

本书内容包括磨削加工基本知识、砂轮的选择和使用、外圆磨削、内孔磨削、圆锥面磨削、平面磨削、无心外圆磨削、刀具的刃磨、成型磨削、典型磨床的结构和使用等十部分。

本书可供机械制造工厂举办的业余技术教育和技工学校教学参考使用，也可作机械工人自学用。

磨 工

(试 用 本)

上海市第一机电工业局工会 编

*

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登记证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $12 \frac{1}{2}$ · 字数 273 千字

1973 年 12 月北京第一版·1973 年 12 月北京第一次印刷

印数 00,001—50,000 · 定价 0.78 元

目 次

第一章 磨削加工基本知识	1
第一节 磨削加工的特点和应用	1
第二节 磨削时的运动	3
第三节 磨床种类和常用磨床简介	5
第四节 磨削用量	11
第五节 磨削过程基本概念	14
第六节 磨削时的冷却	19
第七节 磨床的维护与保养	22
第八节 磨工工作位置的组织	23
第九节 磨工安全知识	24
第二章 砂轮的选择和使用	27
第一节 砂轮的特性	27
第二节 砂轮选择的一般原则	43
第三节 砂轮的安装和拆卸	49
第四节 砂轮的平衡	54
第五节 砂轮的修整	58
第六节 砂轮的保管	64
第七节 金刚石砂轮	65
第三章 外圆磨削	71
第一节 工件的装夹	71
第二节 磨削余量	81
第三节 磨削用量	83
第四节 磨削方法	86
第五节 轴类零件磨削工艺	97
第六节 磨削外圆时使用的心轴和闷头	110
第七节 轴类零件的精度检验	119

第八节	外圆磨削中的缺陷及其消除方法	125
第四章	内孔磨削	131
第一节	内孔磨削的特点和应用	131
第二节	砂轮选择	133
第三节	内孔磨削用量	135
第四节	工件的装夹	136
第五节	内孔的磨削方法	151
第六节	套类零件的磨削工艺	158
第七节	套类零件的精度检验	163
第五章	圆锥面磨削	166
第一节	圆锥尺寸计算和圆锥的标准	166
第二节	圆锥面的磨削方法	171
第三节	圆锥的精度检验	175
第四节	圆锥面磨削中的缺陷及其消除方法	183
第六章	平面磨削	188
第一节	平面磨削概述	188
第二节	平行平面的磨削	196
第三节	垂直平面与斜面的磨削	204
第四节	阶台和直角形槽的磨削	209
第五节	平面的精度检验	211
第七章	无心外圆磨削	215
第一节	无心外圆磨削的基本原理和磨削方法	215
第二节	M1080型无心外圆磨床简介	220
第三节	无心外圆磨床的调整	222
第四节	无心磨削实例	231
第五节	无心磨削中的缺陷及其消除方法	235
第八章	刀具的刃磨	241
第一节	刃磨刀具的机床及其附件	241
第二节	铰刀的刃磨	247

第三节	圆柱铣刀的刃磨	251
第四节	错齿三面刃铣刀的刃磨	253
第五节	铲齿铣刀的刃磨	256
第六节	齿轮滚刀的刃磨	260
第七节	刃磨刀具用的砂轮以及刃磨注意事项	263
第九章	成型磨削	268
第一节	成型磨削的机床和夹具以及基本方法	269
第二节	成型砂轮的修整	278
第三节	成型磨削的工艺问题	289
第四节	工艺尺寸换算和成型磨削实例	309
第十章	典型磨床的结构和使用	320
第一节	M131W型万能外圆磨床	320
第二节	磨床的润滑	346
第三节	磨床的加工精度和光洁度	350
附 录		360
I.	砂轮的转速和直径与线速度的关系表	360
II.	金刚石笔的型号及其选择	361
III.	标准圆锥的尺寸	365
IV.	磨床的型号	367
V.	外圆磨床精度标准 (GC 16-60)	375

第一章 磨削加工基本知识

第一节 磨削加工的特点和应用

在现代机器制造中，各种金属零件，特别是形状比较复杂，精度和光洁度要求较高的零件，一般都要按照一定顺序经过很多工种，用不同方法进行加工才能制成。

根据零件的形状、尺寸及材料不同，首先用铸造，锻造或焊接等方法制造毛坯，或者从金属型材（棒料、板料或管料等）上切下一部分作为零件毛坯，然后在车床、铣床、刨床和磨床等机床上进行切削加工，也就是在机床上用刀具从毛坯上切除一层多余的金属，使其达到所要求的形状、尺寸精度与表面光洁度。此外，根据零件的技术要求或加工的需要，在加工过程中，还要对零件进行热处理，如退火、调质、淬火等。

