

全国中等职业技术学校培养复合型技能人才系列教材



磨工 知识与技能

(初级)

QUANGUO ZHONGDENG ZHIYE JISHU XUOXIAO PEIYANG FUHEXING JINENG RENCAI XILIE JIAOCAI

 中国劳动社会保障出版社

全国中等职业技术学校培养复合型技能人才系列教材

磨工知识与技能

(初 级)

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

磨工知识与技能: 初级/蒋英汉主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2007

全国中等职业技术学校培养复合型技能人才系列教材

ISBN 978-7-5045-5448-2

I. 磨… II. 蒋… III. 磨削-基本知识 IV. TG58

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第011781 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码: 100029)

出 版 人: 张梦欣

*

新华书店经销

国防工业出版社印刷厂印刷 北京助学印刷厂装订

787 毫米×1092 毫米 16 开本 7.5 印张 179 千字

2007 年1月第1版 2007 年1月第1次印刷

定价: 12.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

前 言

伴随着我国各行业技术的发展、生产的合理化、管理水平的提高,一方面使得生产效率越来越高,另一方面也使得劳动密集型和半密集型的工作岗位越来越少,从而导致劳动分工由单一工种逐步向复合工种转变,这一转变无疑对创造社会财富的劳动者来说提出了更多更新的要求。

为了适应这种转变,培养更多掌握复合技能的人才,配合各地进行的复合工种教学,我们组织全国有关学校的职业教育研究人员、一线教师和行业专家编写了这套培养复合型技能人才的教材。这套教材包括《钳工知识与技能(初级)》《维修电工知识与技能(初级)》《焊工知识与技能(初级)》《铣工知识与技能(初级)》《磨工知识与技能(初级)》五本教材及与其配套的习题册。这套教材适合与目前的各类中级工的教材配套使用,可以满足以下复合工种教学:

1. 中级车工与初级铣工、初级钳工或初级磨工复合。
2. 中级钳工与初级维修电工或初级焊工复合。
3. 中级焊工与初级钳工或初级维修电工复合。
4. 中级维修电工与初级钳工复合

本套教材的编写工作得到了江苏、新疆、河南、陕西、四川、湖北、广东、江西等省劳动保障厅及有关学校、企业的支持和帮助,对此我们表示衷心的感谢。

《磨工知识与技能》主要内容有磨削加工的基本知识、外圆磨削、内圆磨削、圆锥面的磨削、平面磨削、简单刀具的磨削和螺纹磨削等。

本书由蒋英汉编写。

劳动和社会保障部教材办公室

2007年1月

目 录

第一单元 磨削加工的基本知识.....	(1)
课题一 磨床简介.....	(1)
课题二 磨削加工的特点.....	(6)
课题三 磨削用量.....	(7)
课题四 砂轮.....	(10)
课题五 砂轮的安装和平衡.....	(19)
课题六 砂轮的修整.....	(23)
课题七 切削液.....	(24)
课题八 磨床的润滑和维护保养.....	(26)
第二单元 外圆磨削.....	(28)
课题一 外圆磨削的形式.....	(28)
课题二 外圆砂轮的选择和修整.....	(30)
课题三 工件的装夹.....	(33)
课题四 外圆的磨削方法.....	(37)
课题五 外圆的测量.....	(40)
课题六 外圆磨削的技能训练与误差分析.....	(44)
第三单元 内圆磨削.....	(52)
课题一 内圆磨床及内圆磨削的形式.....	(52)
课题二 内圆砂轮及其正确使用.....	(55)
课题三 工件的装夹.....	(58)
课题四 内圆的磨削方法.....	(60)
课题五 内圆的精度检验.....	(62)
课题六 内圆磨削的技能训练与误差分析.....	(63)

第四单元 圆锥面的磨削·····	(67)
课题一 圆锥的基础知识·····	(67)
课题二 圆锥面的磨削方法·····	(69)
课题三 圆锥的精度检验·····	(71)
课题四 圆锥磨削的技能训练与误差分析·····	(76)
第五单元 平面磨削·····	(79)
课题一 平面磨床及平面磨削基本操作·····	(79)
课题二 平面的磨削·····	(83)
课题三 平行面、垂直面和斜面的磨削·····	(86)
课题四 平面零件的精度检验·····	(90)
课题五 平面磨削的技能训练与误差分析·····	(93)
第六单元 简单刀具的刃磨·····	(98)
课题一 刀具的钝化·····	(98)
课题二 铰刀的刃磨·····	(99)
第七单元 螺纹磨削·····	(106)

第一单元

磨削加工的基本知识

磨削加工的基本知识包括磨床简介,切削用量的确定,砂轮特性的选择,砂轮的安装、平衡和修整。

通过对磨削加工基本知识的学习,了解磨床的基本组成,会操纵 M1432A 型万能外圆磨床,能合理选择切削用量,会进行砂轮的选择、修整与平衡等操作。

课题一 磨床简介

一、磨床的主要组成部分

磨削加工是工件精加工的主要方法,为了适应不同切削方式后工件的精加工,磨床有许多种类。根据用途不同,磨床可分为:外圆磨床、内圆磨床、万能外圆磨床、平面磨床、工具磨床、曲轴磨床、花键磨床、齿轮磨床、螺纹磨床等。常用的万能外圆磨床(图 1-1)主要包括床身、工作台、头架、尾座、砂轮架及横向操纵机构和内圆磨具等几部分。

