16—下工作台 17—撞块 18—工作台纵向进给手轮 19—床身

(1) 头架部分 头架内有主轴和皮带变速机构。在主轴前端安装顶尖，利用它来支承工件，并使工件形成精确的旋转中心。调节变速机构，可以使拨盘获得多种不同的转速，拨盘再通过拨杆带动工件作圆周进给运动。

(2) 尾架部分 在尾架套筒前端安装顶尖，用来支承工件另一端。尾架套筒的后端装有弹簧，可调节顶尖对工件的轴向压力。

(3) 工作台部分 工作台分上下两层，上层称上工作台，可相对下工作台回转角度，以便磨削圆锥面。下层称下工作台，由机械或液压传动，可沿着床身的纵向导轨作纵向进给运动。工作台往复运动的位置可由撞块控制。

(4) 砂轮架部分 砂轮架安装在床身的横向导轨上。操作横向进给手轮，可以实现

砂轮的横向进给运动，控制工件的磨削尺寸。砂轮架还可以由液压传动，实现行程为50毫米的快速进退运动。砂轮装在砂轮主轴端，由电动机带动作磨削旋转运动。在砂轮上方的切削液喷嘴，可用来浇注切削液。

(5) 内圆磨具部分 内圆磨具用于磨削工件的内孔，在它的主轴端可安装内圆砂轮，由电动机经皮带传动作磨削运动。内圆磨具装在可绕铰链回转的支架上，使用时可向下翻转至工作位置。

(6) 床身部分 床身是一个箱形铸件，其纵向导轨上装有工作台，横向导轨上装有砂轮架。床身内还装有液压装置、横向进给机构和纵向进给机构等。

2. 磨床液压传动的基本概念

采用液压传动可以使机床运动平稳，并可实现较大范围内的无级变速，故很适合磨床的传动要求。图1.2为磨床工作台纵向往复运动液压系统的示意图，其工作原理如下：

当电动机带动齿轮泵运转时，输出的压力油经节流阀、换向阀进入液压缸的左腔，从而推动活塞带动工作台向右运动，液压缸右腔的低压油返回油箱。变换换向阀的位置时（图1.3），高压油进入液压缸的右腔，工作台向左运动。转动节流阀，可调节工作台的运动速度。传动系统的压力由溢流阀调节。

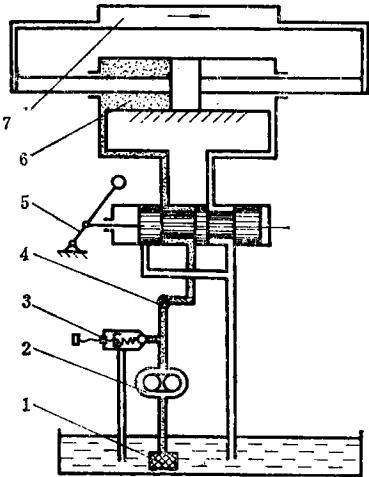


图 1.2 工作台纵向液压系统示意图

1—过滤器 2—齿轮泵 3—溢流阀 4—节流阀
5—换向阀 6—液压缸 7—工作台

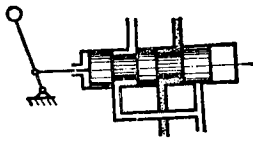


图 1.3 换向阀换向示意图

§ 1.2 磨 削 加 工 的 特 点

磨削加工和其他加工方法相比较，具有以下特点：

1. 砂轮是由磨粒和结合剂粘结而成的多刃刀具，在砂轮表面每平方厘米面积上有60~1400颗磨粒，每颗磨粒相当于一个刀齿。磨粒是一种硬度极高的非金属晶体，它不但可以磨削铜、铸铁等较软的材料，而且还可以加工硬度很高的材料，如各种淬硬钢件、高速钢刀具和硬质合金等，这些材料是一般工种很难加工或根本不能加工的。

2. 砂轮具有极高的圆周线速度，目前一般砂轮的线速度可达到35米/秒左右。砂轮在磨削时除对工作表面有切削作用外，还有强烈的磨擦作用，在磨削区域磨削温度可达

400~1000°C。

3. 砂轮表面经过修整以后,可形成极细微的刃口,从而可切除工件表面极薄的金属层。磨削作为精加工工序,一般安排在车、铣等工序之后。

4. 磨削加工能获得极高的加工精度和极小的表面粗糙度。磨削精度通常可以达到IT6~IT7级(国标GB 1800~1804—79),表面粗糙度可达 $R_a 1.25 \sim 0.16$ (相当于旧光洁度等级 $\nabla 7 \sim \nabla 11$)。如镜面磨削工件表面的粗糙度只有 $R_a 0.01$,工件表面光滑如镜。尺寸精度和形状精度可达1微米以内,其误差相当于人体头发丝粗细的七十分之一左右。