在磨床上用砂轮对工件进行切削，使其在形状、精度和光洁度等方面都合乎预定要求，这种加工方法称为磨削加工。

磨削加工的方式很多，如外圆磨削、无心外圆磨削、内孔磨削、平面磨削、成型磨削、螺纹磨削、齿轮磨削等（图1-1）。因此，几乎各种表面都可用磨削进行加工，如内外圆柱面、内外圆锥面、各种平面、成型面以及螺纹、齿轮、花键等。

磨削加工与其他切削加工方法如车削、铣削、刨削等比较，具有以下一些特点：

1. 能获得很高的加工精度和光洁度，通常精度可以达到

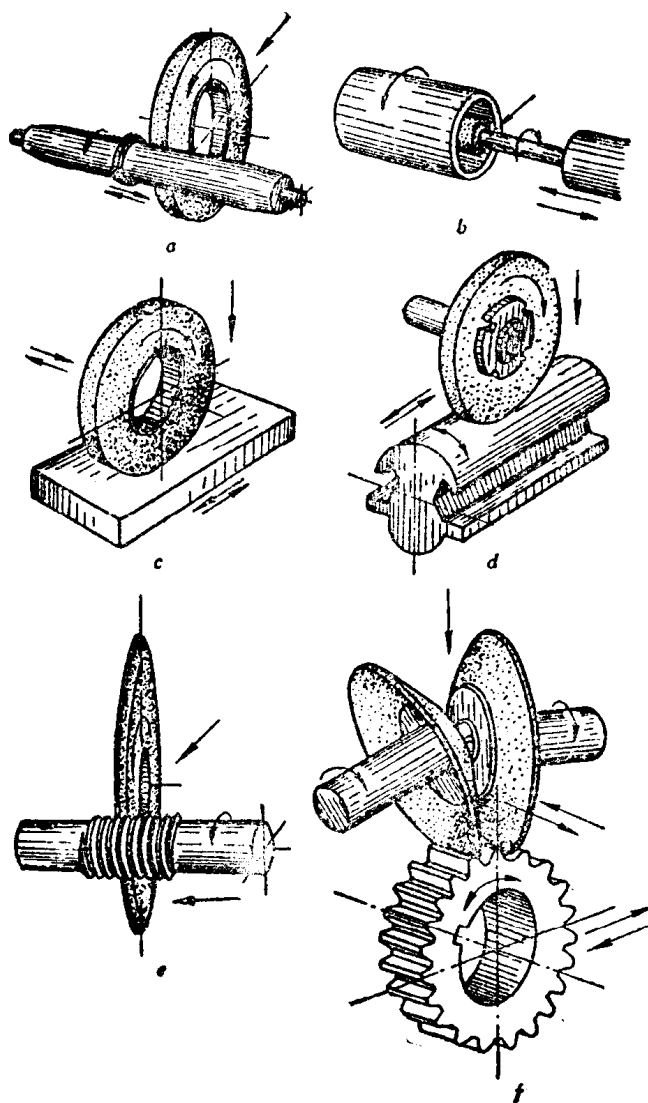


图1-1 磨削加工方式

a—外圆磨削；*b*—内孔磨削；*c*—平面磨削；
d—成型磨削；*e*—螺纹磨削；*f*—齿轮磨削

1~2级，光洁度可达 $\nabla 7 \sim \nabla 10$ ；如采用高精度磨削方法，精度可以超过1级，光洁度最高可达 $\nabla 14$ 。

2. 不但可加工软材料，如未淬火钢、铸铁和有色金属等，而且还可加工硬度很高的材料，如淬火钢、各种切削刀具以及硬质合金等，这些材料用金属刀具很难加工甚至根本不能加工。

3. 一般情况下，磨削时的切削深度较小，在一次行程中所能切除的金属层较薄。

由于以上特点，所以目前磨削主要用于对零件进行精加工，即先用其他切削加工方法进行初步加工，以切除毛坯上大部分多余金属，只留下很薄一层金属（通常为十分之几毫米），最后用磨削切除，以获得较高的精度和光洁度。经过淬火的工件，几乎只能用磨削来进行精加工。

