

3.3 磨削加工方法及工艺认知

7.1

磨削加工方法及机理

7.2

磨料与磨具

7.3

磨床与磨床夹具

7.4

磨削工艺方法及磨削用量选择

7.5

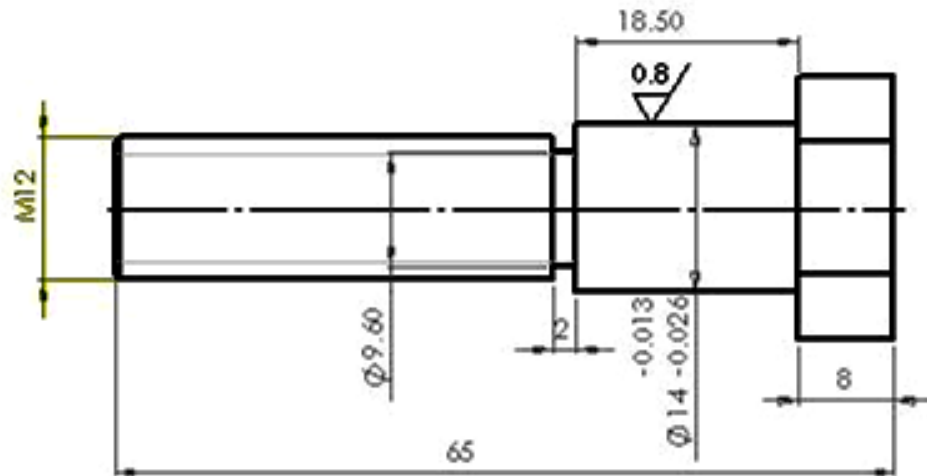
高效与精密磨削

7.6

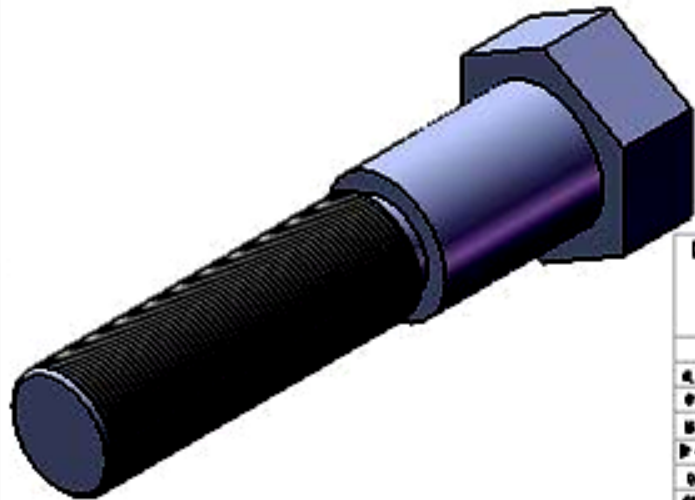
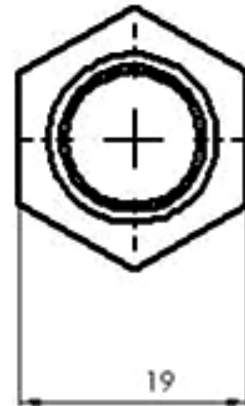
磨削加工案例分析

7.7

磨削常见缺陷产生原因及消除方法



其余 $\frac{3.2}{\sqrt{\quad}}$



1. 未注公差按IT14级.
2. 未注行位公差按C级.
3. 发黑处理.

材料: Q235-A 数量: 1			
设计 审核 工艺 检验 材料	批准 日期	图号: 100-11-1 比例: 1:1 备注: 发黑处理 材料: Q235-A	设备名称: 槽楔机
图号: 100-11-1 比例: 1:1	图名: 分度杠杆轴钉	图号: CX-	比例: A4



磨削在机械制造中是一种使用非常广泛的加工方法，其中加工精度达到IT6~IT4，表面粗糙度可达Ra12.5~0.01 μ m。

磨削的可贵之处是对各种工件材料和各种几何表面有广泛的适应性。过去把磨削只是作为一种精加方法，而现在其应用范围已扩大到对毛坯进行单位时间内金属切除量很大加工（如蠕动磨削），并使之成为无需进行预先切削加工的最终加工工序。

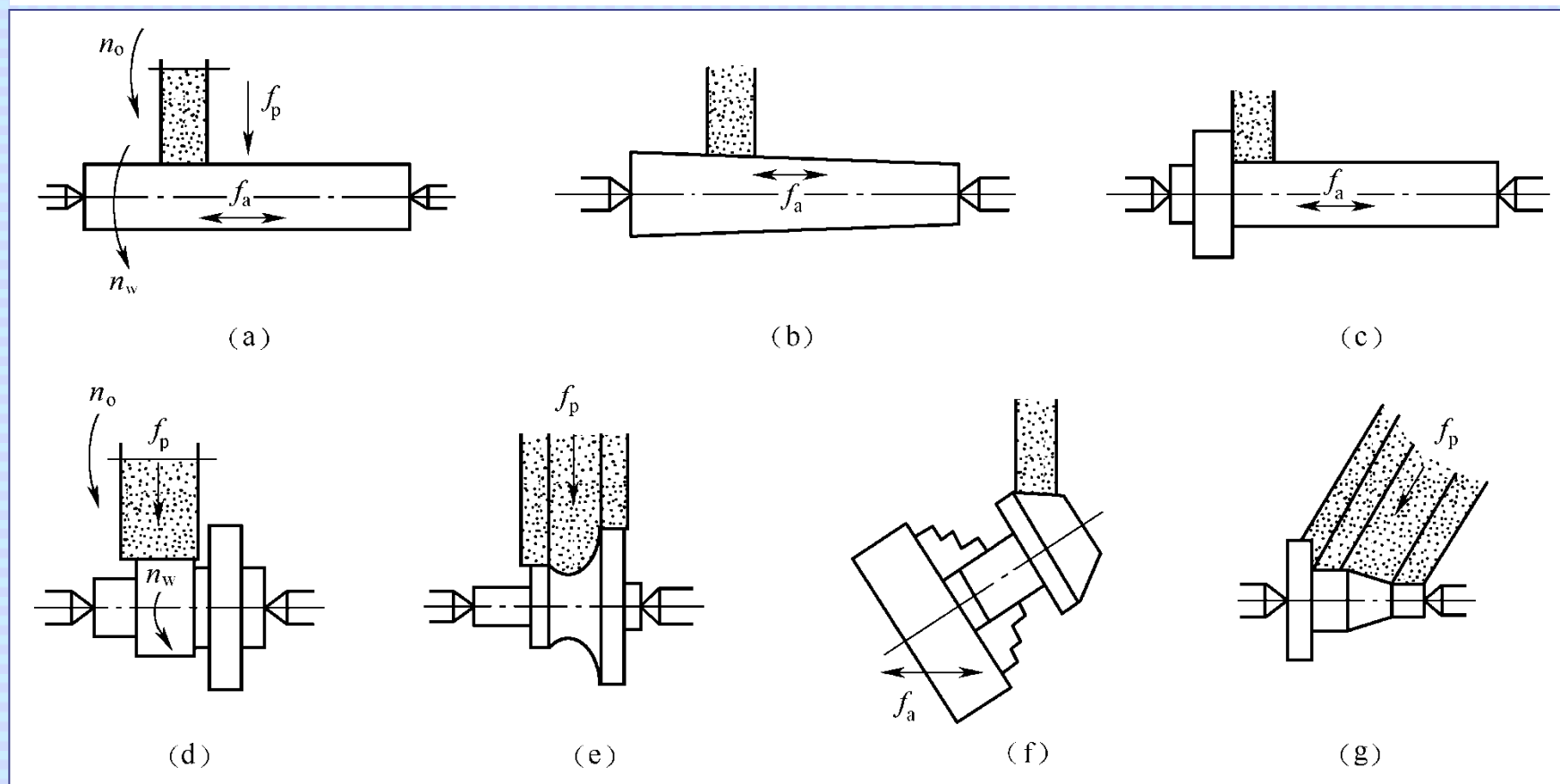
7.1 磨削加工方法及机理

7.1.1 磨削加工方法分类

磨削加工是用高速回转的砂轮或其他磨具以给定的背吃刀量（或称切深），对工件进行加工的方法。根据工件被加工表面的形状和砂轮与工件之间的相对运动，磨削分为外圆磨削、内圆磨削、平面磨削和无心磨削等几种主要加工类型。此外，还有对凸轮、螺纹、齿轮等零件进行磨削加工的专用磨床。

1. 外圆磨削

外圆磨削是用砂轮外圆周面来磨削工件的外回转表面，如图所示。它不仅能加工圆柱面，还能加工圆锥面、端面（台阶部分）、球面和特殊形状的外表面等。这些磨削方式按照不同的进给方向又可分为纵磨法和横磨法两种形式。



(1) 纵磨法。磨削外圆时，砂轮的高速旋转为主运动。工件做圆周进给运动，同时随工作台沿工件轴向做纵向进给运动。每单次行程或没往复行程终了时，砂轮做周期的横向进给，磨去工件径向的全部余量。它是目前最广泛的磨削方法。

(2) 横磨法。采用这种磨削形式，在磨削外圆时，砂轮宽度比工件的磨削宽度大，工件不需要做纵向进给运动，砂轮以缓慢的速度连续或断续地沿工件径向做横向进给运动，直至磨到工件尺寸要求为止。

2. 内圆磨削

用砂轮磨削工件内孔的磨削方式称为内圆磨削。它可以在专用的内圆磨床上进行，也能够具备内圆磨头的万能外圆磨床上实现。内圆磨削可以分为普通内圆磨削、无心内圆磨削和砂轮做行星运动的磨削方式。

在图中，砂轮高速旋转做主运动。工件旋转做圆周进给运动，同时砂轮或工件沿其轴线往复移动做纵向进给运动，砂轮则做径向进给运动。

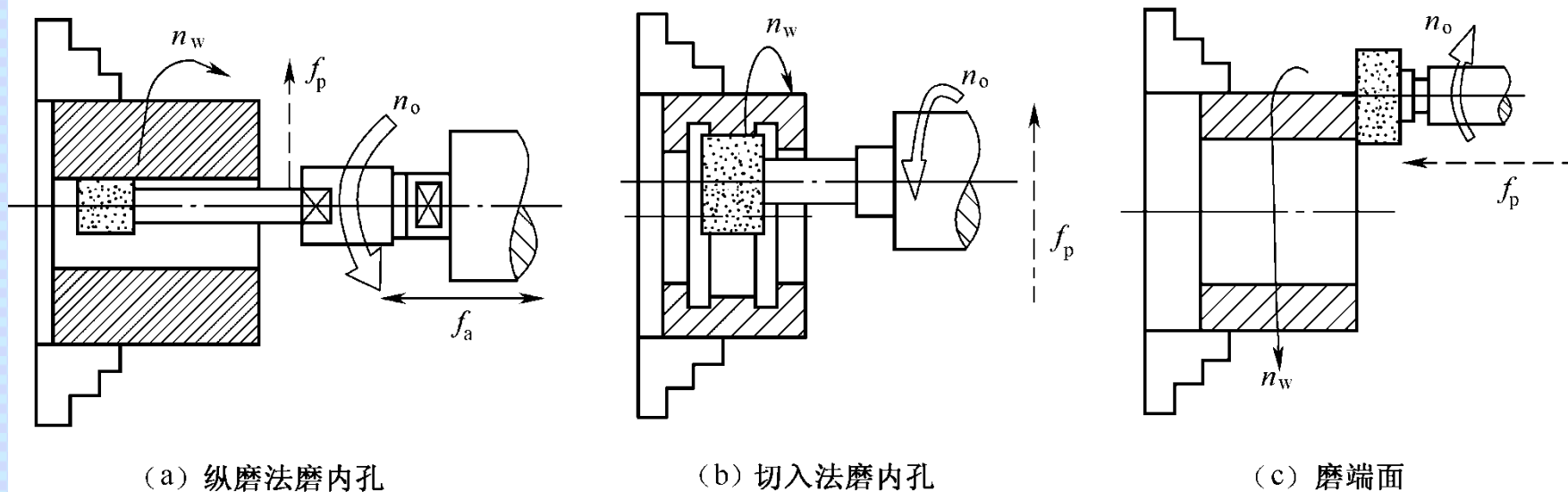


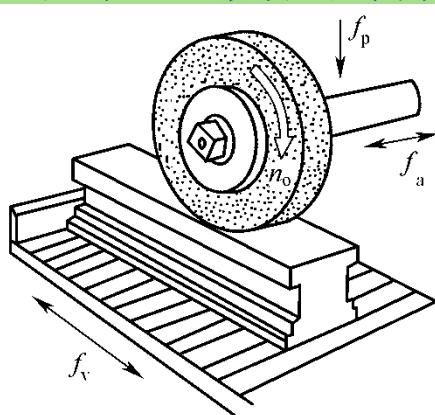
图 普通内圆磨床的磨削方法

3. 平面磨削

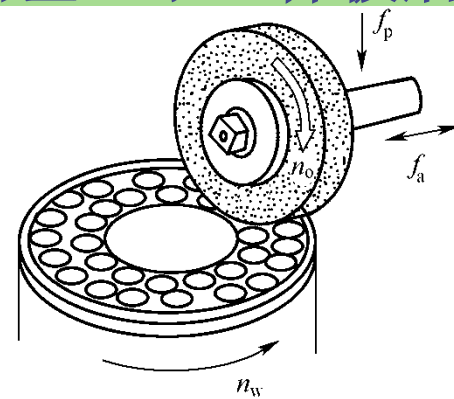
常见的平面磨削方式有4种，如图。工件安装在具有电磁吸盘的矩形或圆形工件台上做纵向往复直线运动或圆周进给运动。由于砂轮宽度限制，需要砂轮沿轴线方向做横向进给运动。为了逐步地切除全部余量，砂轮还需周期性地沿垂直于工件被磨削表面的方向进给。