5. 砂轮在磨削时还具有“自锐作用”,部分磨钝的磨粒在一定条件下能自动脱落或崩碎,从而使砂轮保持良好的磨削性能。

§ 1.3 磨削用量的基本概念

1. 磨削用量的基本概念

在磨削过程中,为了切除工件表面多余的金属,必须使工件和刀具作相对运动。按照磨削过程中的作用,磨削运动可分为主运动和进给运动两种(图1.4)。

(1) 主运动 直接切除工件表层的金属,使之变为磨屑,形成工件新表面的运动。磨削时,砂轮的旋转运动是主运动,其运动的线速度较高,消耗的切削功率也较大。

(2) 进给运动 使新的金属层不断投入磨削的运动。它分为横向进给运动、纵向进给运动和工件的圆周进给运动。横向进给运动是控制砂轮吃刀深度的运动,多数情况下是间歇的。纵向进给运动是一种走刀运动,起反复磨光的作用。工件圆周进给运动一般是连续的。其中外圆磨削的纵向进给运动和工件圆周进给又是与成形有关的运动。磨削用量是衡量上述磨削运动大小的参数。它包括砂轮圆周速度、工件圆周进给速度、纵向进给量和横向进给量。合理选择磨削用量对磨削的质量和生产效率均有很大影响。

2. 磨削用量的基本参数

(1) 砂轮圆周速度 砂轮外圆表面上任意一点在单位时间内所经过的路程,叫做砂轮圆周速度,用 v_{ϕ} 表示,计算公式为:

$$v_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi} \cdot n}{1000 \times 60} \text{ (米/秒)} \quad (1.1)$$

式中: D_{ϕ} ——砂轮直径,毫米;

n ——砂轮转速,转/分。

砂轮圆周速度是表示砂轮磨粒的磨削速度,故又称磨削速度。

例1.1 已知砂轮直径为400毫米,砂轮转速为1670转/分,求砂轮的圆周速度。

解: 根据公式(1.1)

$$v_{\phi} = \frac{\pi \times 400 \times 1670}{1000 \times 60} = 34.976 \text{ 米/秒} \approx 35 \text{ 米/秒}$$

外圆磨削和平面磨削的磨削速度一般在30~35米/秒左右,内圆磨削较低一般在18~30米/秒左右。

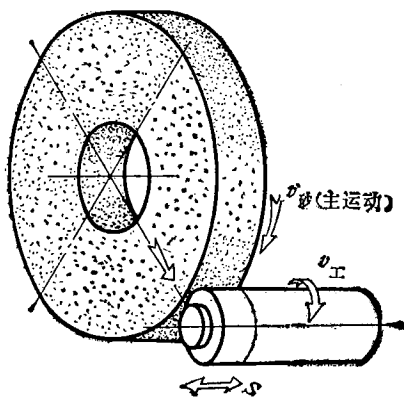


图 1.4 磨削用量

砂轮圆周速度对磨削质量和生产率有直接的影响。当砂轮直径变小时, 会出现磨削质量下降现象, 就是由于砂轮圆周速度下降了的缘故。

(2) 工件圆周速度 外圆磨削时, 工件圆周速度是表示工件被磨削表面上任意一点, 在每分钟内所走过的路程, 用 $v_{\text{工}}$ 表示。计算公式为:

$$v_{\text{工}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{工}} \cdot n_{\text{工}}}{1000} \quad \text{米/分} \quad (1.2)$$

式中: $d_{\text{工}}$ ——工件外圆直径, 毫米;

$n_{\text{工}}$ ——工件转速, 转/分。

工件圆周速度比砂轮圆周速度低得多, 一般为5~30米/分。

在实际生产中, 工件直径是已知的, 加工时通常需要确定工件的转速, 为此可将上式变换为:

$$n_{\text{工}} = \frac{1000 v_{\text{工}}}{\pi \cdot d_{\text{工}}} \approx \frac{318 v_{\text{工}}}{d_{\text{工}}} \quad \text{转/分} \quad (1.3)$$