除用来对机器零件进行精加工外，磨削还用于刃磨刀具、粗磨工件表面、切除钢锭和铸件上的硬表皮以及切断钢管和各种高硬度材料。

由于现代机器上零件的精度和光洁度不断提高，淬硬零件的数量日益增加，很多零件必须用磨削来进行最后精加工，所以磨削在现代机器制造中占有很大比重。而且随着精密毛坯制造技术（精密锻造、精密热轧、精密铸造等）的应用，和高生产率磨削方法（高速磨削、强力磨削等）的发展，使某些零件有可能不经其他切削加工，而直接由磨削加工完成，这将使磨削加工在大批大量生产中得到更广泛的应用。

第二节 磨削时的运动

在机床上进行切削加工时，为了使刀具从工件上切下金属，刀具和工件之间必须发生相对运动。

磨削所用的刀具是砂轮。磨削时砂轮快速旋转，工件则根据磨削方式不同，作旋转运动、直线运动或其他更复杂的运动。现以最常见的外圆磨削、内圆磨削和平面磨削为例来说明磨削时的运动。

1. 磨外圆时需要有以下几个运动（图 1-1 a）：

- （1）砂轮快速旋转，称为主运动；
- （2）工件旋转，称为圆周进给运动；
- （3）工件沿本身轴线作直线往复运动，称为纵向进给运动（纵走刀）；
- （4）砂轮在垂直于工件轴线方向的移动，称为横向进给运动（吃刀），这个运动是不连续的，只是在工件完成一个单向行程或往复行程时才进行一次。

2. 磨内孔时同样需要以上几个运动，但砂轮的旋转方向与磨外圆时相反（图 1-1 b）。

3. 磨平面时有下面几个运动（图 1-1 c）：

- （1）砂轮快速旋转——主运动；
- （2）工件直线往复运动——纵向进给运动（纵走刀）；
- （3）砂轮沿其轴线方向的运动——横向进给运动（横走刀），每当工件完成一个单向行程时周期地进行一次；
- （4）砂轮在垂直于工件表面方向的移动——垂直进给运动（吃刀），当整个平面磨完一遍后进行一次。

上面我们列举了磨削外圆、内孔和平面三种表面时的各种运动，如果从加工中所起的作用来看，可以把这些运动分为三类：

1. 主运动 从工件上切下切屑所必须的基本运动。换句话说，没有这个运动，就不能切下切屑。在磨削加工中，砂轮的快速旋转是主运动。

2. 进给运动 使新的金属层不断投入切削,以便切出整个加工表面的运动,又称为走刀运动。例如磨外圆时的圆周进给运动和纵向进给运动,磨平面时的纵向进给运动和横向进给运动。进给运动的形式和数目决定于被加工表面和所用砂轮的形状。

3. 吃刀运动 使刀具切入工件的运动,其方向通常垂直于加工表面。例如磨外圆时的横向进给运动,磨平面时的垂直进给运动。吃刀运动用以控制工件的尺寸。

在不同类型的磨床上加工各种零件,尽管其磨削方式不同,但砂轮和工件之间通常都需有上述三种运动,才能获得所要求的工件形状和尺寸。

第三节 磨床种类和常用磨床简介

为了磨削各种机器零件上的各种表面,现代机器制造业中使用的磨床种类很多。根据用途不同,磨床可分为外圆磨床、内圆磨床、平面磨床、螺纹磨床、齿轮磨床、导轨磨床和工具磨床等。上述各类磨床,由于磨削方式及使用上的万能性程度不同,每一类还可分为很多品种,如外圆磨床还可细分为普通外圆磨床、万能外圆磨床、无心外圆磨床、端面外圆磨床等。此外,还有为数很多的专门化磨床,如花键轴磨床、凸轮轴磨床、曲轴磨床、轧辊磨床等,它们只能加工一种类型的零件。磨床的详细分类可参阅附录Ⅳ。

磨床的品种虽然极为繁多,但目前生产中应用最多的一般有下列几种:

1. 外圆磨床 主要用于磨削各种轴类和套类零件的外圆柱面、外圆锥面以及台肩端面等。

2. 内圆磨床 用于磨削套筒类和盘形零件的圆柱孔和

圆锥孔。

3. 平面磨床 用于磨削各种零件的平面。

4. 无心外圆磨床 主要用于磨削光滑轴类零件的外圆柱面。

5. 万能工具磨床 用于磨削各种金属切削刀具的刃口，如车刀、铣刀、铰刀、滚刀等。

在以后各章中，我们主要讲述以上几种磨床的加工方法。下面先简单地介绍一下最常见的三种磨床的构造。

1. M131W型万能外圆磨床 这是一台中等尺寸的万能外圆磨床，除了可以磨削外圆柱面和外圆锥面，还可磨削内圆柱面和内圆锥面，在工具车间、修理车间和单件小批生产车间中应用得很普遍。

M131W型万能外圆磨床由床身1、工作台9、头架2、尾架8和砂轮架7等部件组成（图1-2）。

床身1是一个箱形铸件，用来支持磨床的各个部件。在床身上面有两组导轨：纵向导轨和横向导轨。纵向导轨上装工作台9，横向导轨上装砂轮架7。在床身内部装有液压传动装置和其他传动机构。

头架2和尾架8都安装在工作台9上。头架上有主轴，可用顶针或卡盘夹持工件，并带动工件旋转，头架上的变速机构可以使工件获得不同的转速。尾架8的套筒内装有顶针，当在两顶针间装夹工件时，用它支承工件的另一端（图1-3）。尾架可沿着工作台台面上的导轨左右移动，以适应磨削不同长度的工件（头架同样也可移动，但不常使用）。

工作台9由液压传动，沿着床身上的纵向导轨作直线往复运动，使工件实现纵向进给。在工作台前侧的T形槽内，装有两个可调整位置的换向撞块10，用以操纵工作台自动

换向。工作台也可用手轮 11 移动，以进行调整或手动磨削。工作台由上、下两层组成，上工作台可相对于下工作台绕垂直轴线偏转一个不大的角度，以便磨削圆锥面。在磨削圆柱面产生锥度时，也可通过调整上工作台来加以消除。

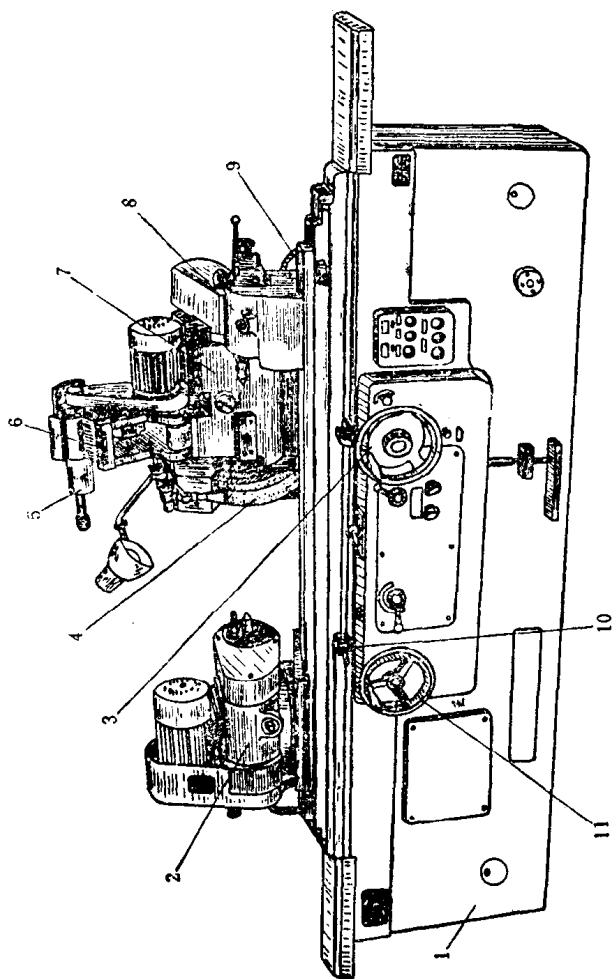


图1-2 M131W 型万能外圆磨床

砂轮 4 装在砂轮架 7 的主轴上，由单独的电动机经皮带直接传动旋转。砂轮架可沿着床身后部的横向导轨前后移动，移动方法有自动周期进给、快速引进退出和手动移动三种。自动周期进给由液压通过棘轮机构传动，每当工作台换向时进行一次；快速进退一定距离也是由液压传动的，装拆工件及加工过程中测量工件尺寸时，砂轮架快速退出，磨削时快速引进工件；手动移动是靠转动手轮 3 实现的，用以调整位置或作手动进给。