图7-4 (a) (b) 属于圆周磨削。

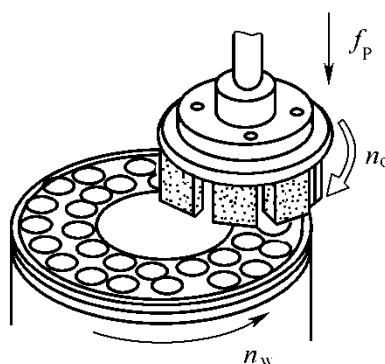
图7-4 (c) (d) 属于端面磨削，砂轮与工件的接触面积大，同时参加磨削的磨粒多。



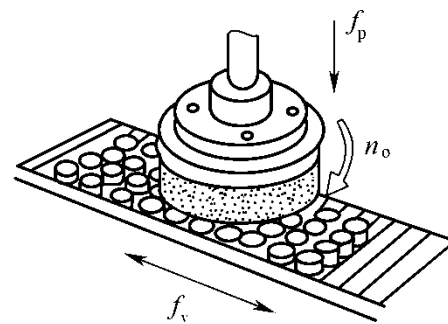
(a) 卧轴矩台平面磨床磨削



(b) 卧轴圆台平面磨床磨削



(c) 立轴圆台平面磨床磨削

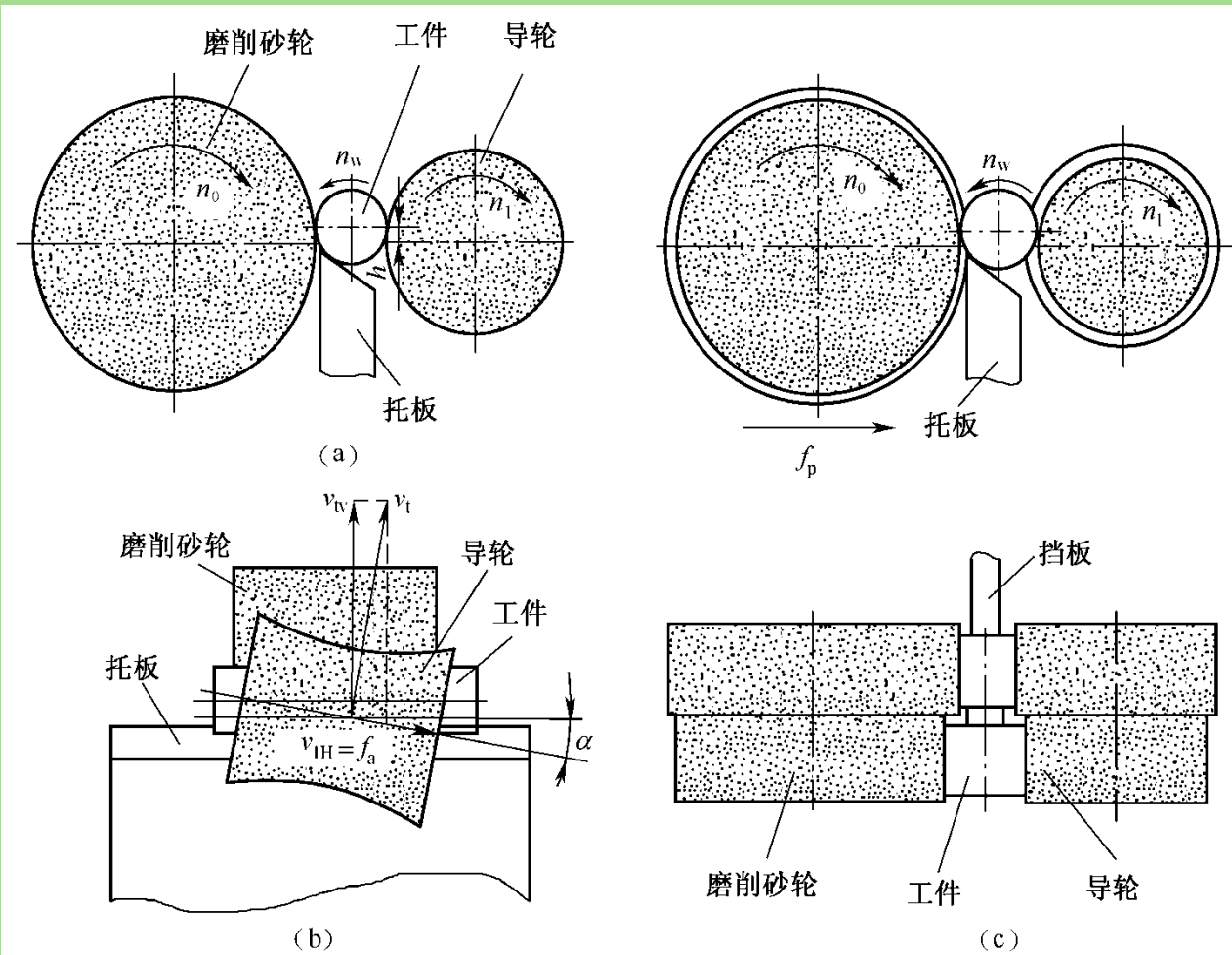


(d) 立轴矩台平面磨床磨削

4. 无心外圆磨削（切入法和贯穿法）

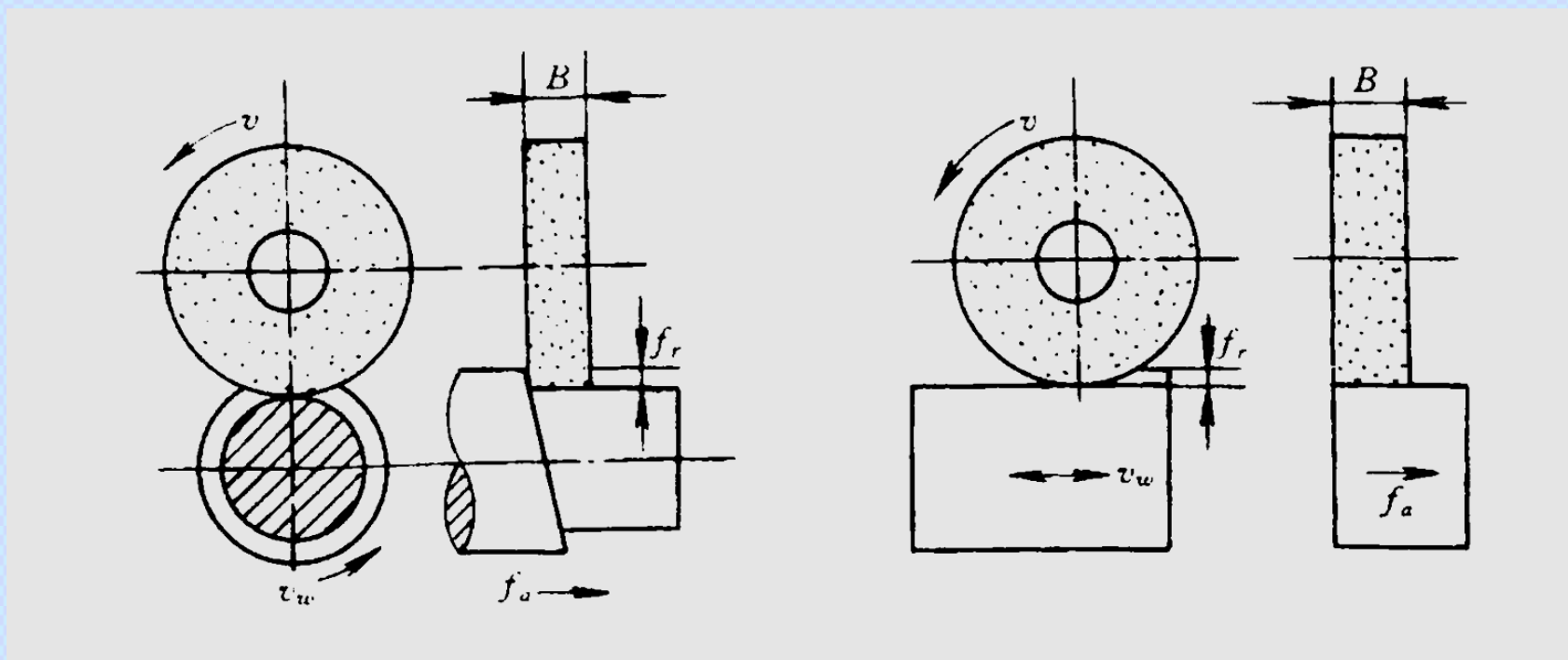
无心外圆磨削的工作原理如图所示。工件置于砂轮和导轮之间的托板上，以工件自身外圆为定位基准。当砂轮以转速 n_0 旋转，工件就有与砂轮相同的线速度回转的趋势，但是由于

受到导轮摩擦力对工件的制约作用，结果使工件以接近于导轮线速度（ n_w 转速）回转。从而在砂轮和工件之间形成很大的速度差，据此产生磨削作用。改变导轮的转速，便可以调整工件的圆周进给速度。



7.1.2 磨削机理

7.1.2.1 磨削运动（磨削时，一般有四个运动）



1. 主运动

砂轮的旋转运动，称为主运动。主运动速度是砂轮外圆的线速度，普通磨削速度为 $30\text{m/s}\sim 35\text{m/s}$ ；当 $> 45\text{m/s}$ 时，为高速磨削。

2. 径向进给运动

径向进给运动是砂轮切入工件的运动。径向进给量指工作台每双（单）行程内工件相对于砂轮径向移动的距离，单位为 $\text{mm}/(\text{d. str})$ (mm/str)。当作连续进给时，单位为 mm/s 。 $f_r=0.005-0.02\text{mm}$

3. 轴向进给运动

轴向进给运动即工件相对于砂轮的轴向运动。轴向进给量是指工件每转一圈或工作台每双行程内工件相对于砂轮的轴向移动距离，单位为 mm/r 或 $\text{mm}/(d \cdot \text{str})$ 。一般情况下 $f_a = (0.2 \sim 0.8) B$ ； B 为砂轮宽度，单位为 mm 。

4. 工件的圆周（或直线）进给运动

工件速度指工件圆周进给运动的线速度，或工件台（连同工件一起）直线进给运动速度，单位为 m/s 。

7.1.2.2 磨削时金属切除率

磨削时，每秒钟金属切除率为：

$$W = 1000 \cdot v_w \cdot f_r \cdot f_a \quad \text{mm}^3/\text{s}$$

W简称为切除率，它表示磨削的生产率。切除率大，表明磨削生产率高。

每秒钟内砂轮每1mm宽度所切除的金属量，则称单位砂轮宽度切除率，以 Z_w 表示。

$$Z_w = \frac{W}{B} = \frac{1000 \cdot v_w \cdot f_r \cdot f_a}{B} \quad (\text{mm}^3 / (\text{s} \cdot \text{mm}))$$

7.1.2.3 磨削过程(磨削过程是由分布在砂轮表面上的大量磨粒,以很高的速度对工件表面进行切削的过程。每个磨粒可近似地看做一把微小的切刀。

1. 单个磨粒的磨削过程

随着砂轮工作表面高速旋转,磨粒切入工件时,其作用可分为三个阶段。

第一个阶段:滑擦阶段。(挤压、弹性变形)

第二个阶段:刻划阶段。(刻划沟槽)

第三个阶段:切削阶段。(剪切、滑移而成切屑)