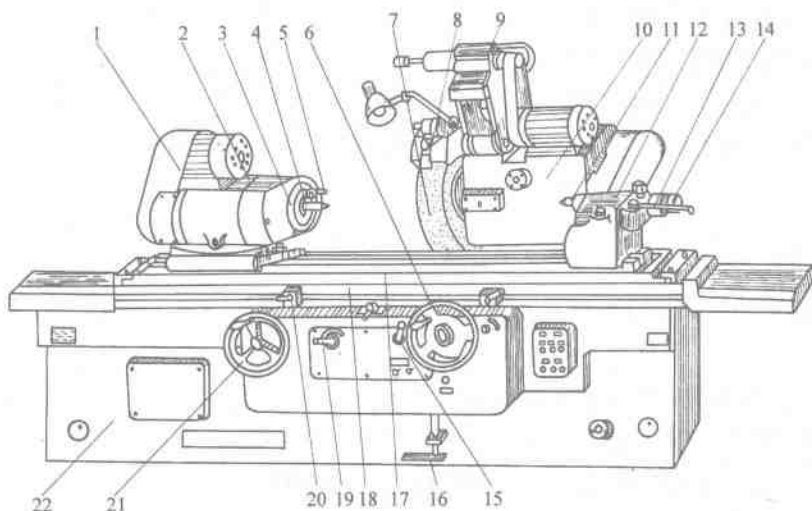


图 1-1 万能外圆磨床

- 1—传动变速机构 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—砂轮架 11—顶尖 12—尾座 13—尾座顶尖套筒缩进手柄 14—尾座顶尖力调节旋钮
15—快速手柄 16—脚踏操纵板 17—上工作台 18—下工作台 19—工作台开停手柄 20—撞块
21—工作台纵向移动手轮 22—床身

(1) 头架 头架可固定在工作台左端适当位置, 主要由变速机构和主轴组成。在头架主轴前端锥孔中可安装顶尖或卡盘, 用来支承工件。调节变速机构可以使拨盘得到几种不同的转速, 通过拨盘上拨杆带动工件旋转。

(2) 工作台 工作台由上工作台和下工作台两部分组成。上工作台可相对下工作台回转一定的角度, 顺时针可转 3° , 逆时针可转 6° , 以便调整机床和磨削圆锥面; 下工作台以底面导轨定位安放在床身的纵向导轨上, 由液压或机械传动装置 (转动手轮 21) 带动其做纵向运动。

(3) 尾座 尾座在工作台右端, 尾座套筒内可安装顶尖, 用来配合头架主轴顶尖装夹工件。旋转尾座后端的调节旋钮, 可调节顶尖对工件的顶紧力。

(4) 砂轮架及横向操纵机构 砂轮架安装在床身的横向导轨上。砂轮安装在砂轮架主轴左端, 由电动机经 V 带带动旋转。横向进给操纵手轮可以实现砂轮架的横向进给, 以控制工件的磨削尺寸。通过旋转快速手柄, 可使砂轮架实现 50 mm 的快速进退运动。

(5) 内圆磨具 内圆磨具用于磨削工件的内孔, 由电动机经传动带带动旋转。内圆磨具通过回转支架安装到砂轮架上, 使用时可向下翻转至工作位置。

(6) 床身 床身是一个箱形铸件, 用来支撑磨床的各个部件。床身上有纵向和横向两组导轨, 分别装有工作台和砂轮架等。床身内部装有液压传动装置和机械传动机构, 前侧壁上装有操纵手柄和按钮。

二、万能外圆磨床的基本操作

1. 工作台纵向运动的操纵

(1) 手动操纵 转动手轮 21, 工作台做纵向运动。手轮顺时针旋转, 工作台右移; 手轮逆时针旋转, 工作台左移。手轮每转一圈工作台移动约 5.9 mm。

(2) 工作台液压运动的操纵

1) 按油泵启动按钮启动油泵。

2) 转动工作台左端的放气阀, 排除机床油路中的空气。

3) 转动工作台开停手柄 19 至启动位置; 调节工作台速度调整旋钮, 使工作台处于最快行程速度。

4) 在工作台往复运动 1~2 个行程后, 关闭放气阀, 调节工作台速度调整旋钮, 使工作台处于磨削速度。

5) 根据加工需要, 调节工作台左停留、右停留旋钮, 控制工作台在左边或右边换向时的停留时间。

6) 转动工作台开停手柄至停止位置, 工作台停止运动。

2. 砂轮横向进给运动的操纵

(1) 砂轮架的手动进给操作 转动手轮 6, 砂轮架横向移动, 顺时针旋转, 砂轮架前进 (朝操作者方向); 逆时针旋转则后退。

(2) 砂轮架液压快速进退 启动油泵, 逆时针转动手柄 15 至工作位置, 砂轮架快速前进; 顺时针转动手柄至退出位置, 砂轮架快速退出。

3. 尾座的操纵

(1) 手动操纵 旋转手柄 13, 可使尾架套筒做伸缩移动, 用来安装和拆卸工件。旋转

旋钮 14, 可调节尾座弹簧套筒的压力, 顺时针旋转压力增大, 逆时针旋转压力减小。

(2) 液压脚踏操纵 当工件体积较大或重量较重时, 可脚踏操纵板 16, 使尾座套筒自动缩回; 松开操纵板, 套筒伸出顶住工件。注意, 此操作必须是在砂轮退出后才起作用。