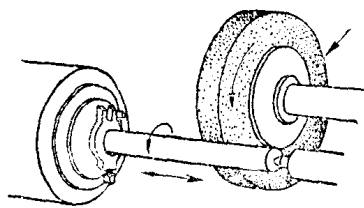


图1-3 工件装夹在前后顶针上

内圆磨具 5 是磨削内圆表面用的，在它的主轴上可装上内圆磨削砂轮，由另一个电动机经皮带直接传动。内圆磨具装在可绕铰链回转的支架 6 上，不用时翻向砂轮架上方，使用时翻下。

砂轮架和头架都可绕垂直轴线回转一定角度，以磨削圆锥角较大的圆锥面。

2. M2110 型内圆磨床 M2110 型内圆磨床可磨削圆柱孔和圆锥孔，它由床身 12、工作台 2、床头箱 4、内圆磨具 7 和砂轮修整器 6 等部件组成（图 1-4）。

床头箱 4 通过底板 3 固定在工作台 2 的左端。在床头箱主轴的前端装有卡盘或其他夹具，以夹持并带动工件旋转（图 1-5）。床头箱可相对于底板绕垂直轴线转动一个角度，以便磨削圆锥孔。底板可沿着工作台台面上的纵向导轨调整位置，以适应磨削各种不同的工件。磨削时工作台由液压传动，沿着床身上的纵向导轨作直线往复运动（由撞块 5 自动操纵换向），使工件实现纵向进给。装拆工件或磨削过程中

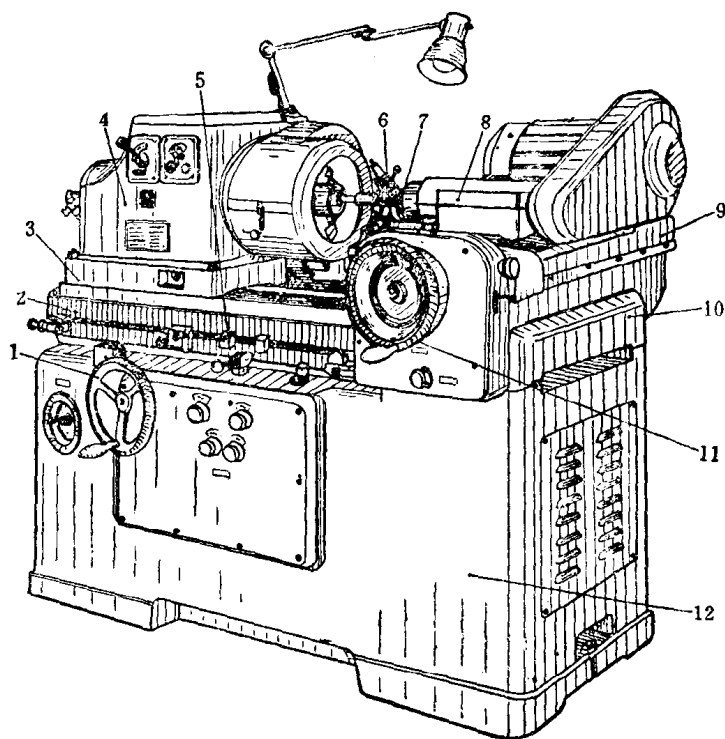


图1-4 M2110 型内圆磨床

测量工件尺寸时，工作台需向左退出较大距离。为了缩短辅助时间，当工件退离砂轮一段距离后，安装在工作台前侧的压板，可自动控制油路转换为快速行程，使工作台很快地退至左边极限位置。重新开始工作时，工作台先是快速向右，而后自动转换为进给速度。工作台也可用手轮 1 移动。

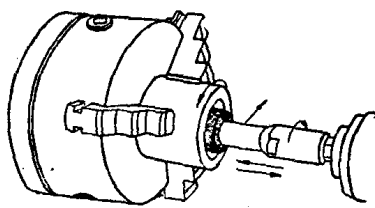


图1-5 工件装夹在卡盘上

内圆磨具 7 安装在磨具座 8 中, 可以根据磨削孔径的大小进行调换 (磨床上备有二套规格不同的内圆磨具)。砂轮主轴由电动机经平皮带直接传动旋转。磨具座 8 固定在横拖板 9 上, 后者可沿着固定在床身 12 上的桥板 10 上面的横向导轨移动, 使砂轮实现横向进给运动。砂轮的横向进给有手动和自动二种。手动进给由手轮 11 实现, 自动进给由固定在工作台上的撞块操纵横进给机构实现。