由此可见,一个磨粒的磨削过程使磨削表面经历了滑擦、划刻(隆起)、切削三个阶段。

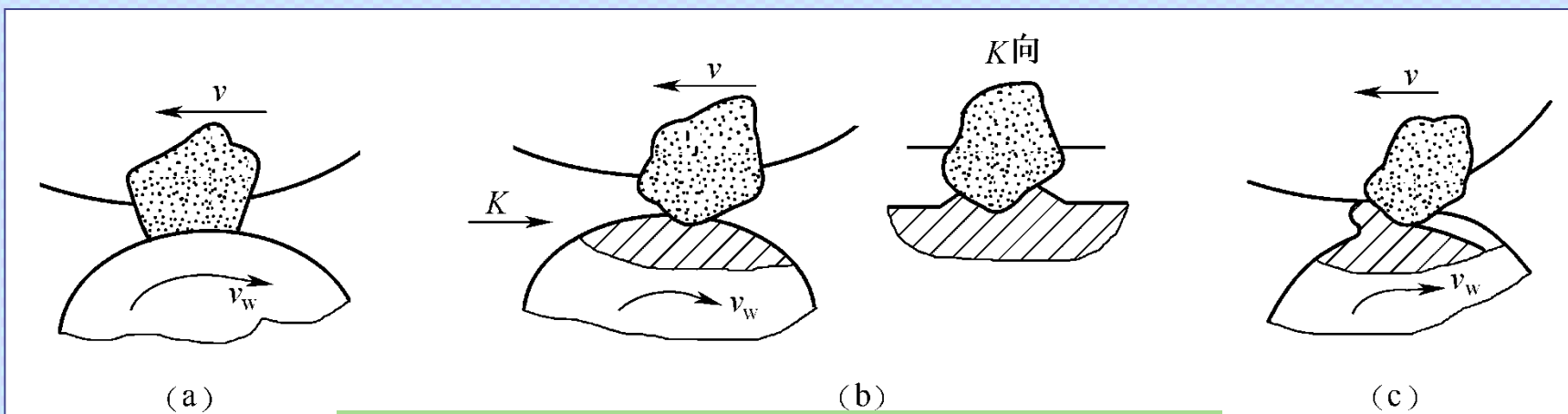


图7-7 磨削过程中的滑擦、隆起和切削作用

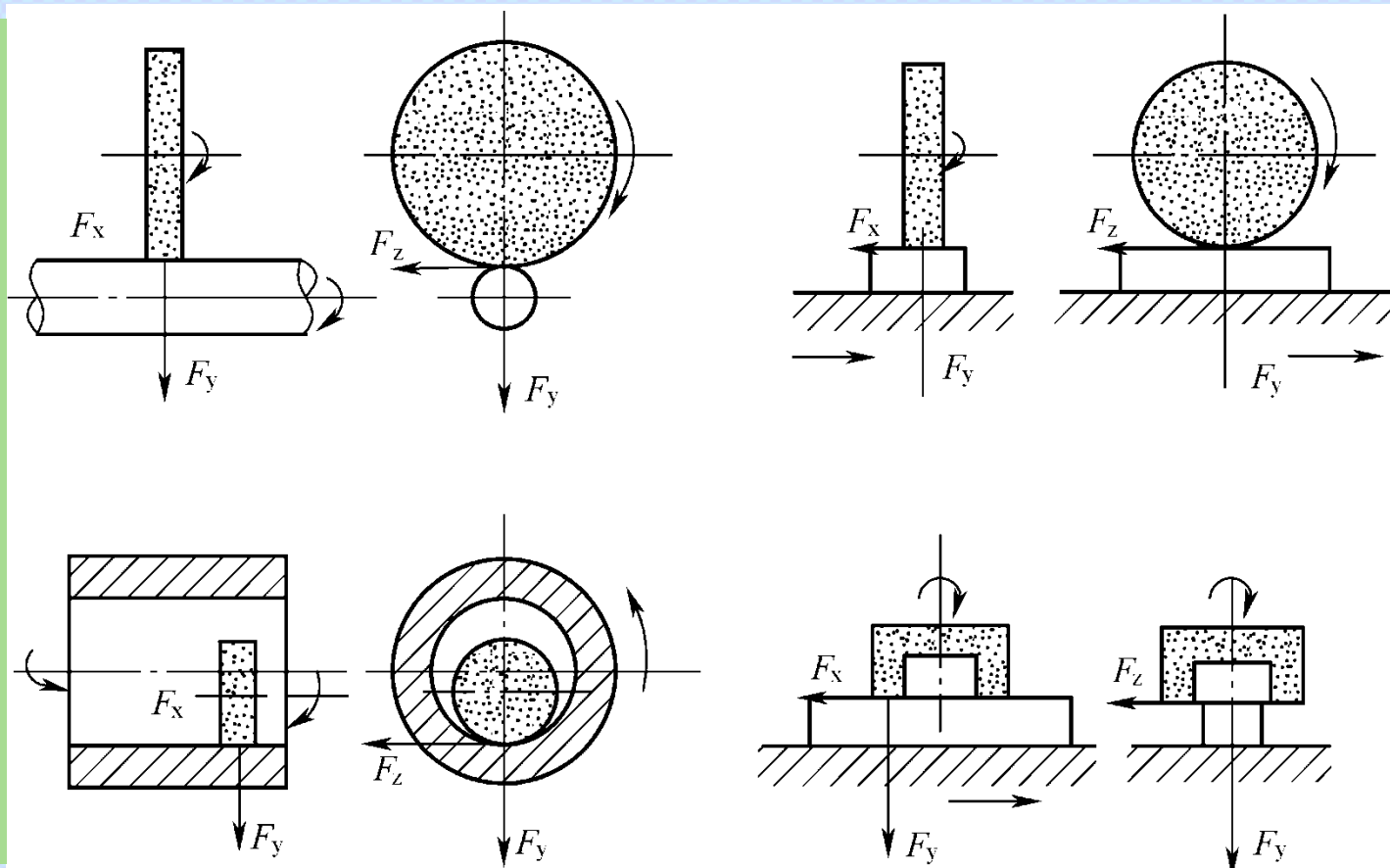
磨削过程特点：

- ①磨削精度高，表面粗糙度值小。砂轮表面分布着很多磨粒，有很多切削刃。
- ②磨削是加工淬火钢等特硬材料的基本方法。要求表面硬化的工件，一般都要淬火。
- ③砂轮有“自锐”作用。磨削过程中，磨粒在高速、高压、高温的作用下，将逐渐磨损而变得圆钝。圆钝的磨粒就会从砂轮表面脱落，露出一层新鲜锋利的磨粒，继续进行磨削。砂轮这种自行保持其自身锋锐的性能，称为“自锐性”。
- ④磨削温度高。磨削时切削速度很高，加上磨粒多为负前切削，挤压和摩擦较为严重，消耗功率大，产生在切削热较多。

7.1.2.4 磨削力

砂轮表面有大量的磨粒同时工作，磨粒都有很大的负前角，因此总的磨削力仍相当大。同其他切削加工一样，总磨削力可以分解为**3**个分力：主磨削力 F_z （磨削速度方向的分力）、切

深抗力 F_y （径向分力）和进给抗力 F_x （进给方向的分力）。各种不同类型磨削加工的**3**个分力如图



7.1.2.5 磨削温度

磨削温度是指砂轮与工件接触区的平均温度 θ_A ，它与磨削烧伤、磨削裂纹的产生有密切的关系。

磨粒和工件接触面是磨削热的热源，是磨削中温度最高的部位，瞬时可达 1000°C 以上，我们称之为磨粒磨削点的温度，以表 θ_{dot} 示。磨粒磨削点温度影响表面质量，且与磨粒磨损以及切屑粘附现象有关。磨削热传入工件将引起工件热膨胀、翘曲，影响工件的形状、尺寸精度。

7.1.2.6 砂轮的磨损及耐用度

1. 砂轮的磨损

砂轮的磨损有三种基本形态，即磨耗磨损、破碎磨损及脱落磨损。

2. 砂轮的耐用度

砂轮耐用度通常用秒来表示。砂轮的磨损限度可以根据工件表面出现振痕、烧伤、粗糙度变大、加工精度下降等现象来确定。砂轮磨损达到磨损限度的主要判断数据是砂轮的径向磨损量。

7.2 磨料与磨具

7.2.1 磨料

用作砂轮的磨料，应具有很高的硬度，适当的强度和韧性，以及高温下稳定的物理、化学性能。

目前工业上使用的几乎均为人造磨料，常用的有刚玉类、碳化硅类和高硬度磨料类。按照其纯度和添加的金属元素的不同，每一类又分为若干不同的品种。

表7-5 常用磨料名称、代号、性能及适用范围

磨料名称		代号	主要成分	颜色	力学性能	反应性	热稳定性	适用磨削范围
刚玉类	棕刚玉	A	Al_2O_3 95% TiO_2 2% ~ 3%	褐色	韧性大 硬度大	稳定	2100℃ 熔融	碳钢、合金钢、铸铁
	白刚玉	WA	$\text{Al}_2\text{O}_3 > 95\%$	白色				淬火钢、高速钢
碳化硅类	黑碳化硅	C	$\text{SiC} > 95\%$	黑色		与铁有反应	$> 1500^\circ\text{C}$ 氧化	铸铁、黄铜、非金属材料
	绿碳化硅	GC	$\text{SiC} > 99\%$	绿色				硬质合金等
高硬度磨料类	氮化硼	CBN	六方氮化硼	黑色	高硬度 高强度	高温时与水碱有反应	$< 1300^\circ\text{C}$ 稳定	硬质合金、高速金钢
	人造金刚石	D	碳结晶体	乳白色			$> 700^\circ\text{C}$ 石墨化	硬质合金、宝石

7.2.2 粒度

粒度系指磨粒尺寸的大小。对于用筛分发来确定粒度号的较大磨粒，以其能通过筛网上每英寸长度上的孔数来表示粒度。例如粒度80#，含义为此种磨粒能通过每英寸长度上有80个孔的筛网。粒度号越大，则磨料的颗粒越细。对于用显微镜测量来确定粒度号的微细磨粒（又称微粉），是以实测到的最大尺寸，并在前面冠以“W”的符号来表示。例如W7，即表示此种微粉的最大尺寸为 $7\mu\text{m}$ ~ $5\mu\text{m}$ 。粒度号越小，则微粉的颗粒越细。

磨料粒度选择的原则是：**粗磨时**以**高生产率**为主要目标，应选**小的粒度号**，一般为**36#~60#**；**精磨时**以**表面粗糙度小的Ra值**为主要目标，应选**大的粒度号**，一般为**80#~120#**。工件材料**塑性大**或磨削**接触面积大**时，为**避免砂轮气孔堵塞**，也应选**小粒度号**；反之则选**大粒度号**。**成型磨削时**，为**保持砂轮轮廓的精度**，宜用**大粒度号**。

常用磨料粒度、尺寸及应用范围

类别	粒 度	颗 粒 尺 寸	应 用 范 围	类别	粒 度	颗 粒 尺 寸	应 用 范 围
磨 粒	12#~ 35#	2000~ 1600 500~ 400	粗磨、打毛 刺	微 粉	W40- W28	40~28 28~20	研磨、珩 磨
	46#~ 80#	400~ 315 200~ 160	粗磨、半精 磨、精磨		W20- W14	20~14 14~10	研磨、超 级加工、 超精磨削
	100#~ 280#	160~ 125 50~40	精磨、珩磨		W10- W5	10~7 5~3.5	研磨、超 级加工、 镜面磨削

7.2.3 结合剂

结合剂的作用是将磨料黏合成具有一定强度和各种形状及尺寸的砂轮。砂轮的强度、耐热性和耐用度等重要指标，在很大程度上取决于结合剂的特性。结合剂对磨削温度和磨削表面质量有很大影响。常用结合剂如表。

结合剂	代号	性能	适用范围
陶瓷	V	耐热、耐蚀，气孔率大，易保持廓形，弹性差	最常用，适用于各类磨削加工
树脂	B	强度较V高，弹性好，耐热性差	适用于高速磨削，切断，开槽等
橡胶	R	强度较B高，更富有弹性，气孔率小，耐热性差	适用于高速磨削，开槽，及作无心磨的导轮
青铜	J	强度最高，导电性好，磨耗少，自锐性差	适用于金刚石砂轮

7.2.4 硬度

砂轮的硬度是指磨粒受力后从砂轮表层脱落的难易程度，也反映出磨粒与结合剂的黏固强度。

砂轮硬就表示磨粒难以脱落；砂轮软则与之相反，切勿将它与磨料的硬度混淆。

砂轮硬度的选择原则归纳如下。

- ① 工件材料越硬，应选越软的砂轮；反之，选越硬的砂轮。但是对有色金属等很软的材料，为避免磨削时堵塞砂轮，则选用较软的砂轮。
 - ② 磨削接触面积较大时，应选较软的砂轮。薄壁零件及导热性差的零件，也应选较软的砂轮。
 - ③ 精磨和成型磨削时，应选较硬的砂轮。
 - ④ 砂轮的粒度号较大时，应选较软的砂轮。
- 常用的砂轮硬度等级一般为**H~N**（软**2**~中**2**）。

第7章 砂轮的硬度代号及组织号.doc

7.2.5 组织

砂轮的组织系指磨粒、结合剂和气孔三者体积的比例关系，用来表示结构紧密或疏松的程度。砂轮的组织用组织号的大小表示。把磨粒在磨具中占有的体积分数（即磨粒率 V_g ）称为组织号（用 N 表示），两者的关系为 $V_g=2(31-N)$ 。

砂轮的组织号及适用范围如表7-9所示。

7.2.6 砂轮形状

常用砂轮的形状有平形砂轮，薄片砂轮，筒形砂轮，碗形砂轮，蝶形一号砂轮，双斜边，砂轮杯形等等。

在砂轮的端面上印有砂轮的标志，例如1-300×50×65-WA60M5-V-30m/s，其含义为平形砂轮，外径300mm，厚度50mm，内径65mm，磨料为白刚玉，粒度号为60，硬度为中1，组织号为5，结合剂为陶瓷，允许的最高圆周速度为30m/s。

7.3 磨床与磨床夹具

7.3.1 磨床

用磨料磨具（砂轮、砂带、油石和研磨料）作为工具进行切削加工的机床，统称磨床。

磨床的种类很多，其主要类型如下。

（1）外圆磨床 包括万能外圆磨床、普通外圆磨床、无心外圆磨床等。

（2）内圆磨床 包括普通内圆磨床、行星内圆磨床、无心内圆磨床等。

(3) 平面磨床 包括卧轴矩台平面磨床、立轴矩台平面磨床、卧轴圆台平面磨床、立轴圆台平面磨床等。

(4) 工具磨床 包括工具曲线磨床、钻头沟槽磨床等。

(5) 刀具刃具磨床 包括万能工具磨床、车刀刃磨磨床、滚刀刃磨磨床等。

(6) 专门化磨床 包括花键轴磨床、曲轴磨床、齿轮磨床、螺纹磨床等。

(7) 其他磨床 包括珩磨机、研磨机、砂带磨床、超精加工机床等。

1. 外圆磨床：① 机床的布局 and 运动。

M1432A型万能外圆磨床是普通精度级万能外圆磨床。用于磨削IT6~IT7级精度的圆柱形、圆锥形的外圆和内孔，还可磨削阶梯轴的轴肩、端平面等。磨削表面粗糙Ra为 $1.25\mu\text{m}$ ~ $0.05\mu\text{m}$ 。