三、万能工具磨床

刀具刃磨常在 MQ6025A 或 M6025 型万能工具磨床上进行, 以下主要介绍 MQ6025A 型万能工具磨床, 其性能优良、使用方便。

1. MQ6025A 型万能工具磨床

MQ6025A 型万能工具磨床主要由床身, 工作台, 砂轮架, 横向滑板, 万能夹头, 左、右顶尖座等部件和附件组成 (图 1—2)。

MQ6025A 型万能工具磨床使用附件后, 可以刃磨铰刀、铣刀、滚齿刀、拉刀、插齿刀、车刀等刀具, 同时也可以用来磨削内、外圆柱面, 平面以及样板等零件。

2. 常用附件

(1) 左、右顶尖座 图 1—2 中的 3 为左、右顶尖座, 主要用来装夹带中心孔的刀具及需要用心轴装夹的刀具。

左顶尖可在顶尖座的孔中移动, 并可用螺钉锁紧; 右顶尖在弹簧力作用下向外顶紧工件。

(2) 万能夹头 图 1—2 中的 15 为万能夹头, 主轴锥孔为莫氏 5 号锥度, 可安装顶尖和心轴, 主要用来装夹端铣刀、立铣刀、三面刃铣刀、角度铣刀等刀具, 以刃磨其端面齿或锥面齿。装上电动机后, 由传动带带动万能夹头主轴旋转, 用来磨削内、外圆及插齿刀的前刀面。

万能夹头的结构见图 1—3。其中夹头体可在支架上绕 x 轴回转 360° , 支架可在底座上绕 y 轴回转 360° , 装夹工件的主轴可在夹头体中绕 z 轴回转 360° 。

(3) 万能齿托架 万能齿托架可使刀具刀齿相对于砂轮处于正确位置, 磨出需要的几何角度。万能齿托架由支架 6、调整杆 3、支杆 2、齿托片 1 等组成 (图 1—4)。

支架 6 可用螺钉 4、螺母 5 固定在工作台上, 也可固定在磨头架或万能夹头上。调整杆 3、支杆 2 可将齿托片 1 撑在刀具的适当部位上, 调整好位置后, 用螺钉 7、10 锁紧。转动带刻度盘的把手 8、微调螺钉 9, 可精确地调整齿托片的高低位置。齿托片可绕齿托座 11 上的小轴 13 转动, 这样磨好一齿转动刀具时, 齿托片稍后让开; 转过一齿后, 弹簧 12 使齿托片紧靠在止头螺钉 14 上, 保持在原来的正确位置。

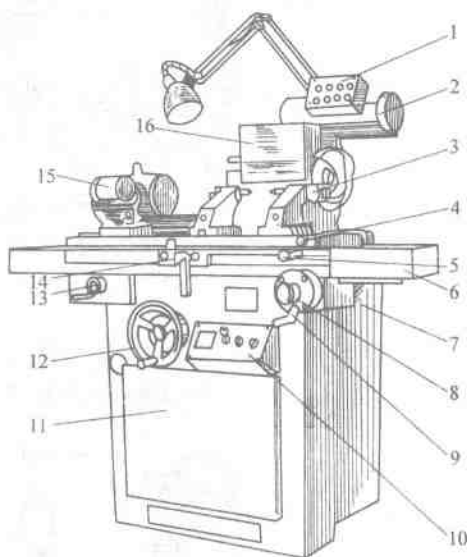


图 1—2 MQ6025A 型万能工具磨床

- 1—电器操纵板 2—砂轮架垂直进给手轮
- 3—左、右顶尖座 4—工作台定位手柄
- 5—调整角度手柄 6—工作台 7—横向滑板
- 8—结合子 9—工作台纵向进给手轮
- 10—电器控制面板 11—床身
- 12—横向进给手轮 13—工作台纵向进给手轮
- 14—限位挡铁 15—万能夹头 16—砂轮架