砂轮修整器 6 是修整砂轮用的, 它安装在工作台中部台面上, 根据需要可在纵向和横向调整位置。修整器上的金刚钻杆可随着修整器的回转头上下翻转, 修整砂轮时倒下, 磨削时翻起。

3. M7120 A 型平面磨床 M7120 A 型平面磨床是一种卧轴矩台平面磨床, 用砂轮的圆周面磨削平面。它由床身 1、工作台 3、立柱 5、磨头 9 和砂轮修整器 6 等部件组成 (图 1-6)。

长方形的工作台 3 装在床身的水平纵向导轨上, 由液压传动作直线往复运动 (由撞块 4 自动操纵换向), 也可用手轮 10 移动以进行调整。工作台上装有电磁吸盘或其他夹具以装夹工件, 必要时也可把工件直接装夹在工作台上。

装有砂轮主轴的磨头 9, 可在上、下、前、后方向移动。砂轮装在水平主轴的前端, 由装在磨头体壳内的装入式电动机直接驱动旋转。磨头 9 的上部有燕尾形导轨, 可沿着拖板 8 上的水平导轨作横向间歇进给 (磨削时用) 或连续移动 (修整砂轮或调整位置时用), 这一运动由液压传动, 也可以用手轮 7 移动。

拖板 8 可沿着立柱 5 的导轨垂直移动, 以调整磨头 9 的高低位置及完成吃刀运动, 这一运动靠转动手轮 2 实现。

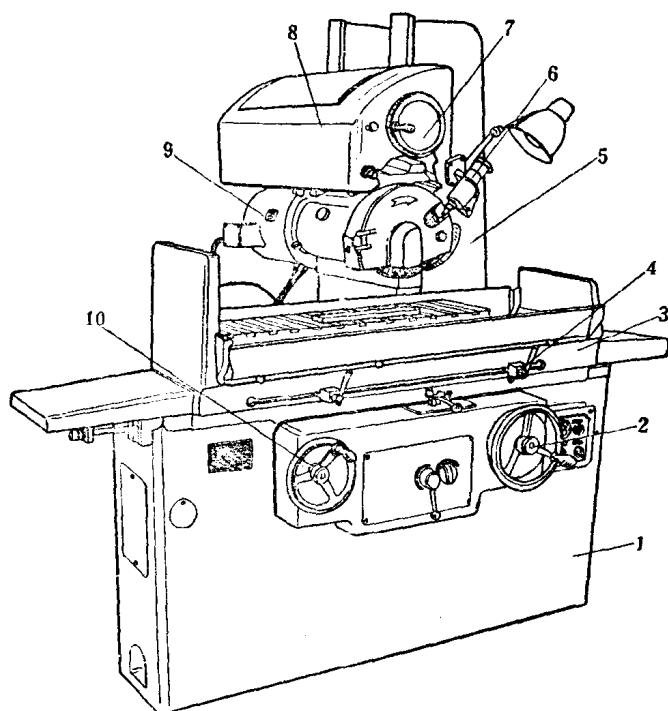


图1-6 M7120A型平面磨床

第四节 磨削用量

在磨削过程中，砂轮和工件的运动速度，如砂轮的圆周线速度、工件的圆周线速度、工件的纵向进给速度、砂轮的横向或垂直进给量（吃刀深度）等，统称为磨削用量。合理选择磨削用量对磨削加工的质量和生产率有很大影响。下面以外圆和内圆磨削为例来说明磨削用量各要素的意义。

1. 砂轮圆周线速度 $v_{\text{砂轮}}$ 砂轮外圆表面上任意一点在

单位时间内所经过的路程，叫做砂轮圆周线速度或砂轮线速度，以 $v_{\text{砂轮}}$ 表示，其单位为米/秒。根据砂轮的直径和转速可以用下面公式算出砂轮的线速度：

$$v_{\text{砂轮}} = \frac{\pi D_{\text{砂轮}} n_{\text{砂轮}}}{1000 \times 60} \text{ (米/秒)}$$