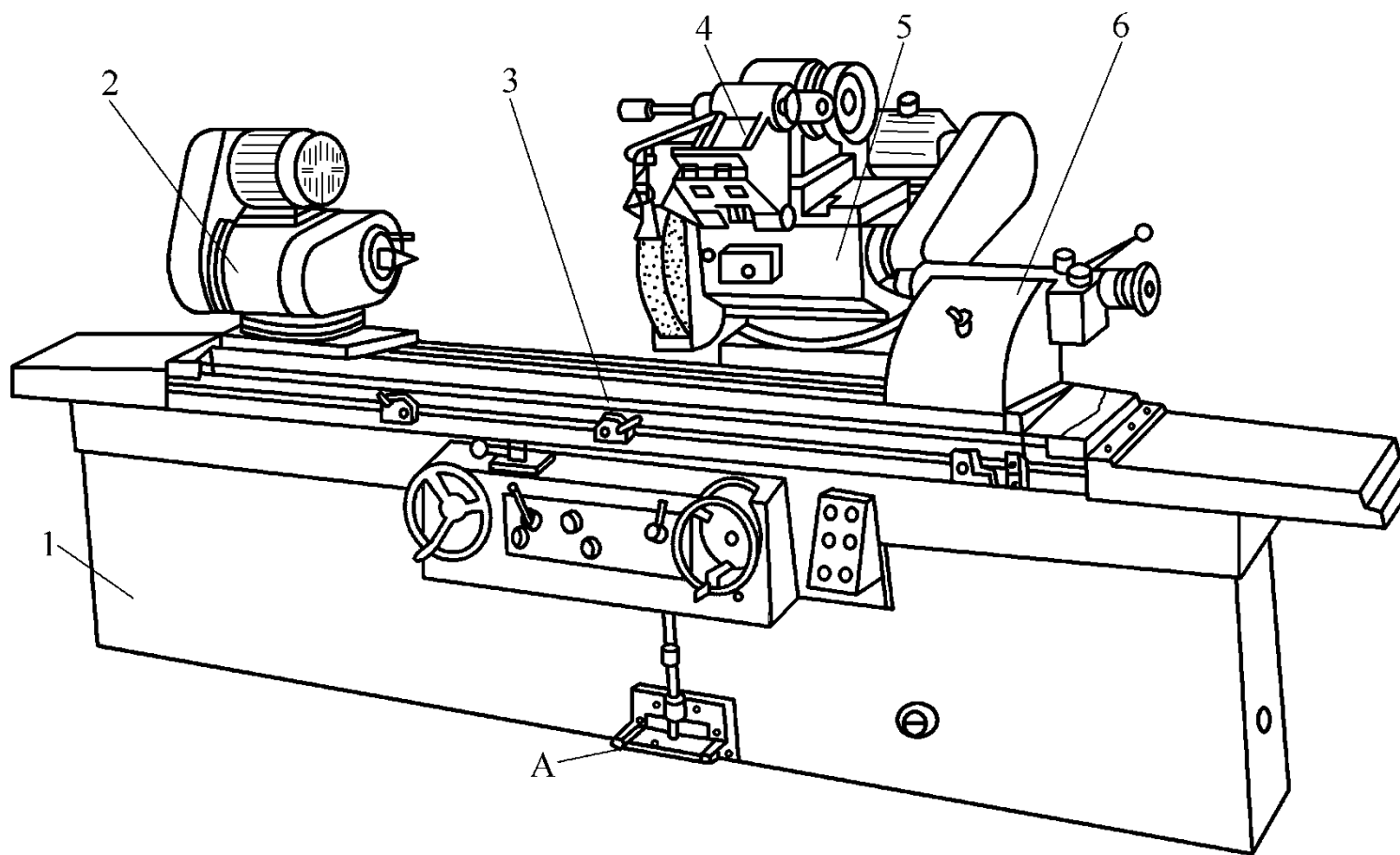
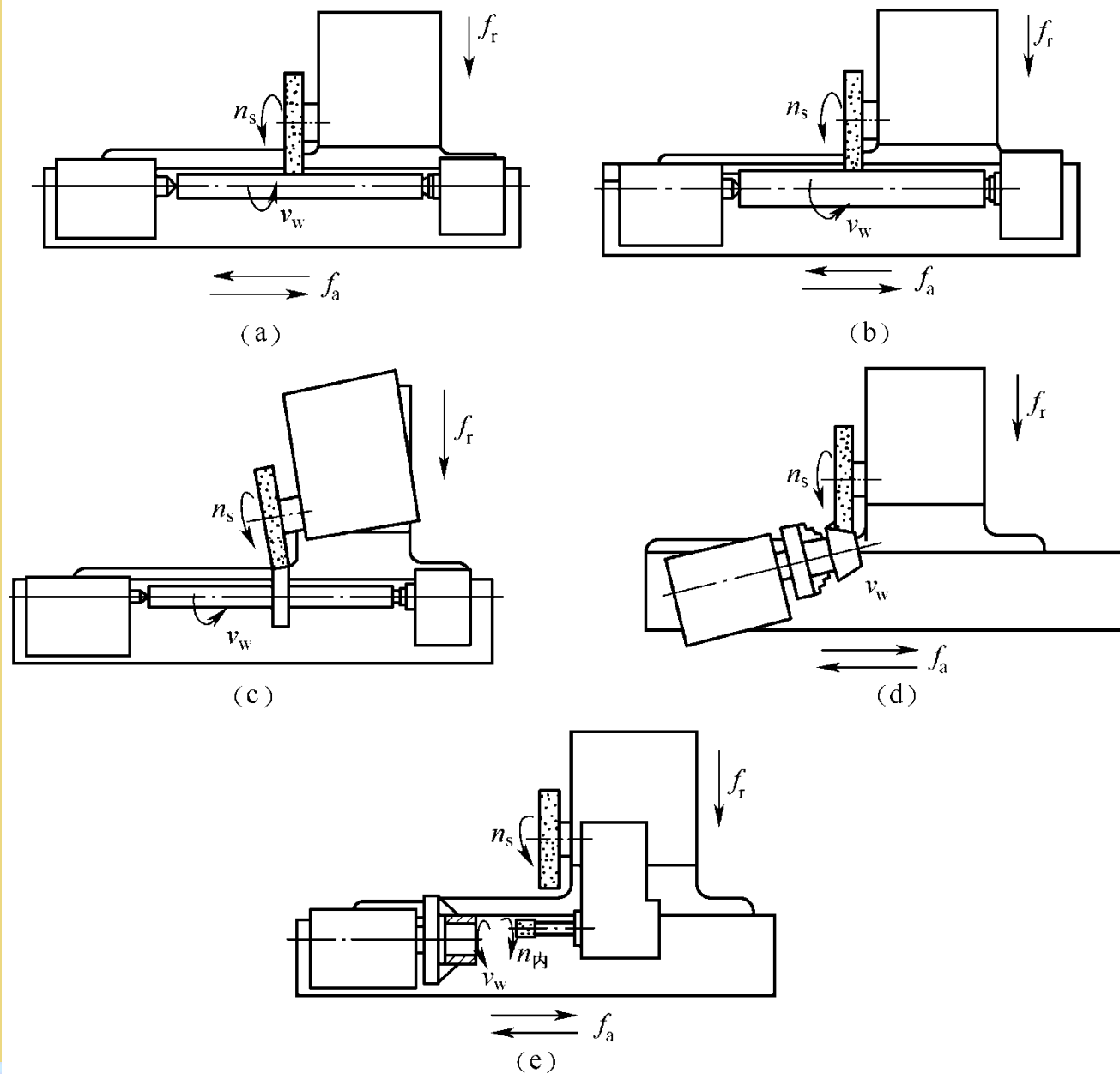


图7-10
M1432A
型万能外
圆磨床
1-床身
2-头架
3-工作台
4-内磨装
置 5-砂
轮架 6-
尾座 A-
脚踏操纵
板

图7-11所示为M1432A型万能外圆磨床加工示意图，可以看出外圆磨床可用以磨削内外圆柱面、圆锥面。其基本磨削方法有两种：纵向磨削法和切入磨削法。



② 机床的传动。图7-12所示为M1432A型万能外圆磨床的传动系统。工作台的纵向往复运动，砂轮架的快速进退和自动周期进给以及尾座套筒的缩回均采用液压传动，其余则为机械传动。

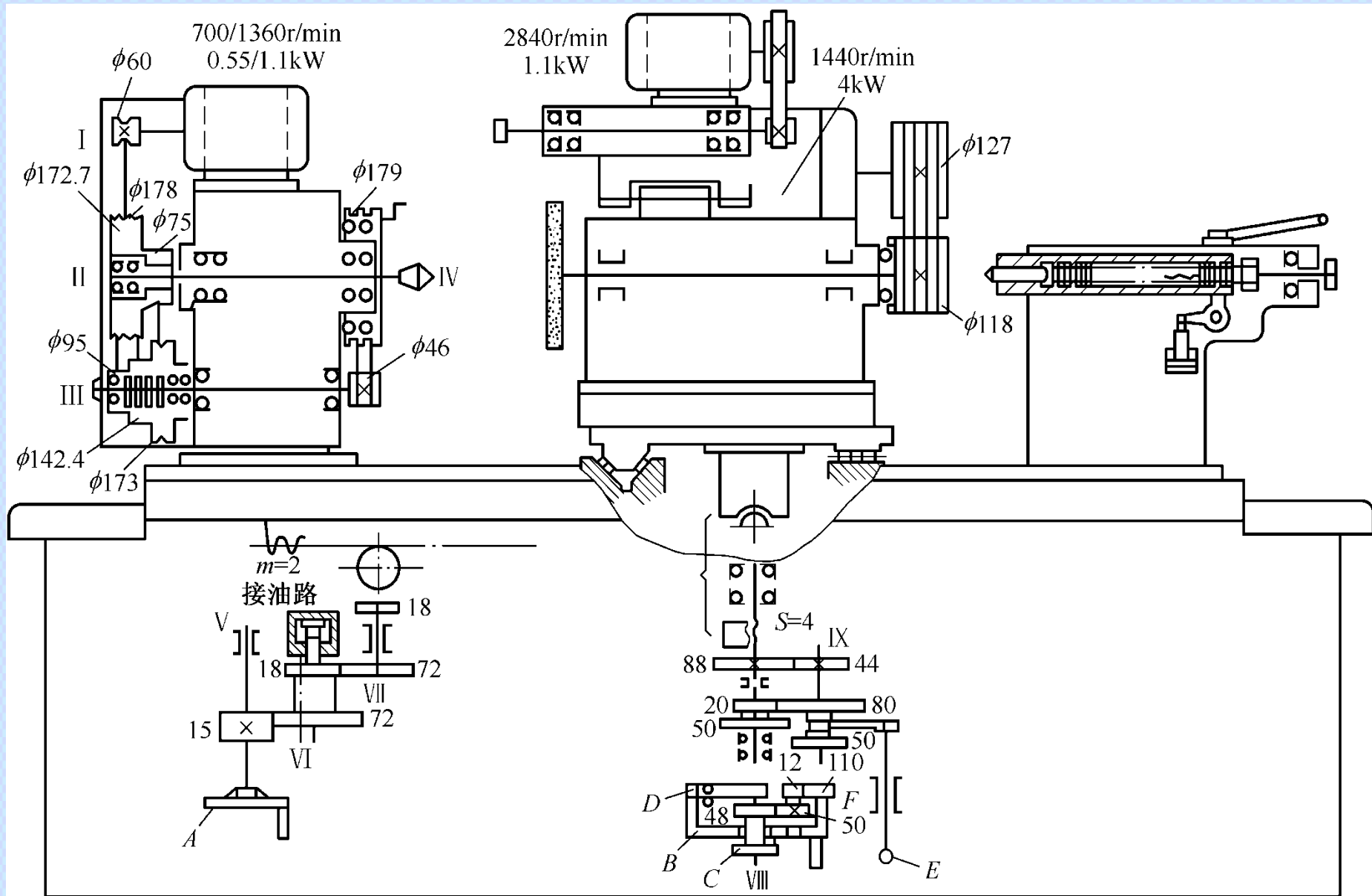
主运动的传动如下。

- 外圆磨削砂轮的传动：砂轮架的电动机经V形带直接传动砂轮主轴旋转。
- 内圆磨具的传动：内圆磨具电动机经高速平带直接传动内圆磨具主轴旋转。

进给运动的传动如下。

- 头架的传动：头架上双速电动机经三级V形带传动，把运动传给头架的拨盘（与带轮 $\phi 179$ 为一体）拨动工件做圆周进给运动。
- 工作台的传动：工作台既可液压传动，也可手动。手动是为了磨削轴肩或调整工作台的位置。
- 砂轮架的横向进给运动：用手转动固定在轴VIII上的手轮B，可使砂轮架横向进给，

M1432A型外圆磨床传动系统

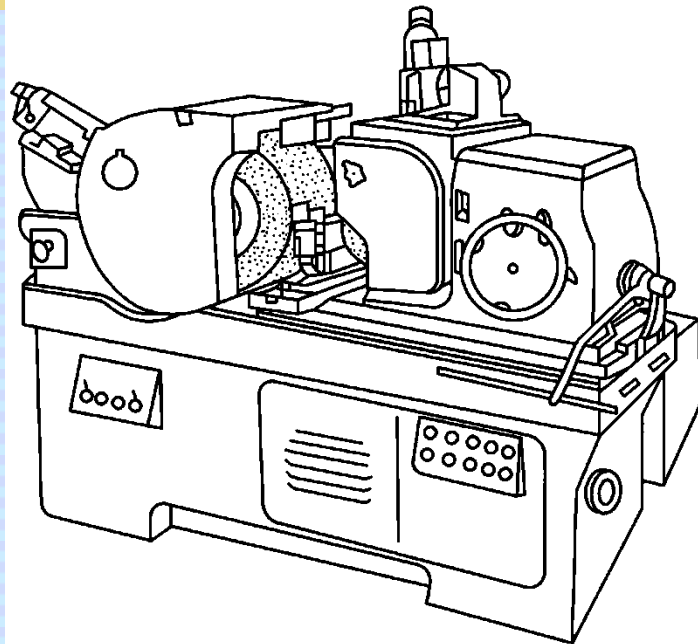


③ 机床主要部件结构。

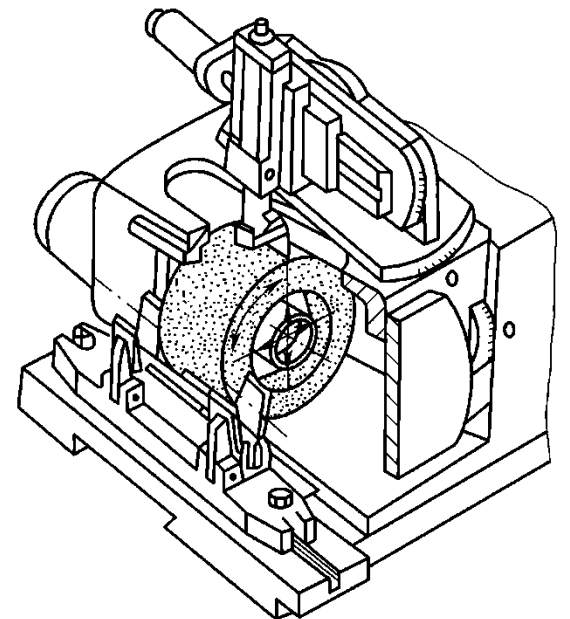
- 砂轮架。砂轮架（见图7-13）由壳体、砂轮主轴组件、传动装置与滑鞍等组成。其主轴组件的结构将直接影响工件的加工精度和表面粗糙度，是砂轮架部件的关键结构，应具有较高的回转精度、刚度、抗振性及耐磨性。
- 内磨装置。
- 头架。头架由壳体、头架主轴及其轴承、工件传动装置和底座等组成。图7-16所示
- 尾座。尾座的功用是利用安装在尾座套筒上的顶尖（后顶尖），与头架主轴上的前顶尖一起支承工件，使工件实现准确定位。