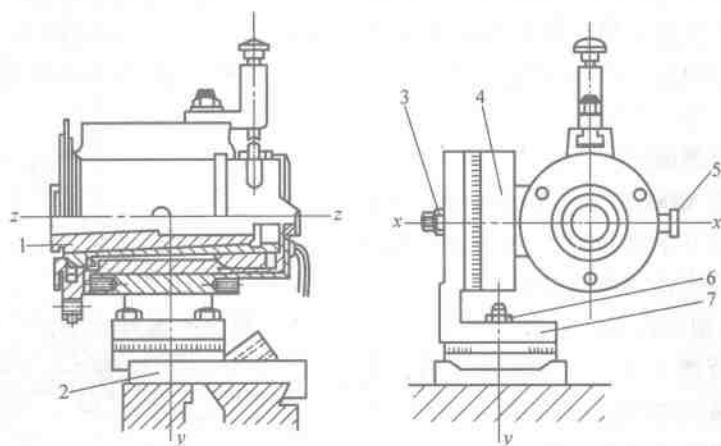


图 1—3 万能夹头的结构

1—主轴 2—底座 3、5、6—紧固螺钉 4—夹头体 7—支架

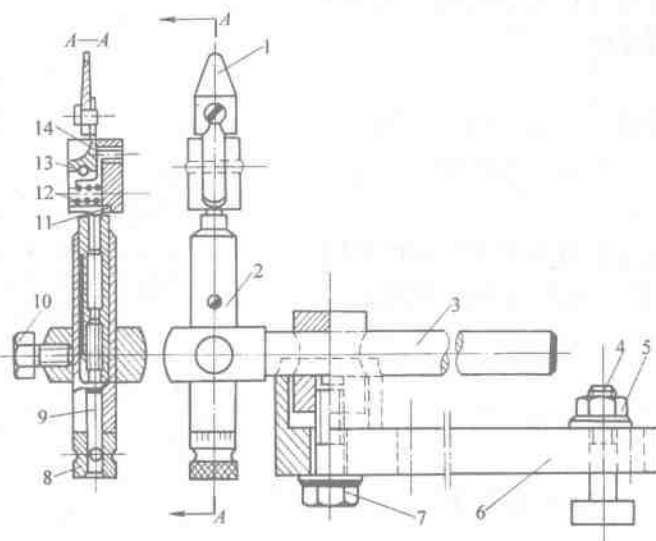


图 1—4 万能齿托架

1—齿托片 2—支杆 3—调整杆 4、7、10—螺钉 5—螺母 6—支架 8—把手
9—微调螺钉 11—齿托座 12—弹簧 13—小轴 14—止头螺钉

齿托片的形状很多,供刃磨各种尖齿刀具时选用,必要时也可自制(图 1—5)。直齿齿托片(图 1—5a, b)适合刃磨直槽尖齿刀具,如铰刀、角度铣刀、锯片铣刀等;斜齿齿托片(图 1—5c)适合刃磨斜槽刀具,如错齿三面刃铣刀等。螺旋齿齿托片(图 1—5d)用于刃磨各种螺旋槽刀具,如螺旋槽立铣刀等。

(4) 中心规 中心规是用来确定砂轮或顶尖中心高度的工具,由规体 1、中心片 2 和螺钉 3 组成,见图 1—6。用中心规与钢直尺配合可调整齿托架上齿托片的高度。

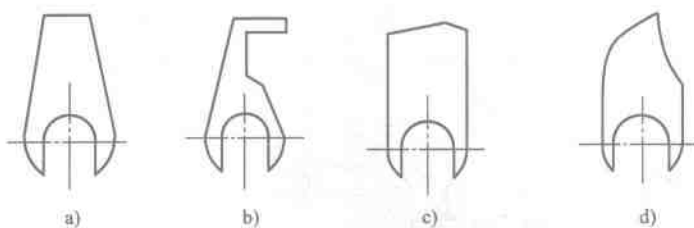


图 1—5 齿托片的形状

a)、b) 直齿齿托片 c) 斜齿齿托片 d) 螺旋齿齿托片

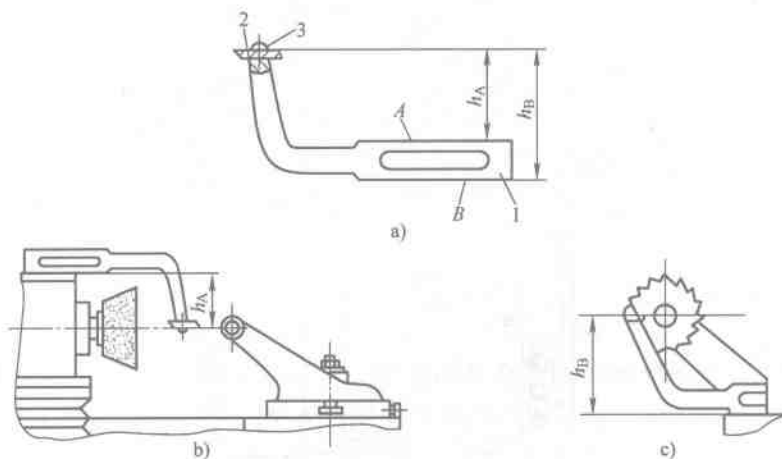


图 1—6 中心规及其使用

1—规体 2—中心片 3—螺钉

(5) 万能虎钳 万能虎钳可以绕 $x-x$ 轴、 $y-y$ 轴、 $z-z$ 轴旋转，用来刃磨所需要的任意角度的工件，如车刀、镗刀等。

四、MQ6025A 型万能工具磨床的操纵与调整

图 1—7 为 MQ6025A 型万能工具磨床的操纵示意图。

(1) 工作台的操纵和调整

1) 操作者站立位置的选择 万能工具磨床在进行内、外圆磨削时，由于工作台操纵手柄在机床前面右侧，因此操作者应站在机床前面，以便于操作和观察。在进行刀具刃磨时，由于磨削形式不同，为了便于操作和观察，操作者一般站在机床工作台后面左侧或右侧。