式中 $D_{\text{砂轮}}$ ——砂轮直径（毫米）；

$n_{\text{砂轮}}$ ——砂轮转速（转/分）。

〔例〕 M131W型万能外圆磨床上新砂轮的直径为400毫米，砂轮转速为1670转/分，求砂轮的线速度。

$$\text{〔解〕 } v_{\text{砂轮}} = \frac{\pi \times 400 \times 1670}{1000 \times 60} = 34.976 \approx 35 \text{ 米/秒。}$$

砂轮的线速度很高，外圆磨削和平面磨削时一般在30~35米/秒左右，内圆磨削时一般在18~30米/秒左右。

2. 工件圆周线速度 $v_{\text{工件}}$ 外圆和内孔磨削时，工件被磨削表面上任意一点的线速度，以 $v_{\text{工件}}$ 表示，单位为米/分。

$$v_{\text{工件}} = \frac{\pi d_{\text{工件}} n_{\text{工件}}}{1000} \text{ (米/分)}$$

式中 $d_{\text{工件}}$ ——工件外圆或内孔直径（毫米）；

$n_{\text{工件}}$ ——工件转速（转/分）。

工件线速度比砂轮线速度小得多，两者的比例大致为 $v_{\text{工件}} = \left(\frac{1}{80} \sim \frac{1}{160} \right) v_{\text{砂轮}}$ 。工件线速度一般为10~30米/分。

在实际生产中，工件直径是已知的，工件线速度应根据加工条件选定，所以加工时通常需要确定的是工件转速。为此，可将上面的公式变换为：

$$n_{\text{工件}} = \frac{1000 v_{\text{工件}}}{\pi d_{\text{工件}}}$$

或

$$n_{\text{工件}} = \frac{318 v_{\text{工件}}}{d_{\text{工件}}}$$

由上式可以看出, 如果要求工件线速度不变, 则当工件直径增大时, 其转速应相应降低。

3. 纵向进给量 $s_{\text{纵}}$ 和纵向进给速度 $v_{\text{纵}}$ 工件每转一转相对砂轮在纵向进给运动方向所移动的距离, 叫做纵向进给量, 以 $s_{\text{纵}}$ 表示, 其大小以砂轮宽度的百分数计算, 单位为毫米/工件每转。通常, 纵向进给量的大小如下:

$$s_{\text{纵}} = (0.2 \sim 0.8) B \text{ (毫米/工件每转)}$$

式中 B ——砂轮宽度 (毫米)。

在单位时间内, 工件相对砂轮在纵向进给运动方向所移动的距离, 叫做纵向进给速度, 以 $v_{\text{纵}}$ 表示, 单位为米/分。纵向进给速度 $v_{\text{纵}}$ 与纵向进给量 $s_{\text{纵}}$ 之间有如下关系:

$$v_{\text{纵}} = \frac{s_{\text{纵}} n_{\text{工件}}}{1000} \text{ 米/分}$$

式中 $n_{\text{工件}}$ ——工件转速 (转/分);

$s_{\text{纵}}$ ——纵向进给量 (毫米/工件每转)。

〔例〕纵向进给量 $s_{\text{纵}} = 0.5 B$, 砂轮宽度 50 毫米, 工件转速 140 转/分, 求纵向进给速度 $v_{\text{纵}}$ 。

$$\text{〔解〕} \quad v_{\text{纵}} = \frac{0.5 \times 50 \times 140}{1000} = 3.5 \text{ 米/分}$$

4. 横向进给量 t 砂轮在横向进给运动方向上每次移动的距离, 叫做横向进给量。从理论上说, 横向进给量的大小, 等于一个行程中从工件表面上切除的金属层厚度, 所以横向进给量也叫磨削深度, 以 t 表示, 单位为毫米。

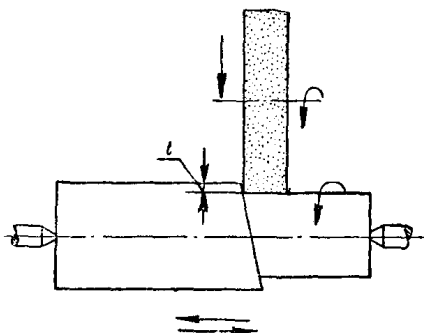


图1-7 磨削深度