2. 其他类型外圆磨床

(1) 无心外圆磨床。在无心外圆磨床上磨削外圆表面，工件不需打中心孔，装卸简单省时；用贯穿法磨削时，加工过程可连续不断地进行；工件支承刚度好，可用较大切削用量进行磨削，而磨削余量可较小（没有因中心孔偏心而造成的余量不均现象），故生产率较高。无心磨床不能磨削不连续的外圆表面，如带有键槽、小平面等表面，也不能保证被加工面与其他面间的相互位置精度



(a) 磨床外形



(b) 导轮架结构

3. 平面磨床。

根据磨削方法和机床布局的不同，平面磨床主要有以下4种类型：卧轴矩台平面磨床、卧轴圆台平面磨床、立轴矩台平面磨床和立轴圆台平面磨床。其中前两种磨床用砂轮的周边磨削，砂轮主轴为水平布置（卧式）；后两种磨床用砂轮端面磨削，砂轮主轴为竖起旋转。目前生产中应用最广的是卧轴矩台和立轴圆台两种平面磨床。

在磨床上装夹工件，除形状复杂以及由非磁性材料制造的工件需采用特殊装夹具外，凡是由钢、铸铁等磁性材料制造，具有平行平面的工件，一般都采用电磁吸盘

卧轴矩台平面磨床

1-床身 2-工作台 3-砂轮架 4-滑座 5-立柱

除了用砂轮的周边磨削水平面外，还可用砂轮的端面磨削沟槽、台阶等垂直侧面

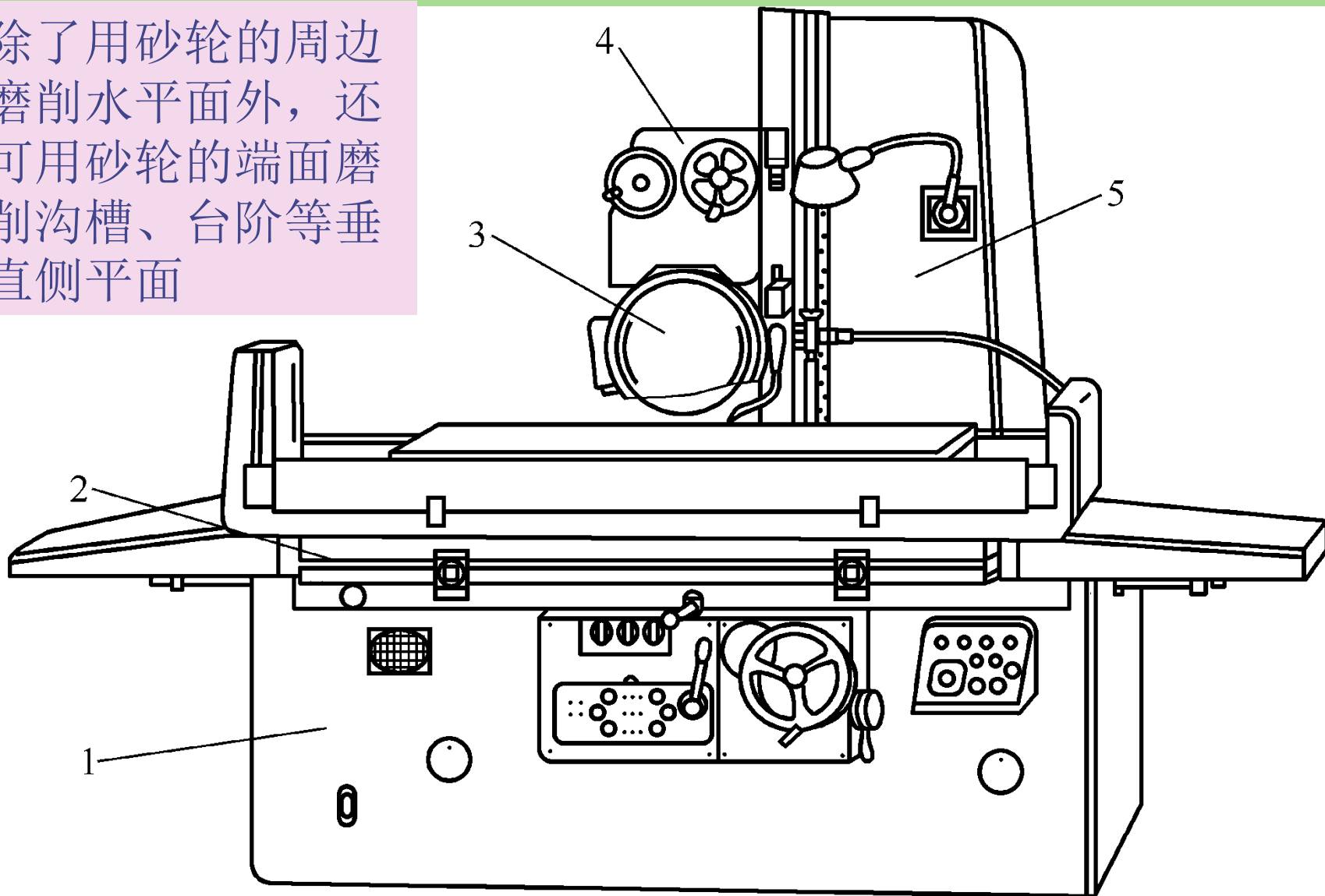
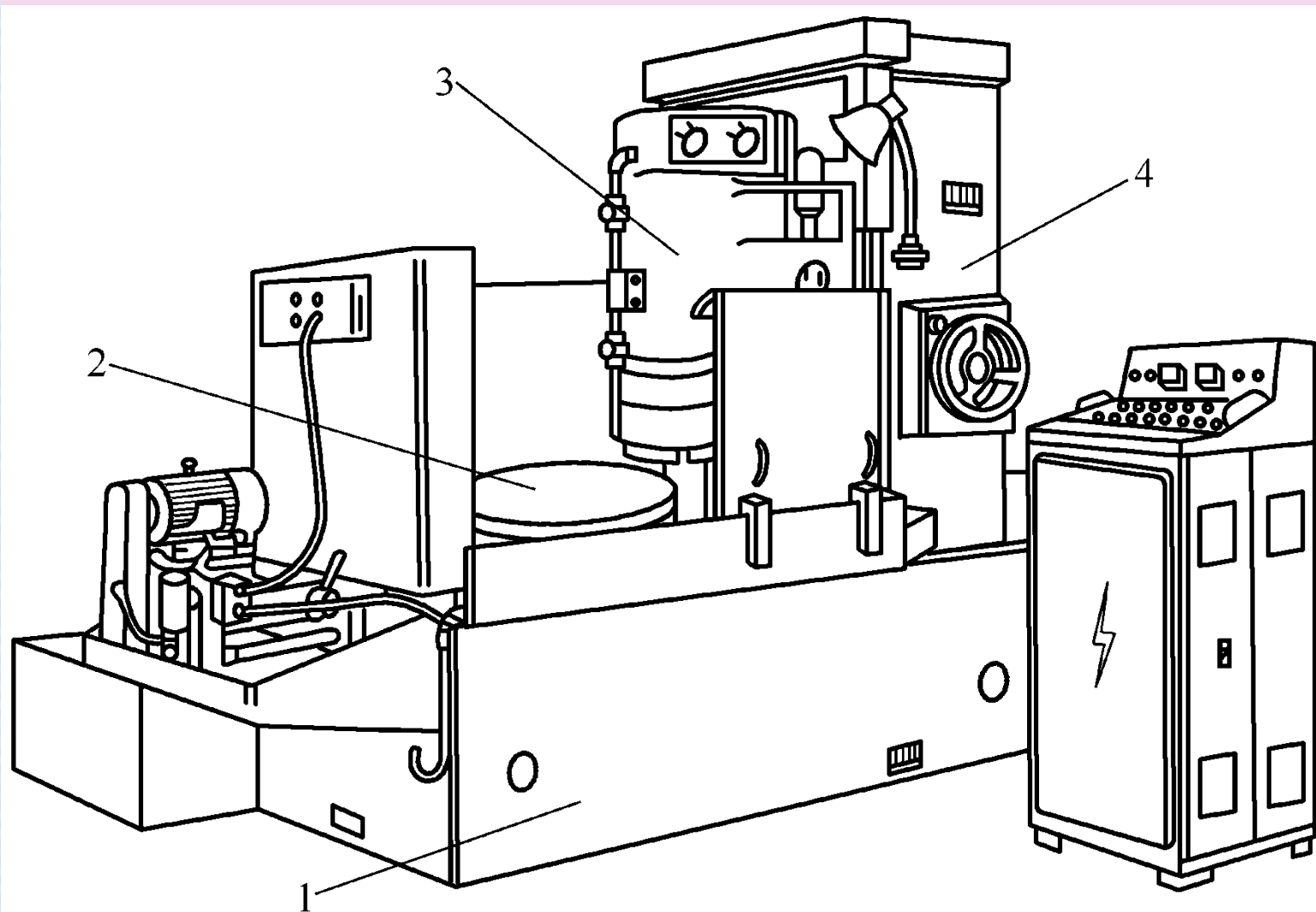


图7-20 立轴圆台平面磨床

1-床身 2-工作台 3-砂轮架 4-立柱



4. 内圆磨床
主要用于磨削各种内孔（包括圆柱形通孔、盲孔、阶梯孔以及圆锥孔等）。
图示为普通内圆磨床外形图。内圆磨床的主要类型有普通内圆磨床、无心内圆磨床和行星式内圆磨床。

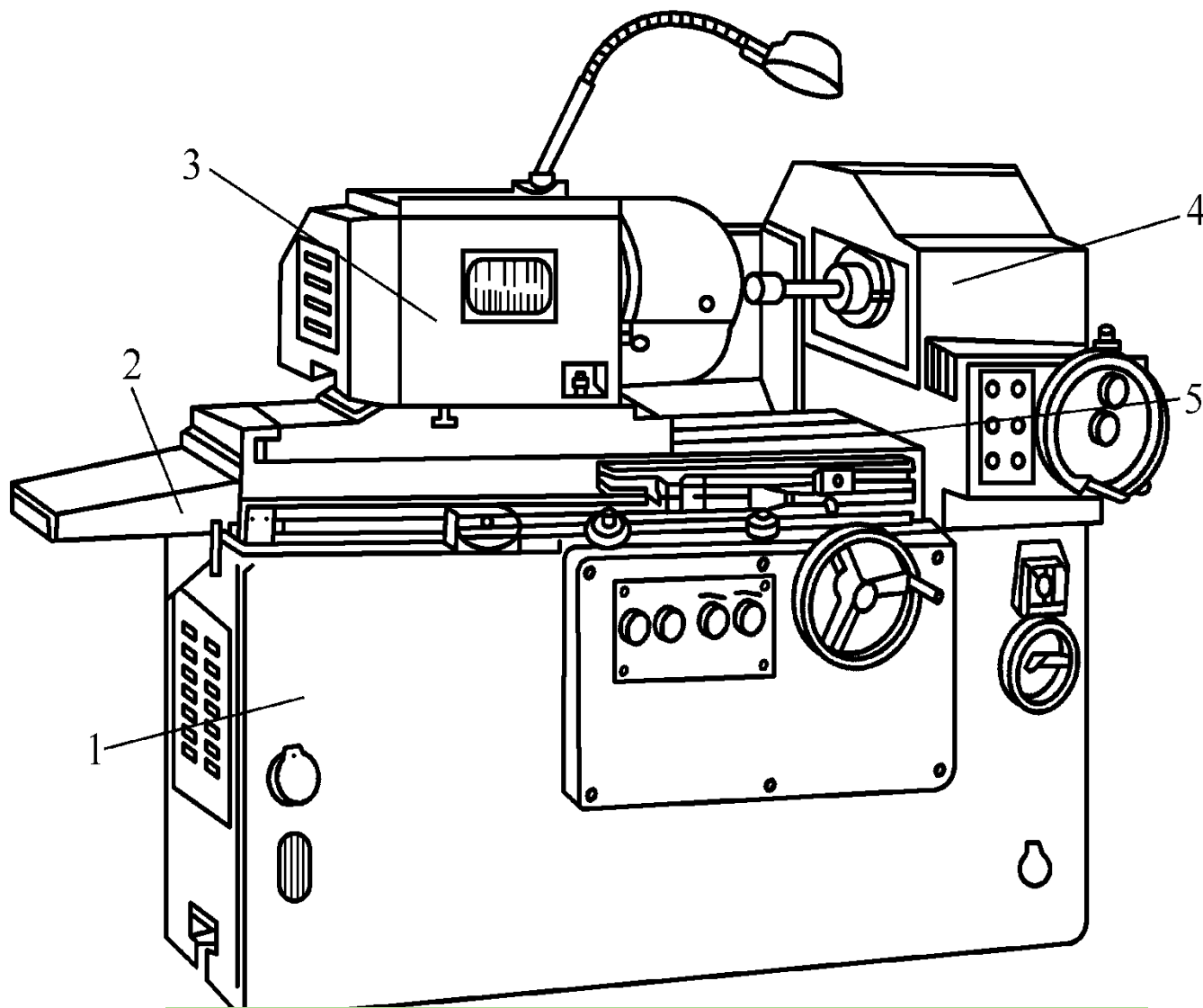


图7-21 普通内圆磨床
1-床身 2-工作台 3-头架 4-砂轮架 5-滑鞍

7.3.2 磨床夹具

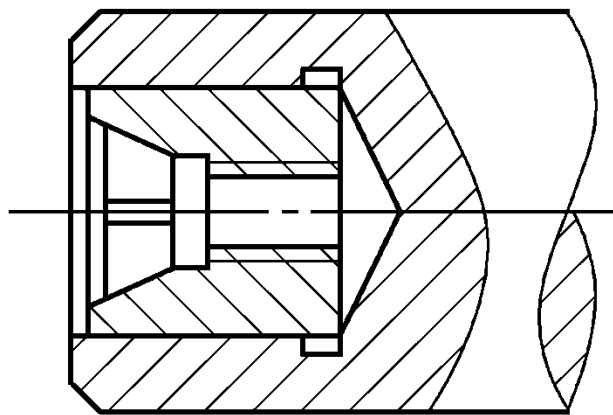
磨床夹具可分为通用和专用两大类。通用夹具包括：顶尖，鸡心夹头，心轴，中心孔柱塞，弹簧夹头，卡盘与花盘，磁力吸盘，真空吸盘，虎钳与直角块，多角形块，正弦夹具等等。