2) 操纵手轮的选择和操纵方法 工作台的速度可通过结合子 8 (图 1—2) 拉出或推进实现。磨内、外圆时，将结合子 8 拉出，操纵手轮 9，使工作台做慢速均匀移动。刃磨刀具时，结合子在推进位置，操纵手轮 13 或 19 (图 1—7)，使工作台快速移动。刃磨时，工作台是快速手动操作，因此握柄姿势必须准确，否则会因转动不灵活产生中途停顿的现象。准确的操纵手柄的姿势如图 1—8 所示；要注意各手指的协调用力。

3) 工作台行程距离的调整 由于工作台是采用圆柱滚针导轨，操纵时稍不注意就会使行程过头；在磨削时为了控制行程，可用挡铁 14 (图 1—2) 来限位。挡铁使用方法与外圆磨床挡铁使用方法基本相同。

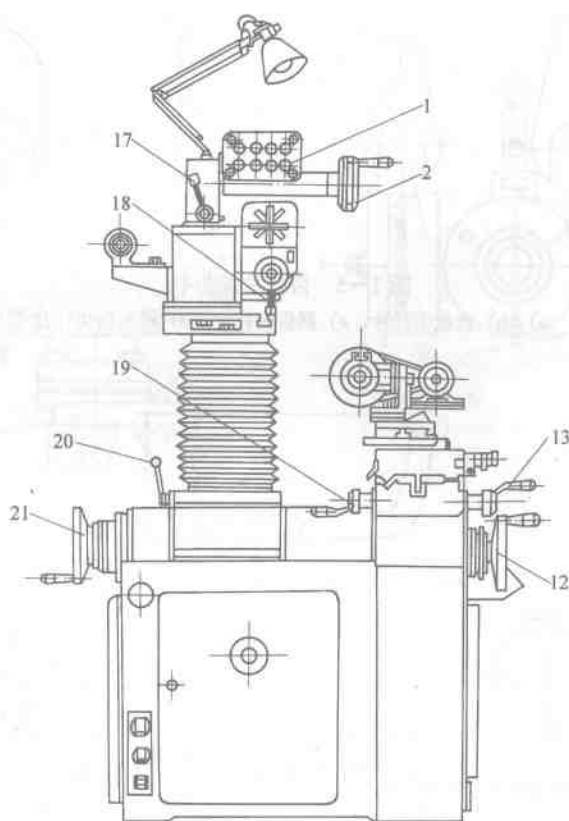


图 1-7 MQ6025A 型万能工具磨床操纵示意图

1—电器操纵板 2—砂轮架垂直进给手轮 12, 21—横向进给手轮 13, 19—工作台纵向进给手轮
17—砂轮架回转手柄 18—紧固螺钉 20—砂轮架自动升降锁紧手柄

(2) 磨头位置的调整和操纵 在进行刀具刃磨时, 磨头应从图 1-7 所示位置 (外圆磨削位置) 按顺时针方向转 90° , 使磨头主轴轴线垂直于工作台轴线。磨头升降手轮 2 和电器操纵板 1 可根据操作需要在水平方向做任意角度转动, 转动完毕, 可转动回转手柄 17 将磨头锁紧。转动手柄 20, 可断开磨头的上下升降, (避免操作时产生误动作)。转动横向进给手轮 12 或 21 可实现磨头架横向进给。

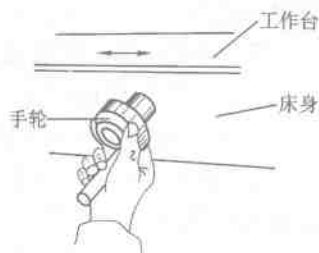


图 1-8 纵向手柄的操纵姿势

课题二 磨削加工的特点

磨削加工是采用特殊的刀具 (磨具) —— 砂轮进行切削 (图 1-9a)。磨粒是一种硬度极高的非金属晶体, 在砂轮表面每平方厘米面积上约有 $60 \sim 1\,400$ 颗磨粒不规则地排列着,

每颗磨粒相当于一个刀齿，对工件表面进行切削和挤压摩擦（图 1—9b）；而铣削用铣刀的刀齿有一定的几何角度，车削用的车刀只有 1~2 个刀刃（图 1—9c, d）。所以磨削加工有以下特点。