(3) 纵向进给量 工件每转一转相对砂轮在纵向移动的距离, 叫做纵向进给量, 又称走刀量, 用 s 表示 (图1.5)。公式为

$$s = (0.2 \sim 0.8) B \text{ 毫米/工件 每转} \quad (1.4/1)$$

式中: B ——砂轮宽度, 毫米。

纵向进给量与纵向速度间有以下关系:

$$v_{\text{纵}} = \frac{s \cdot n_{\text{工}}}{1000} \quad \text{米/分} \quad (1.4/2)$$

式中: $v_{\text{纵}}$ ——工作台纵向速度;

$n_{\text{工}}$ ——工件转速。

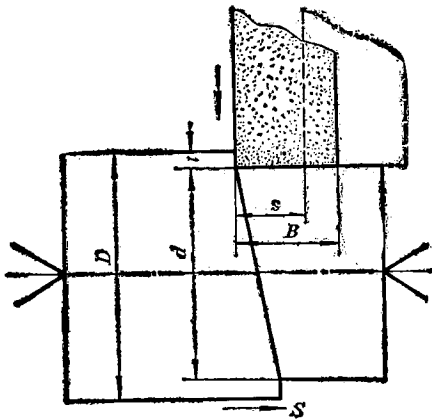


图 1.5 走刀量和磨削深度

式中: D ——吃刀前工件的直径, 毫米;

d ——吃刀后工件的直径, 毫米。

外圆磨削的横向进给量很小, 一般取0.005~0.05毫米, 精磨时选小值, 粗磨时选大值。

例1.2 已知砂轮宽度 $B=40$ 毫米, 选择纵向进给量 $s=0.4B$, 工件转速224转/分, 求工作台纵向速度。

解: 根据公式(1.4)

$$v_{\text{纵}} = \frac{s \cdot n_{\text{工}}}{1000} = \frac{0.4 \times 40 \times 224}{1000} \approx 3.6 \quad \text{米/分}$$

(4) 横向进给量 外圆磨削时, 在每次行程終了时, 砂轮在横向进给运动方向上移动的距离。它是衡量吃刀深度大小的参数, 又称磨削深度, 用 t 表示。横向进给量可按下式计算:

$$t = \frac{D-d}{2} \quad \text{毫米} \quad (1.5)$$

§ 1.4 砂 轮

陶瓷结合剂砂轮须经过混料、成型、干燥、烧结、整形、静平衡、硬度测定、安全线速度试验等复杂程序而制成。磨粒和结合剂在900℃的电热隧道窑中烧结时，有硅酸盐矿物生成，结合剂与刚玉表面相互浸溶形成多孔网状玻璃组织，从而使砂轮具有特殊的结构（图1.6）。磨粒依靠结合剂粘结在一起，在磨削过程中直接起切削的作用。砂轮内的网状空隙起容纳磨屑和散热的作用。磨粒、结合剂、网状空隙构成砂轮结构的三要素。

1. 砂轮的特性要素

砂轮的工作特性由以下几个要素衡量：磨料、粒度、结合剂、硬度、组织、强度、形状和尺寸等。各种特性的砂轮，都有其适用的范围，须按照具体的磨削条件选择。

（1）磨料 磨料是砂轮的主要成分，磨料经压碎后即成为各种粗细不同的磨粒。在磨削时它要经受强烈的摩擦、挤压和高温的作用，所以磨料必须具有高的硬度，同时还应有一定的耐热性和相当的韧性。

磨料分天然磨料和人造磨料两大类。天然磨料有刚玉和金刚石等。天然刚玉含杂质多，质地不均，且价格昂贵，很少采用，所以目前制造砂轮用的磨料主要是各种人造磨料。人造磨料分刚玉类、碳化硅类、超硬类三大类。各种人造磨料的特性如下：

刚玉类磨料的主要成分是氧化铝（ Al_2O_3 ）。由铝矾土等为原料在高温电炉中熔炼而成。适于磨削抗拉强度较好的材料，如各种钢材。按氧化铝含量、结晶构造、渗入物的不同，刚玉类可分为以下几种：

①棕刚玉（A） 棕刚玉又称普通氧化铝，呈棕褐色。用它制造的陶瓷结合剂砂轮通常为蓝色或浅蓝色。棕刚玉的硬度高韧性较好，能承受较大磨削压力，适于磨削碳素钢、合金钢、硬青铜等金属材料。棕刚玉价格便宜，应用较广泛。