第7章 磨床夹具.doc

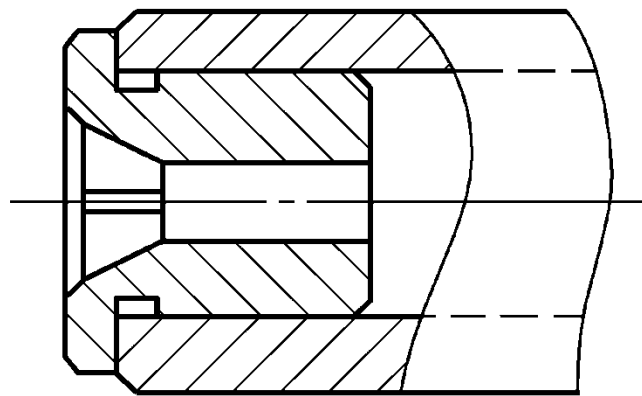
1. 磨床通用夹具

(1) 顶尖和鸡心夹头。顶尖和鸡心夹头常配套使用，其用途极为广泛，是磨削轴类工件时最简易，且精度较高的一种装夹工件的工具。其中硬质合金顶尖耐用度高，适用于装夹硬度高（淬火钢类）的工件。顶尖和鸡心夹头在车床上也常用，但磨床用顶尖较一般车床用的精度要高。

(2) 中心孔柱塞。两端空心的轴类工件，通过柱塞用顶尖装夹进行磨削加工。中心孔柱塞如图7-25所示，分为不带肩与带肩中心孔柱塞两种。



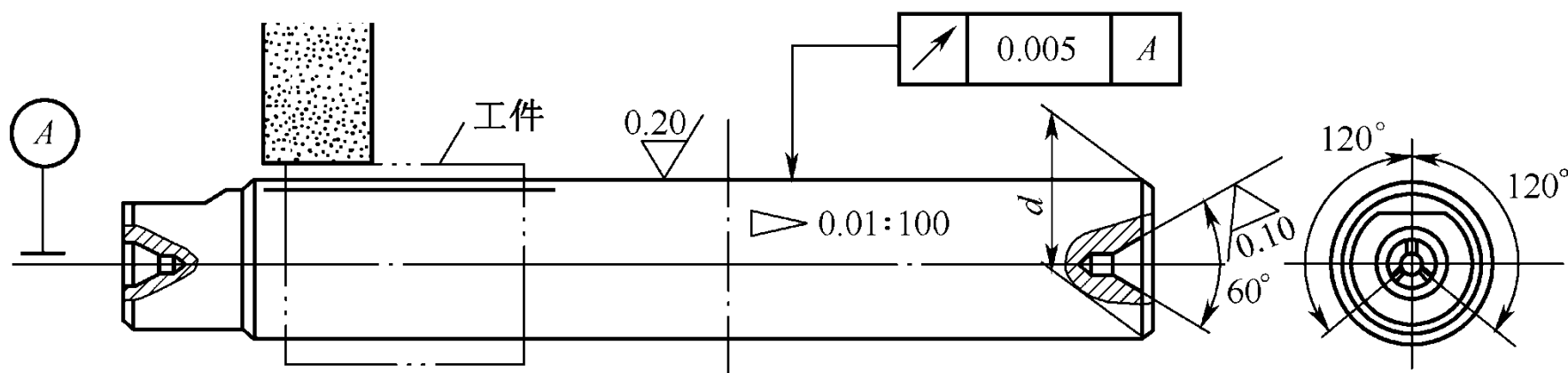
(a) 不带肩



(b) 带肩

(3) 心轴。心轴常用于在外圆磨床和万能磨床上磨削以孔或孔与端面作为定位基准的套筒类、盘类工件的外圆及端面，以保证工件外圆与内孔的同轴度及与端面的垂直度要求。心轴的中心孔需研磨，并在其锥面上开**3**条互成**120°**角的油槽。

① 锥度心轴。心轴的锥度一般可取**100mm**长度内**0.01mm~0.03mm**，根据被磨工件精度需要而定。心轴外圆与工件内孔之间的配合程度，以能克服磨削力为准，不宜过紧而使工件变形。由于工件内孔有一定公差范围一般需要**1~3**根、甚至**5**根为一组，供选配使用。其外圆对中心孔的跳动允差一般取为**0.005mm~0.01mm**，应视工件精度而定。这种心轴一般用于小批量及单件生产。



② 带肩莫氏锥柄心轴。带肩莫氏锥柄心轴如图7-24所示，工件与心轴一般成无间隙滑动配合。单件生产时可配磨心轴直径；批量生产时则按需要尺寸分组，可制造**3**根供选用。莫氏锥柄的大小可根据工件大小及机床而定，需要时可加莫氏锥度过渡套筒。

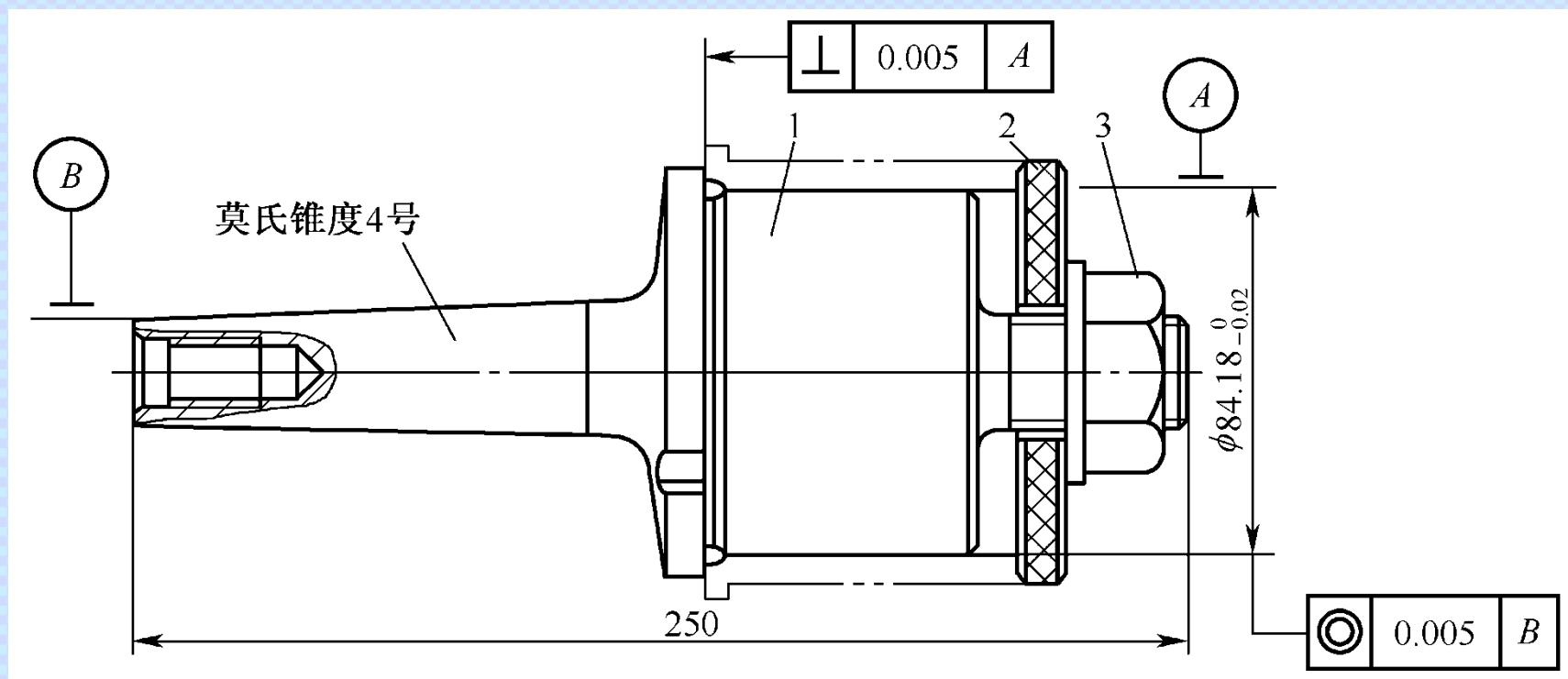
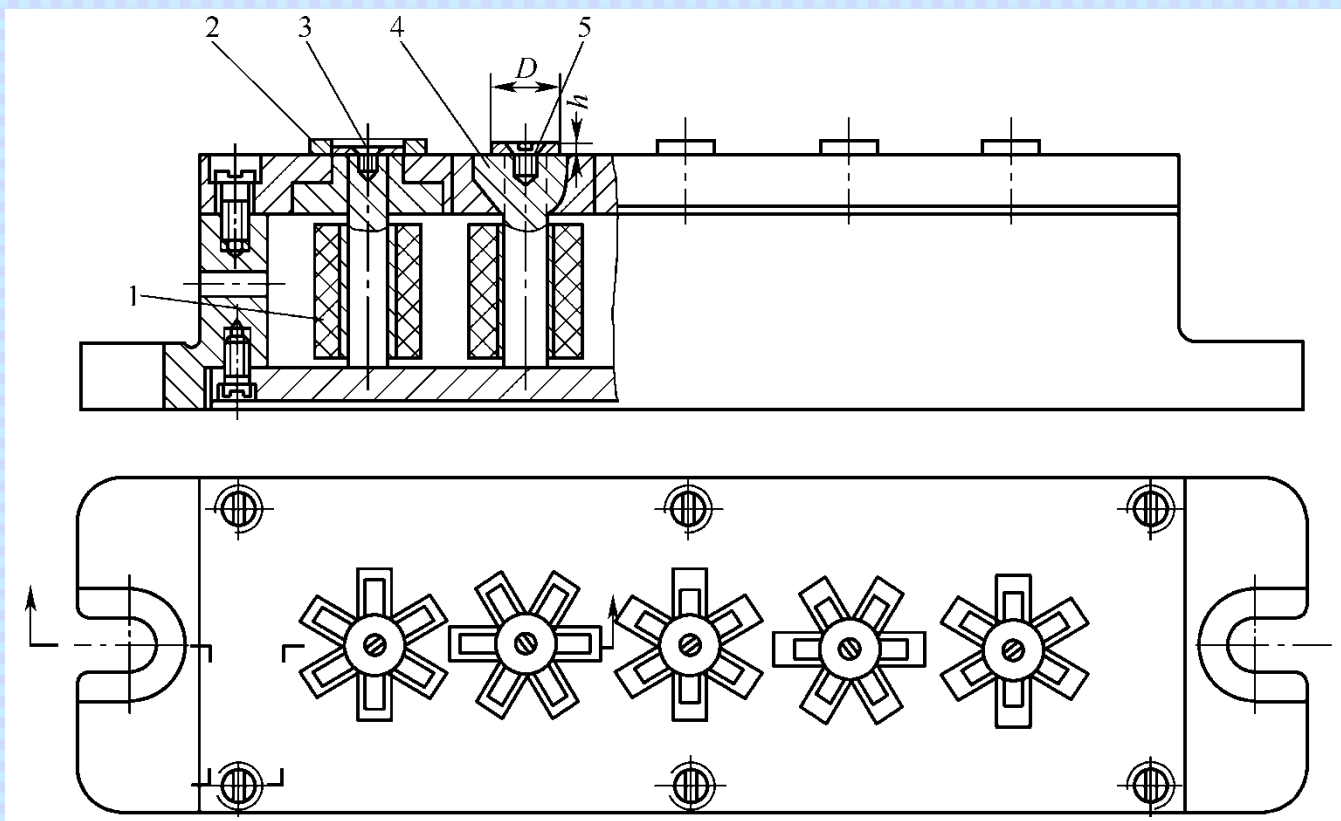


图7-24 带肩莫氏锥柄悬伸心轴
1-心轴 2-快卸垫圈 3-螺母

(4) 磁力吸盘及磁力过渡垫块。磁力吸盘及磁力过渡垫块是磨床常用夹具，特别是在平面磨床上，其用途极为广泛。

磁力吸盘按外形可分为圆形及矩形两类；按磁力来源可分为电磁及永久磁铁吸盘（又称永磁吸盘）；按用途分又可分为通用、专用、正弦及多功能磁力吸盘。

专用矩形电磁吸盘是典型专用磨床夹具。图所示电磁吸盘是根据工件尺寸及形状而设计的，专门用来磨削尺寸小而薄的垫圈。为了将工件吸牢，将吸盘的铁心4设计成星形，以增大吸力，同时由螺钉3将定位圈5固定在吸盘面板上星形铁心的中心位置。定位圈5的外径 D 小于工件的孔径，厚度 h 也薄于工件，磨削时工件不会产生位移。