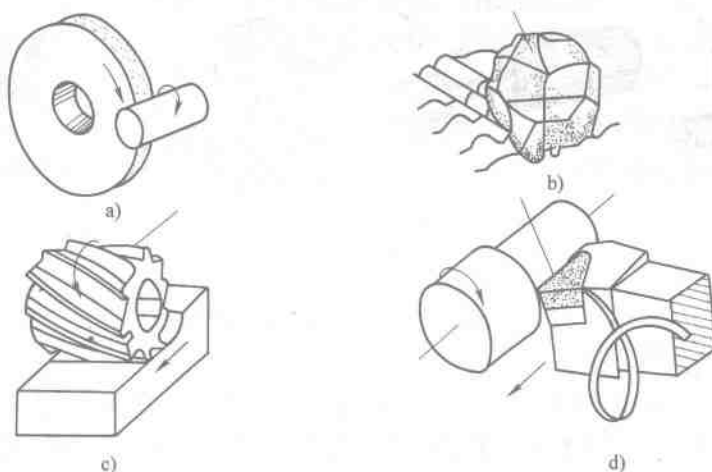


图 1—9 磨削与铣削、车削的比较

a) 磨削 b) 磨粒的磨削 c) 铣削 d) 车削

1. 砂轮是一种多刃的特殊切削工具，在磨削时具有极高的圆周线速度。目前，一般磨床的砂轮圆周速度为 35 m/s 左右，高速磨削的砂轮圆周速度达到 45~85 m/s。砂轮在磨削时，除了对工件表面有切削作用外，还有强烈的摩擦作用，磨削区域的磨削温度高达 400~1 000℃。

2. 磨削加工能获得极高的加工精度和极低的表面粗糙度值。磨削精度通常可以达到 IT6~IT7 级（GB 1800~1804—79），表面粗糙度 R_a 可达 0.8~0.05 μm 。如高精度磨削，工件的圆度公差为 0.001 mm 左右，表面粗糙度 R_a 为 0.005 μm 。故磨削加工一般为零件的精加工工序。

3. 磨削加工时，一次行程中切除的金属量较小，故切除金属的效率较低。例如，超精密磨削时，多次行程中仅磨除约 0.002 mm 的金属层。

4. 砂轮不但可以磨削铜、铝、铸铁等较软的材料，还可以磨削硬度很高的材料，如各种淬硬钢件、高速钢刀具、钛合金、硬质合金和非金属材料（如玻璃）等。这些材料是其他工种很难加工或根本不能加工的。

5. 砂轮在磨削时还具有“自锐作用”，即部分磨钝的磨粒在一定条件下能自动脱落或崩碎，从而露出新的刀刃，使砂轮保持良好的磨削性能。这是砂轮具有的独特能力。

课题三 磨削用量

一、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，必须使工件和砂轮做相对运动，即磨削

运动。图 1—10 所示分别为外圆、内圆和平面磨削运动。

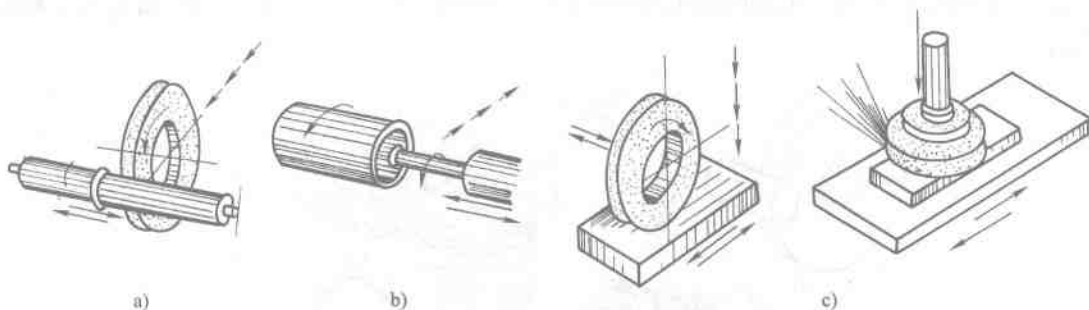


图 1—10 磨削运动

a) 外圆磨削 b) 内圆磨削 c) 平面磨削

1. 磨削运动的分类

(1) 主运动 直接切除工件表层金属,使之变为切屑,形成工件新表面的运动(主运动一般为一个)。图 1—10 中砂轮的旋转运动为主运动,其运动速度较高,消耗的切削功率较大。

(2) 进给运动 使新的金属层不断投入磨削的运动。磨削方式的不同,其运动方向有所区别。

外圆磨削和内圆磨削进给运动基本相同,包括工件的圆周进给运动、工件的纵向进给运动和砂轮的横向进给运动(吃刀运动)。

平面磨削进给运动有:工件的纵向(往复)进给运动,砂轮或工件的横向进给运动和砂轮的垂直进给运动(吃刀运动)。

2. 磨削用量

磨削用量即切削用量,是切削过程中磨削速度和进给量的总称。以外圆磨削为例,其磨削用量包括砂轮圆周速度、工件圆周速度,工件纵向进给量和砂轮横向进给量(吃刀量)4个参数。磨削用量的方向如图 1—11 所示。

二、磨削用量的基本要素

1. 砂轮圆周速度

砂轮外圆表面上任意一磨粒在单位时间内所经过的路程,称为砂轮圆周速度,用 v_s 表示,其单位为 m/s 。砂轮圆周速度可按下列公式计算:

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

式中 D_s ——砂轮直径 (mm);

n ——砂轮转速 (r/min)。

砂轮圆周速度又称切削速度,通常砂轮安全圆周速度为 35 m/s ,不同磨削方式的砂轮其圆周速度在 $19 \sim 35 \text{ m/s}$ 左右。

例 1—1 已知 $D_s = \phi 400 \text{ mm}$, 砂轮转速 $n = 1\,670 \text{ r/min}$, 求砂轮圆周速度。

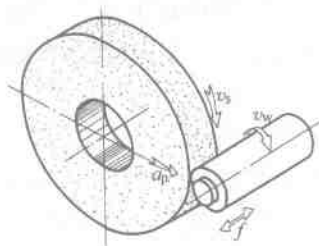


图 1—11 外圆磨削用量的方向

解：根据式 1—1 得

$$v_s = \frac{3.14 \times 400 \times 1\,670}{1\,000 \times 60} = 34.959 \approx 35 \text{ m/s}$$

砂轮圆周速度对磨削质量和生产率有直接的影响。当砂轮直径减小到一定数值时，砂轮的圆周速度也相应降低，砂轮的磨削性能将明显变差，此时应更换砂轮或提高砂轮转速。

2. 工件圆周速度

工件被磨削表面上任意一点在单位时间内所经过的路程，称为工件圆周速度，用 v_w 表示，其数值比砂轮圆周速度低得多，故单位取 m/min 。工件圆周速度可按下列公式计算：

$$v_w = \frac{\pi d_w n}{1\,000} \quad (1-2)$$

式中 d_w ——工件被磨削的外径 (mm)；

n ——工件转速 (r/min)。

例 1—2 已知被磨削的工件直径 $d_w = \phi 50 \text{ mm}$ ，工件转速 $n = 95 \text{ r/min}$ ，求工件圆周速度。

解：根据式 1—2 得

$$v_w = \frac{3.14 \times 50 \times 95}{1\,000} = 14.9 \approx 15 \text{ m/min}$$

工件的圆周速度一般为 $10 \sim 30 \text{ m/min}$ 。实际生产中是按加工精度来选择工件的圆周速度，加工精度较高的工件通常取低值，反之，取高值。故在圆周速度选定的条件下，可按工件直径来选择工件的转速。为此可将上式改换为求工件转速的公式：

$$n = \frac{1\,000 v_w}{\pi d_w} \approx \frac{318 v_w}{d_w} \quad (1-3)$$

例 1—3 已知工件圆周速度 $v_w = 15 \text{ m/min}$ ，工件直径 $d_w = 200 \text{ mm}$ ，求工件的转速。

解：根据式 1—3 得

$$n = \frac{318 \times 15}{200} = 23.85 \approx 24 \text{ r/min}$$

按头架变速机构（有级），选取接近的一级转速即可。（M1432A 型万能外圆磨床可选择 25 r/min 的转速加工）

3. 纵向进给量

工件每转一周相对砂轮在纵向移动的距离（图 1—12），称纵向进给量，用 f 表示，其单位为 mm/r 。由于纵向进给量受到砂轮宽度的限制，故其计算公式为：

$$f = (0.2 \sim 0.8) B \quad (1-4)$$

式中 B ——砂轮宽度 (mm)。

通常纵向进给量按加工精度和粗、精磨要求选定，粗磨时取较大值，精磨则相反。实际操作时，按纵向进给量来相应调节磨床工作台的速度即可。工作台速度 $v_{\text{纵}}$ （单位为 m/min ）与纵向进给量之间有如下的关系：

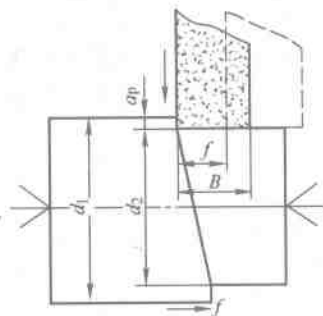


图 1—12 纵向进给量和背吃刀量

$$v_{\text{纵}} = \frac{fn}{1\,000} \quad (1-5)$$

式中 n ——工件转速 (r/min)。

4. 横向进给量

工作台行程每次终了时, 砂轮在横向移动的距离, 称横向进给量, 又称背吃刀量, 用 a_p 表示, 单位为 mm。其计算公式为:

$$a_p = \frac{d_1 - d_2}{2} \quad (1-6)$$

式中 d_1 ——进刀前工件直径 (mm);

d_2 ——进刀后工件直径 (mm)。

横向进给量较小, 一般取 0.005 ~ 0.05 mm 左右, 粗磨时取较大值, 精磨时取较小值。

课题四 砂 轮

一、砂轮的结构

砂轮又称磨具, 由磨粒、结合剂、空隙构成。磨粒依靠结合剂黏结在一起 (图 1—13b), 在磨削时直接起切削作用。结合剂像桥一样把磨粒连接起来, 并构成网状空隙。砂轮的网状空隙起容纳磨屑和散热的作用。磨粒、结合剂、空隙构成砂轮结构的三要素。

砂轮制造过程比较复杂。以陶瓷砂轮为例, 将砂轮的磨料和结合剂以适当比例混料成形后, 还需要经过干燥、烧结、整形、静平衡、硬度测定、最高工作线速度试验等程序。成形的砂轮在 9 000℃ 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 (图 1—13a)。