②白刚玉（WA） 白刚玉含氧化铝的纯度极高，呈白色，因此又称白色氧化铝。白刚玉较棕刚玉硬而脆，磨粒相当锋利。在磨削过程中磨粒不易磨钝，磨钝的磨粒也容易破裂而形成新的锋利刃口。因此白刚玉具有良好的切削性能，磨削过程产生的磨削热比棕刚玉低。适用于精磨各种淬硬钢、高速钢以及容易变形的工件等。

③铬刚玉（PA） 除了含氧化铝外，还含有少量的氧化铬（ Cr_2O_3 ），呈玫瑰红色。铬刚玉的硬度与白刚玉相近，而韧性比白刚玉好。磨削韧性好的钢件（如磨高钒高速钢）时，砂轮的耐用度和磨削效率比白刚玉高。在相同条件下，用铬刚玉磨出的工件表面粗糙度比白刚玉砂轮稍低。适用于精磨各种淬硬钢件。

④微晶刚玉（MA） 颜色和化学成分与棕刚玉相似。由于磨粒熔炼成微小尺寸的晶

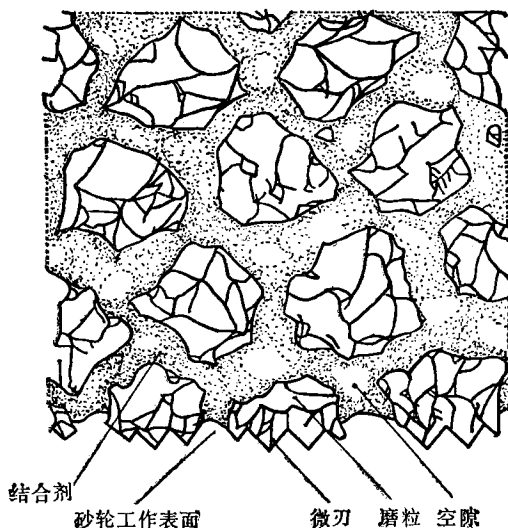


图 1.6 砂轮的结构

体结构，故韧性和自锐性更好。适用于磨削不锈钢、轴承钢和特种球墨铸铁，也适于作超精密磨削。

⑤单晶刚玉(SA) 单晶刚玉是由特殊方法熔炼成的单晶体。它不象其他磨料需经过机械粉碎，因此磨粒内部没有伤痕和残余应力，硬度和韧性都比白刚玉高，在磨削过程中具有较高的耐用度。适于磨削韧性好的不锈钢、高钒高速钢和其他难加工材料，超精密磨削中也有应用。

碳化硅类磨料的硬度和脆性比氧化铝高，磨粒也更锋利，不宜磨削钢料等韧性金属，适用于磨削脆性材料，如铸铁、硬质合金等。碳化硅类不宜磨削钢料的另一个原因是：在高温下碳化硅中的碳原子要向钢的铁素体中扩散，使磨粒磨损。碳化硅由硅石和焦碳为原料在高温电炉中熔炼而成，按含SiC的纯度不同，可以分以下两种：

①黑色碳化硅(C) 磨料的颜色是黑色的，且有金属光泽。硬度高于刚玉类的任何一种。磨粒棱角锋利，但是性脆，经不住大的磨削压力，故适宜于磨削抗拉强度低的材料如铸铁、黄铜、青铜等。

②绿色碳化硅(GC) 含碳化硅的纯度极高，呈绿色，也有美丽的金属光泽。

绿色碳化硅的硬度比黑色碳化硅高，刃口锋利，但脆性更大，适于磨削硬而脆的材料，如硬质合金等。

超硬类磨料是近年来发展的新型磨料，有以下两种：

①人造金刚石(SD) 金刚石是目前已知物质中最硬的一种材料，其刃口非常锋利，切削性能优良，但价格昂贵。主要用于加工高硬度材料，如硬质合金和光学玻璃等。人造金刚石是以石墨作原料，在触媒剂作用下，利用超高压、超高温，将石墨转变成碳的同素异晶体。人造金刚石无色透明或呈淡黄、淡绿色。

②立方氮化硼(CBN) 主要用于磨削高硬度、高韧性的难加工钢材。呈棕黑色，硬度略低于金刚石，具有极好的磨削性能，特别适合磨削耐热钢、高钼、高钒、高钴的合金钢、不锈钢等特种钢材。在磨削特种钢材时，立方氮化硼的效率比金刚石要高五倍，比氧化铝砂轮高近百倍。