图示 专用矩形
电磁吸盘

1-线圈 2-工件
3-螺钉 4-星形
铁心 5-定位圈

7.4 磨削工艺方法及磨削用量选择

磨削用量主要有：

砂轮速度

工件速度

纵向进给量

磨削深度

光磨次数

合理选择磨削用量，对磨削加工质量和生产率均有很大影响。

7.4.1 砂轮速度选择

砂轮的速度太低，砂轮磨损严重；过高，磨粒切削刃锋利程度易下降。通常，普通陶瓷结合剂轮，取 $v_s=30\text{m/s}\sim 35\text{m/s}$ ，内圆磨、工具磨等因砂轮直径小，允许选择低一些。

砂轮速度越高，工件表面粗糙度越好。但提高砂轮速度，应同时注意防止磨削颤振与工件表面的烧伤。随着磨削技术的发展，砂轮速度已提高到 $60\text{m/s}\sim 80\text{m/s}$ ，有的已超过 100m/s 。

7.4.2 工件速度选择

工件速度与砂轮速度有关，其速比 $q=V_s/V_w$ 对加工精度和磨削能力有很大影响。通常，外圆磨取 $q=60\sim 150$ ；内圆磨取 $q=40\sim 80$ 。工件速度选择条件如表所示。

序号	主要因素		选择条件
1	速度比 q		砂轮速度越高，工件速度越高；反之，砂轮速度越低，工件速度越低
2	砂轮的形状和硬度	直径	砂轮直径越小，则工件速度越低
		硬度	1. 对于硬度高的砂轮，选择高的工件速度 2. 硬度低的砂轮，工件速度宜低
3	工件的性能和形状	工件硬度	1. 工件硬度高时，选用高的工件速度 2. 工件硬度低时，选用低的工件速度
		工件直径	1. 工件直径大，选用高的工件速度 2. 工件直径小，选用低的工件速度（内圆磨削、平面磨削比外圆磨削工件速度高）
4	工件的表面粗糙度		要降低加工表面的粗糙度，就要减小工件速度，从而选用大直径砂轮

7.4.3 纵向进给量选择

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，即纵向（或轴向）进给量，以 f_a 表示。一般粗磨钢件 $f_a = (0.3 \sim 0.7) B$ （ B 为砂轮宽度）；粗磨铸件 $f_a = (0.7 \sim 0.8) B$ ；精磨取 $f_a = (0.1 \sim 0.3) B$ ，单位为 mm/r 。纵向进给量的大小，直接影响工件表面质量和生产率，纵向进给量增大，会增加磨粒切削负荷，磨削力随之增加，但不易使工件烧伤。

7.4.4 磨削深度选择

通常，外圆纵磨时：粗磨钢 $a_p=0.02\text{mm}\sim 0.05\text{mm}$ ，粗磨铸铁 $a_p=0.08\text{mm}\sim 0.15\text{mm}$ ；精磨钢 $a_p=0.005\text{mm}\sim 0.01\text{mm}$ ，精磨铸铁 $a_p=0.02\text{mm}\sim 0.05\text{mm}$ 。外圆切入磨时：普通磨削 $a_p=0.01\text{mm}\sim 0.05\text{mm}$ ，精密磨削 $a_p=0.0025\text{mm}\sim 0.005\text{mm}$ 。磨削深度选择条件如表所示。

序号	主要因素		选择条件
1	砂轮特性和形状	粒度	粒度号越大，磨削深度可选得越小
		硬度	砂轮硬度越高，磨削深度可选得越大
		直径	砂轮直径越小，磨削深度可选得越小
		速度	砂轮速度越小，磨削深度可选得越小
2	工件性能和形状	直径	工件直径越小，磨削深度可选得越小。对大尺寸工件，磨削深度也不能选得太大，因为大直径工件与砂轮接触面大，转动力矩很大，容易造成设备功率不足
		速度	工件速度越大，磨削深度可选得越小

7.4.5 光磨次数选择

无进给磨削即光磨（也称清磨）。光磨可提高工件的几何精度和降低表面粗糙度参数值。表面粗糙度随光磨次数的增加而降低，但经过一定的光磨次数后，表面粗糙度变化不大；细粒度（**WA+GC**）混合磨料砂轮磨光效果比粗粒度好。光磨次数应根据砂轮状况、加工要求和磨削方式确定，例如以下情况。

外圆磨削：**40#~60#**砂轮，一般磨削用量，光磨次数是单行程**1~2**次。

内圆磨削：**40#~80#**砂轮，一般磨削用量，光磨次数是单行程**2~4**次。

平面磨削：**36#~60#**砂轮，一般磨削用量，光磨次数是单行程**1~2**次。

7.4.6 磨削液

1. 对磨削液的要求

合理使用磨削液，可降低磨削温度，减少磨削力与动力消耗，延长砂轮寿命，改善加工表面质量及提高磨削效率。从磨削效果来看，磨削液应满足下列要求。

- ① 润滑性能 ② 冷却性能 ③ 清洗性能
- ④ 无毒、无臭、不刺激皮肤，以不影响工人健康。
- ⑤ 有良好的防锈作用。
- ⑥ 易于滤清，不易变质和产生泡沫，在使用过程不会沉淀。
- ⑦ 废液易处理与再生，应避免污染环境。 ⑧ 经济效益好。

2. 磨削液的种类和组成

磨削液通常分为油性（矿物油等）及水溶性（乳化液等）两大类。

7.5 高效与精密磨削

7.5.1 高速及超高速磨削

高速及超高速磨削一直是磨削加工的研究重点和发展方向之一。这项技术的推广应用将把整个磨削提高到一个新的水平。

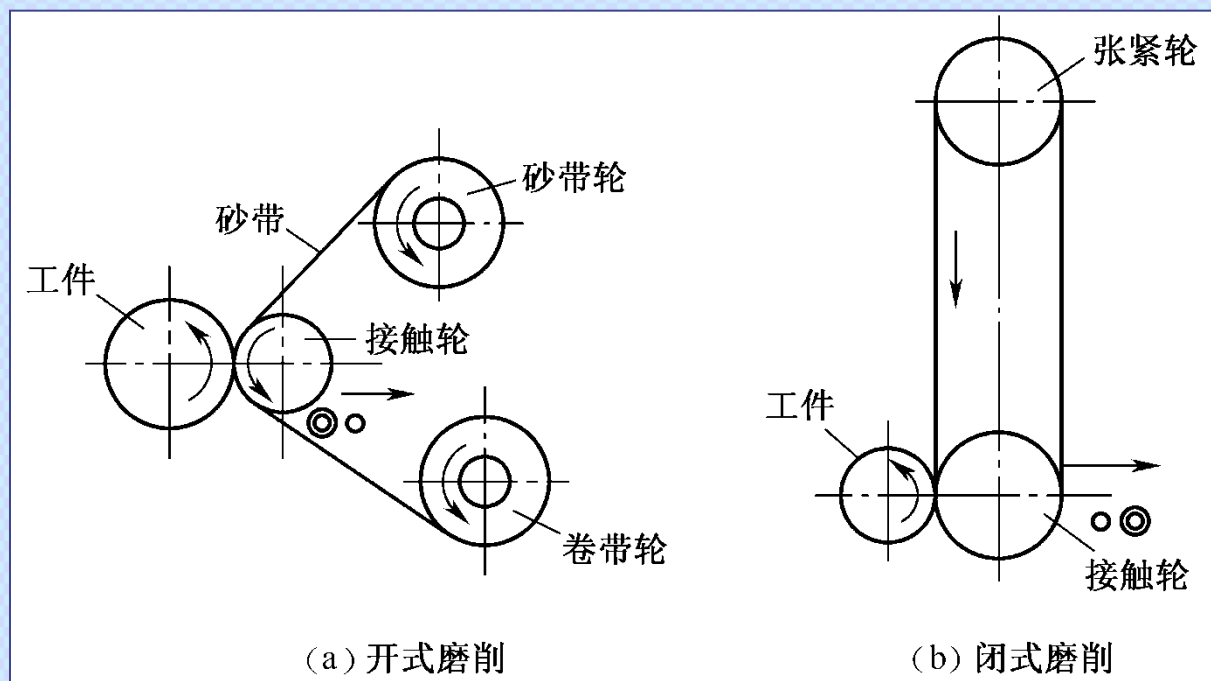
一般认为磨削速度在 $60\sim 120\text{m/s}$ 之间属于高速磨削；大于 150m/s 属于超高速磨削。