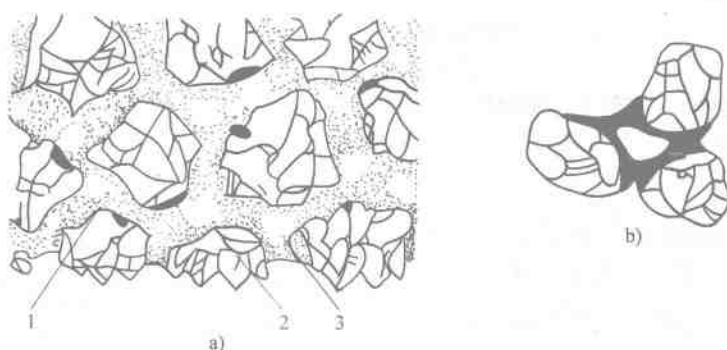


图 1—13 砂轮的结构

a) 砂轮的结构 b) 磨粒的连接

1—磨粒 2—结合剂 3—空隙

二、砂轮的特性要素

砂轮的特性主要由磨料、粒度、结合剂、硬度、组织、形状尺寸、强度 7 个要素衡量。各种特性的砂轮, 都有其适用的范围, 须按照具体的磨削要求合理地选择。

1. 磨料

磨粒的材料称磨料，为砂轮的主要成分，磨粒具有锐利的锋口，经修整的砂轮，其锋口呈微刃状。磨削时磨料要承受强烈的挤压、摩擦和高温的作用，故它应具有极高的硬度、耐磨性、耐热性，相当的韧性和化学稳定性。

目前广泛使用人造磨料来制造砂轮。人造磨料分为刚玉类磨料、碳化硅磨料、超硬类磨料三大类。

(1) 刚玉类磨料 刚玉类磨料的主要成分是氧化铝 (Al_2O_3)，由铝矾土等原料在高温电炉中熔炼而成，具有极高的硬度，适合磨削抗拉强度较高的材料，如钢材等。按氧化铝含量及渗入物不同，刚玉可分为以下几种：

1) 棕刚玉 (A) 及用途 棕刚玉约含 93% ~ 95% Al_2O_3 ，是用矾土、无烟煤和铁屑在电弧炉中熔炼而成，含杂质多，呈棕褐色。其有足够的硬度，韧性大，能承受较大的磨削力，价格便宜。用棕刚玉制成的砂轮常常为浅蓝色或浅灰色，适用于磨削抗拉强度较高的金属材料，如碳钢、合金钢、可锻铸铁、硬青铜等。

2) 白刚玉 (WA) 及用途 白刚玉是用 96% ~ 98% 纯度较高的氧化铝粉在电弧炉中熔炼结晶而成的，呈白色，性质硬而脆，自锐性好，适于磨削淬火钢、合金钢、高碳钢和成形磨削。

3) 铬刚玉 (PA) 及用途 铬刚玉是在白刚玉中加入 0.5% ~ 2% 氧化铬，化学反应后呈玫瑰红色，也称红刚玉。其韧性比白刚玉好，适于磨削合金钢、高速钢等高强度材料，因有抛光作用，所以可以降低工件表面的粗糙度值。

4) 微晶刚玉 (MA) 及用途 微晶刚玉的颜色及化学成分与棕刚玉相似，由于其磨粒熔炼成微小尺寸的晶体结构，故具有更好的自锐性和韧性，适于磨削不锈钢、轴承钢、特种球墨铸铁等材料，也适于作高精度磨削。

5) 单晶刚玉 (SA) 及用途 单晶刚玉是用特殊方法熔炼成的单晶体。它的尺寸较小，不需经过机械粉碎即可用于制造砂轮，因此磨粒内部没有裂痕和残余应力，具有更高的硬度、耐磨性和韧性，适用于磨削韧性好的不锈钢、高钒高速钢和其他难加工材料，在高精度磨削中也有应用。

(2) 碳化硅磨料 碳化硅磨料的主要成分是碳化硅 (SiC)，它由硅石和焦炭为原料在高温电炉中熔炼而成，其硬度和脆性比氧化铝更高，磨粒更锋利。按含 SiC 的纯度不同，碳化硅有黑色和绿色两种。

1) 黑色碳化硅 (C) 及用途 黑色碳化硅含杂质较多 (呈黑色)，有金属光泽，硬度高，但脆性大，常用于磨削抗拉强度较低的材料，如铸铁、黄铜、青铜，还适合加工橡胶、塑料等非金属材料。

2) 绿色碳化硅 (GC) 及用途 绿色碳化硅含碳化硅的纯度极高 (呈绿色)，且有美丽的金属光泽。绿色碳化硅硬而脆，刃口锋利，适于磨削高硬度材料，如硬质合金、陶瓷、玻璃等。

(3) 超硬类磨料 超硬类磨料是近年来发展的新型磨料，我国能制造人造金刚石和立方氮化硼两种，它们的砂轮结构与一般砂轮有所区别。

1) 人造金刚石 (SD) 及用途 金刚石是目前已知物质中最硬的一种材料，其刃口非常