几种常用磨料的化学成分及其物理机械性能见表1.1。

(2) 粒度 粒度是表示磨粒尺寸大小的参数，根据磨料标准(GB 2477-83)规定，粒度用41个粒度代号表示(表1.2)。

粒度有两种表示方法。颗粒尺寸大于50微米的磨粒，用筛网筛分的方法测定，粒度号代表的是磨粒所通过的筛网在每英寸长度上所含的孔眼数。例如，60#粒度是指它可以通过每英寸长度上有60个孔眼的筛网，但不能通过每英寸长度上有70个孔眼的筛网。因此用这种方法表示的粒度号越大，磨粒就越细。

尺寸很小的磨粒，成微粉状，用显微镜测量的方法测定其粒度。粒度号W表示微粉，阿拉伯数表示磨粒的实际宽度尺寸。例如W40表示颗粒大小为40~28微米。

砂轮的粒度对工件表面的粗糙度和磨削效率有很大的影响，磨削时要合理选择砂轮的粒度。

(3) 结合剂 结合剂是将磨粒粘固成各种砂轮的材料。结合剂的种类及其性质，影响了砂轮的硬度、强度。常用的结合剂分有机结合剂和无机结合剂两大类。其中无机结合剂最常用的是陶瓷结合剂，有机结合剂最常用的有树脂结合剂和橡胶结合剂二种。

表 1.1

几种磨料的物理机械性能

系 别	磨 料	代 号	化学成分 (重量百分数)	维氏显微硬度 (10^3 牛/米 ²)	极限抗弯强度 (10^3 牛/米 ²)	研磨能力以金 刚石为1作比较
刚 玉 类	棕刚玉	A	$Al_2O_3 > 95.0\%$ $SiO_2 < 2.0\%$ $Fe_2O_3 < 1.0\%$	2000~2200	36.77	0.10
	白刚玉	WA	$Al_2O_3 > 98.5\%$ $SiO_2 < 1.2\%$ $Fe_2O_3 < 0.15\%$	2200~2400		0.12
	铬刚玉	PA	$Al_2O_3 > 97.5\%$ $SiO_2 < 1.0\%$ $Fe_2O_3 < 0.01\%$ $Cr_2O_3 > 1.15 \sim 1.30\%$	2278		0.13
碳 化 硅 类	黑碳化硅	C	$SiC > 98.5\%$ $C < 0.2\%$ $Fe_2O_3 < 0.6\%$ $SiO_2 < 0.5\%$	2840~3320	15.5	0.25
	绿碳化硅	GC	$SiC > 99.0\%$ $C < 0.2\%$ $Fe_2O_3 < 0.35\%$ $SiO_2 < 0.3\%$	2840~3320	15.5	0.28
金 刚 石	人造金刚石	SD	C	10060~11000		1

注：显微硬度是用一定形状尺寸的金刚石锥体，在一定负荷下压入被测物质所形成的印痕大小换算成牛/米²表示的，这个数值愈大，表示硬度愈高。

①陶瓷结合剂 (V) 是目前应用最广的一种结合剂。它由天然花岗石和粘土为原料配制而成。其主要优点是：

1) 物理和化学性能稳定，能耐热和耐腐蚀，因此可以用于干磨，又能适应使用各种切削液的磨削，贮存时间也较长。

2) 砂轮的多孔性好，砂轮不易堵塞。

3) 粘结力较大，磨削时，能较好地保持砂轮的外形轮廓。

它的缺点是：

1) 呈脆性，不能受大的冲击和侧面压力，不能制造薄片砂轮。砂轮的磨削速度一般不能超过35米/秒。七十年代以来，我国成功地研制了含硼陶瓷结合剂 (粘土25%，锂辉石25%，硼玻璃35%，无碱玻璃15%)，使陶瓷结合剂的结合强度大大提高，可以用作50~80米/秒的高速磨削。

2) 砂轮没有弹性，磨削时发热量较大。

3) 怕冰冻。

②树脂结合剂 (B) 是一种有机结合剂，由石碳酸与甲醛人工合成，它的主要优点是：

1) 有很高的强度，可制造薄片和速度高于50米/秒的高速砂轮，其应用范围仅次于陶瓷结合剂。