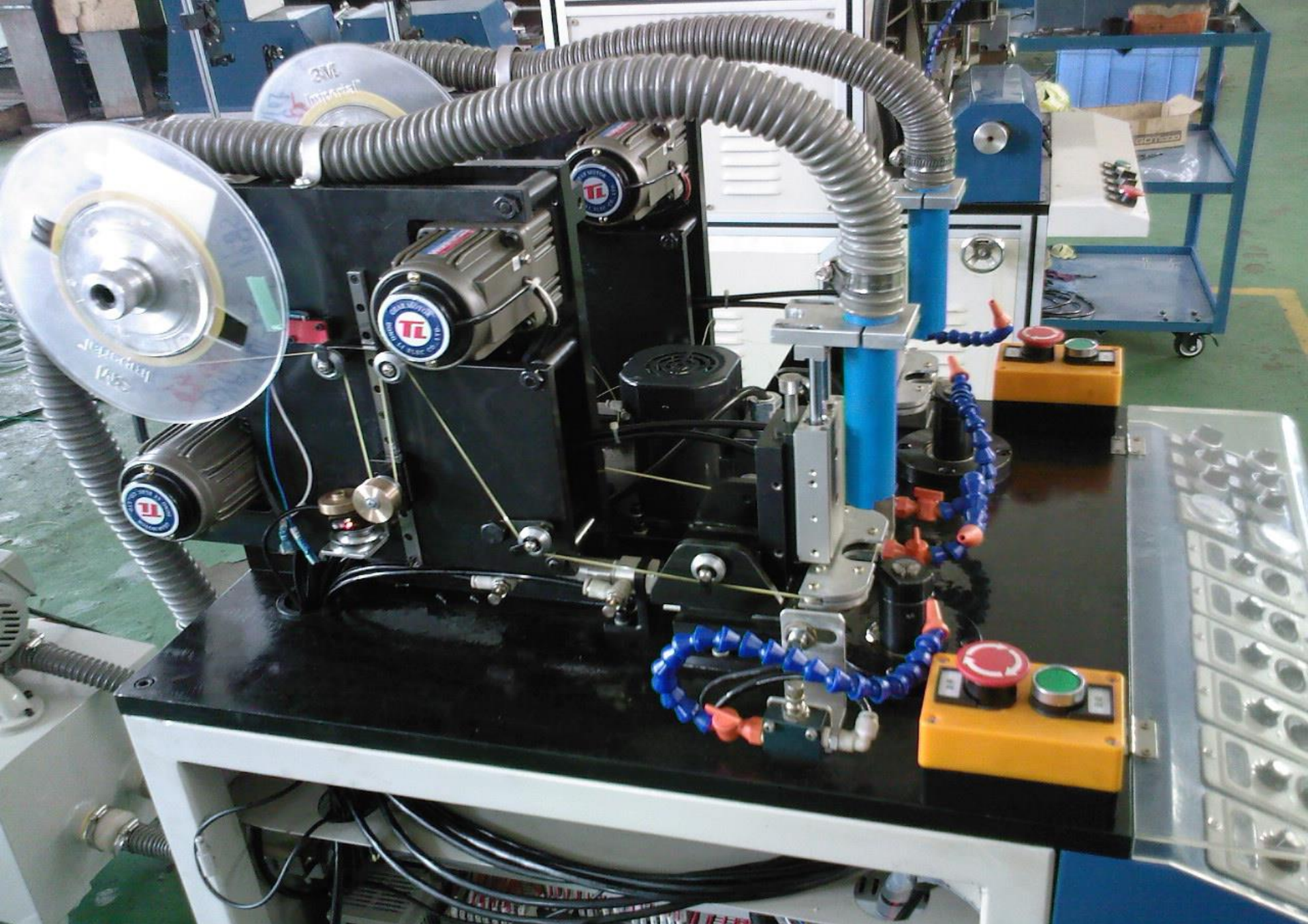
7.5.2 砂带磨削

砂带是一种用粘接剂将磨料接在柔软基体上的涂附磨具。磨粒经高压静电植砂后，呈定向排列（锋利的刃口向上），单层均匀分布在基体表面。

制造砂带用的磨粒通常采用氧化铝、碳化硅或氧化锆，磨料晶体大都为针状，棱角分明。

砂带磨削方式可分为开式砂带磨削与闭式砂带磨削。

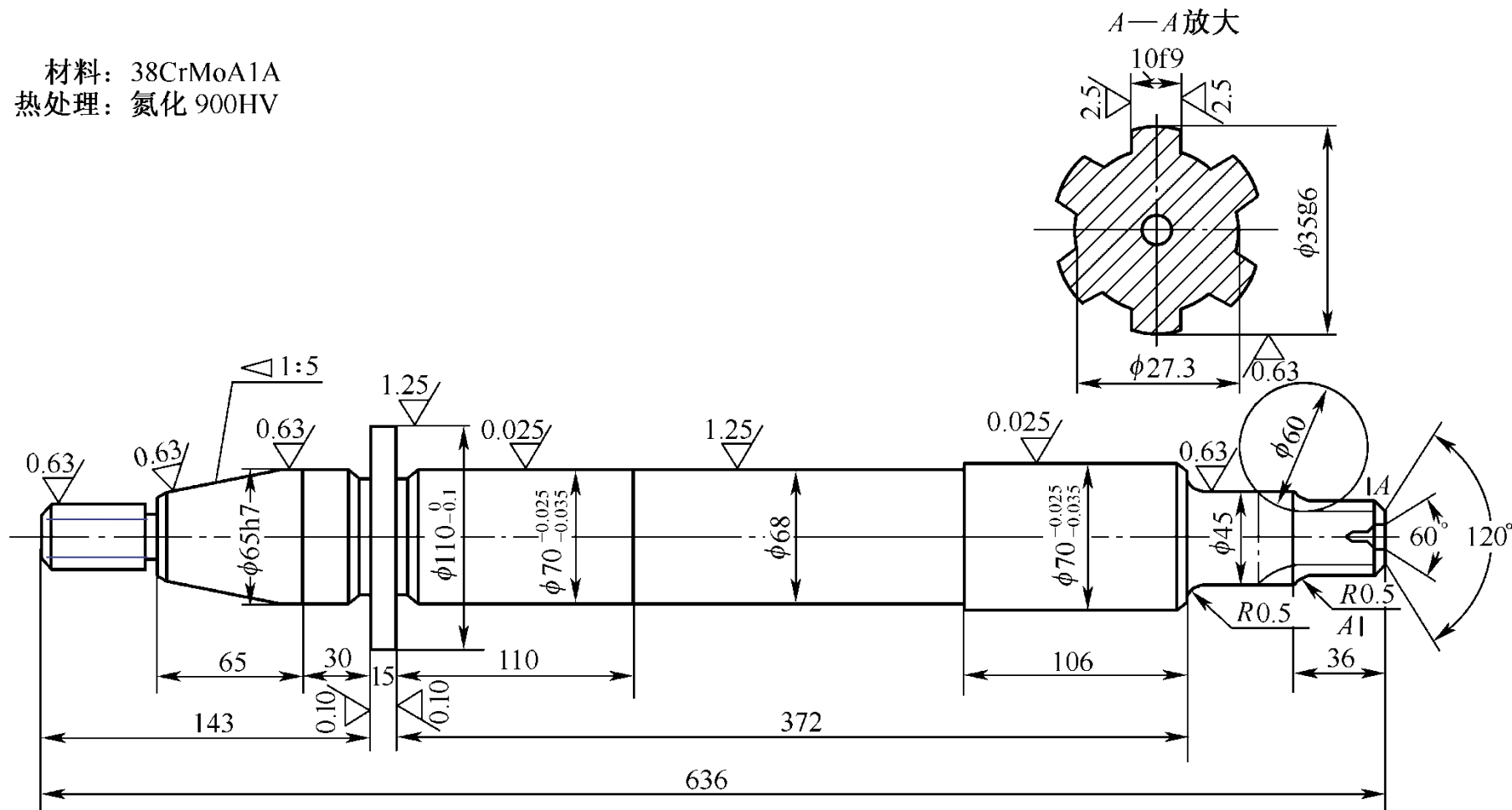




7.6 磨削加工案例分析

案例1 螺纹磨床主轴的磨削。螺纹磨床主轴加工要求如图7-33所示，磨削工艺如表7-14所示，磨削用量如表7-15示。

材料：38CrMoA1A
热处理：氮化 900HV

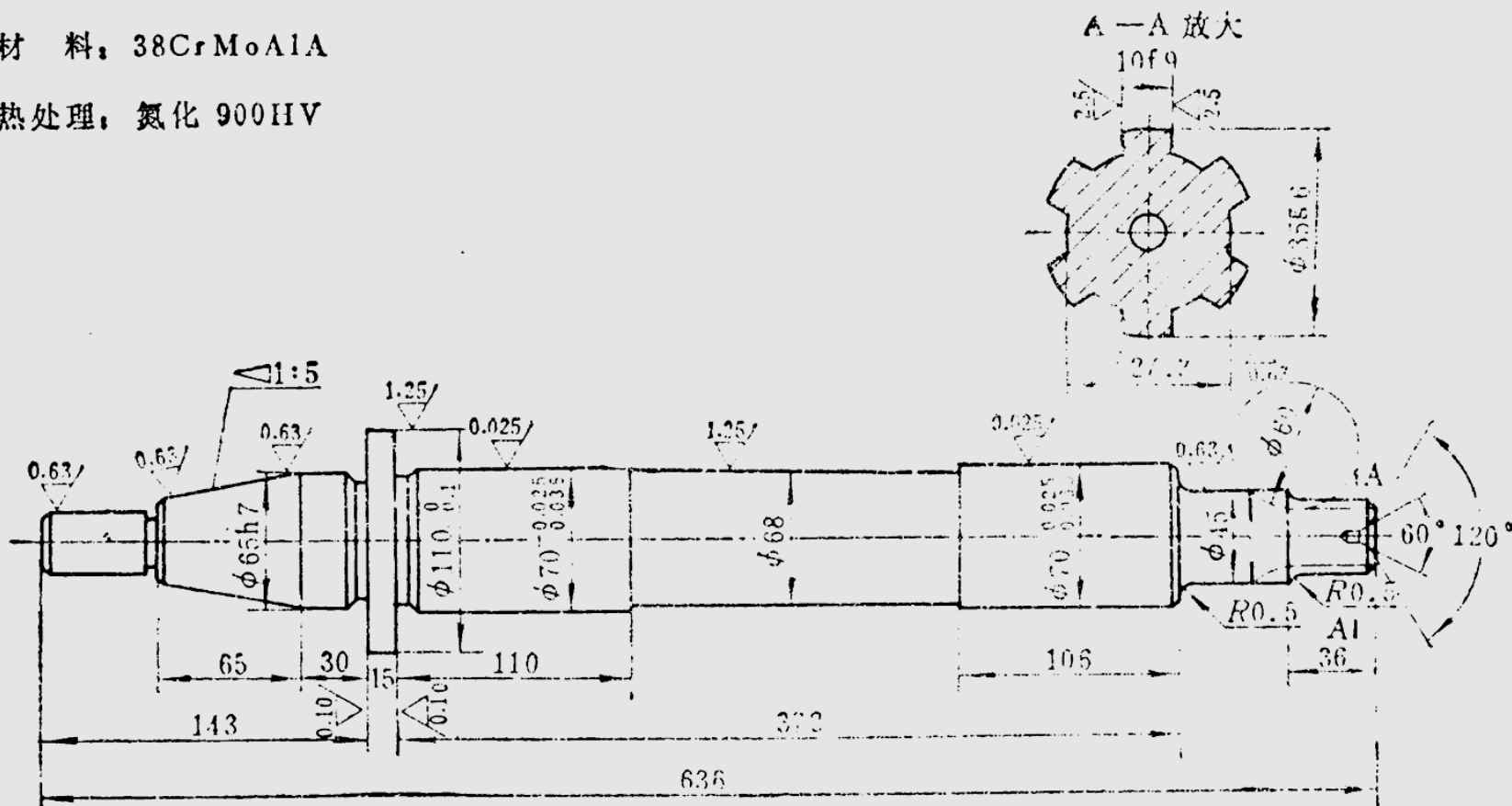


7.6磨削加工案例分析

螺纹磨床主轴的磨削

材 料：38CrMoAlA

热处理：氮化 900HV



螺纹磨床主轴磨削工艺 表7-14示

工序	工步	内 容	砂轮	机床	基准
1		除应力，研中心孔：Ra0.63μ m, 接触面>70%			
2		粗磨外圆，留余量0.07~0.09	PA40K	M131W	中心孔
	1	磨φ 65h7			
	2	磨 $\Phi 70_{-0.035}^{-0.025}$ 至 $\Phi 70_{+0.08}^{+0.145}$			
	3	磨φ 68			
	4	磨φ 45			
	5	磨 $\Phi 110_{-0.1}^0$ ，且磨出肩面			
	6	磨φ 35g6			
3		粗磨1:5锥度，留余量0.07~0.09		M1432A	中心孔
4		半精磨外圆，留余量0.05	PA60K	M1432A	中心孔

续表7-14

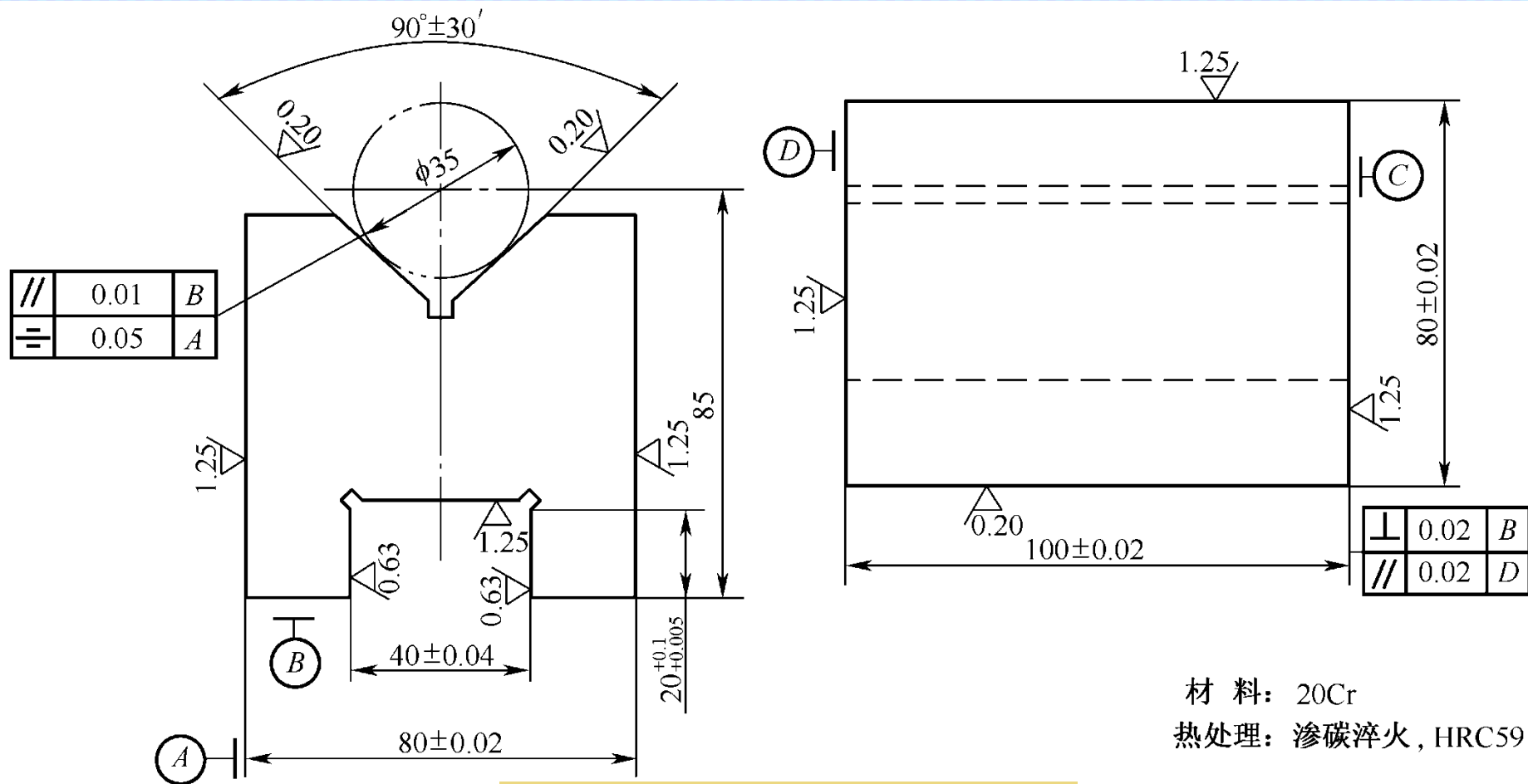
5		氮化, 探伤, 研中心孔: Ra0.2 μ m, 接触面>75%			
6		精磨外圆 ϕ 68、 ϕ 45、 ϕ 35g6、 Φ 110 $^0_{-0.1}$ 至尺寸, ϕ 65h7、 Φ 70 $^{-0.025}_{-0.035}$, 留余量 0.025~0.04	PA100L	M1432A	中心孔
7		磨光键至尺寸	WA80L	M8612A	中心孔
8		磨螺纹至尺寸	WA100L	S7332	中心孔
9		研中心孔: Ra0.10 μ m, 接触面>90%			
10		精密磨1:5锥度尺寸	WA100K	MMB1420	中心孔
11	1	精密磨 Φ 70 $^{-0.025}_{-0.035}$ 至 Φ 70 $^{-0.015}_{-0.030}$	WA100K	MMB1420	中心孔
	2	磨出 ϕ 110肩面			
12		至尺寸 Φ 70 $^{-0.025}_{-0.035}$, 表面粗糙度Ra0.025 μ m	WA240L	MG1432A	中心孔

磨削用量参考表 7-15

磨削用量	粗、精磨	超精磨
砂轮速度 (m/s)	17~35	15~20
工件进给 (m/min)	10~15	10~15
纵向进给深度 (m/min)	0.2~0.6	0.05~0.15
磨削深度 (mm/st)	0.01~0.03	0.0025
光磨次数 (次/st)	1~2	4~6

案例3 V形铁磨削。

V形铁加工要求如图7-35所示，V形铁磨削步骤如表7-18所示，磨削用量如表7-19所示。



第7章 案例3 V形铁磨削工艺.doc

7.7磨削常见缺陷产生原因及消除方法

掌握正确的工艺，维护保养机床及工装精度，正确选用砂轮和正确、及时地修整砂轮，是减少磨削缺陷的主要措施和途径。

必须要强调指出，随着现代磨削技术的发展，磨床采用了自动修整砂轮、自动平衡砂轮和精密滚动轴承应用于砂轮头架等新技术，使原来由这方面因素造成的磨削缺陷大大减少。

第7章 磨削常见缺陷及消除方法.doc

习 题

1. 简述磨削加工方法的类型。
2. 简述磨床的主要类型和使用范围。
4. 常用磨料有哪几种？各适合何种场合？
6. 简述磨床夹具的主要类型和使用范围。

结 束

主讲 机电工程学院 周锦添 副教授
高级工程师



