

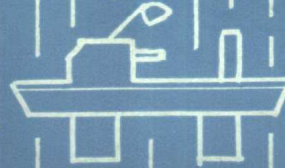


中华人民共和国机械工业部统编

机械工人技术培训教材

磨工工艺学

(中级本)



科学普及出版社



中华人民共和国机械工业部统编
机械工人技术培训教材

磨 工 工 艺 学

(中 级 本)

科学普及出版社

本书是机械工业部统编的机械工人技术培训教材，它是根据原一机部《工人技术等级标准》和教学大纲编写的。书中介绍了复杂零件的磨削方法，高光洁度、高速、恒压力、电解和缓进深切等磨削新工艺，研磨的原理及方法，精密量仪和测量装置，工艺规程及典型零件的工艺分析，机床夹具及设计，磨床的常见故障及排除方法等内容。

本书是4~6级磨工技术培训教材，也可供有关技术人员和工人学习参考。

本书由薛源顺、宋秋云同志编写；由王开元、陆早发、杨万舒同志审稿。

中华人民共和国机械工业部统编

机械工人技术培训教材

磨 工 工 艺 学

(中 级 本)

责任编辑：郭蕴玉

封面设计：范惠民

科学普及出版社出版（北京海淀区白石桥路32号）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

保定市科技印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：21 字数：488千字

1984年11月第1版 1984年11月第1次印刷

印数：1—69,500册 定价：3.10元

统一书号：15051·1109 本社书号：0833

对广大工人进行比较系统的技术培训教育，是智力开发方面的一件大事，是一项战略性的任务。有计划地展开这项工作，教材是关键。有了教材才能统一培训目标，统一教学内容，才能逐步建立起比较正规的工人技术教育制度。

教材既是关键，编写教材就是一件功德无量的事。在教材行将出版之际，谨向为编写这套教材付出辛勤劳动的同志们致以敬意！

机械工业部第一副部长

杨 铨

一九八二五月

前 言

为了更好地落实中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，对工人特别是青壮年工人进行系统的技术理论培训，以适应四化建设的需要，现确定按初级、中级、高级三个培训阶段，逐步地建立工人培训体系，使工人培训走向制度化、正规化的轨道，以期进一步改善和提高机械工人队伍的素质。我们组织了四川省、江苏省、上海市机械厅（局）和第一汽车厂、太原重型机器厂、沈阳鼓风机厂、湘潭电机厂，编写了三十个通用工种的初级、中级的工人技术培训教学计划、教学大纲及其教材，作为这些工种工人技术理论培训的统一教学内容。

编写教学计划、教学大纲及其教材的依据，是原一机部颁发的《工人技术等级标准》和当前机械工人队伍的构成、文化状况及培训的重点。初级技术理论以二、三级工“应知”部分为依据，是建立在初中文化基础上的。它的任务是为在职的初级工人提供必备的基础技术知识，指导他们正确地使用设备、工夹具、量具，按图纸和工艺要求进行正常生产。中级以四、五、六级工“应知”部分为依据，并开设相应的高中文化课，在学完了初级技术理论并具有一定实践经验的工人中进行。它的任务是加强基础理论教学，使学员在设备、工夹具、量具、结构原理、工艺理论、解决实际问题 and 从事技术革新的能力上有所提高（高级以七、八级工“应知”部分为依据，这次未编）。编写的教材计有：车工、铣工、刨工、磨工、齿轮工、镗工、钳工、工具钳工、修理钳工、造型工、化铁工、热处理工、锻工、模锻工、木模工、内外线电工、维修电工、电机修理工、电焊工、气焊工、起重工、煤气工、工业化学分析工、热工仪表工、锅炉工、电镀工、油漆工、冲压工、天车工、铆工等工艺学教材和热加工的六门基础理论教材：数学、化学、金属材料及其加工工艺、机械制图、机械基础、电工基础。

在编写过程中，注意了工人培训的特点，坚持了“少而精”的原则。既要理论联系生产实际，学以致用，又要有理论的高度和深度；既要少而精，又要注意知识的科学性、系统性、完整性；既要短期速成，又要循序渐进。在教学计划中对每个工种的培养目标，各门课程的授课目的，都提出了明确的要求，贯彻了以技术培训为主的原则。文化课和技术基础课的安排，从专业需要出发，适当地考虑到今后发展和提高的要求，相近工种的基础课尽量统一。

这套教材的出版，得到了有关省、市机械厅（局）、企业、学校、研究单位和科学普及出版社的大力支持，在此特致以衷心的感谢。

编写在职工人培训的统一教材，是建国三十年来第一次。由于时间仓促，加上编写经验不足，教材中还难免存在不少缺点和错误，我们恳切地希望同志们试行中提出批评和指正，以便进一步修改、完善。

机械工业部工人技术培训教材编审领导小组

一九八二年五月

目 录

第一章 复杂零件的磨削	1
第一节 复杂成型面的磨削	1
第二节 薄片、薄壁零件的磨削	10
第三节 导轨的磨削	15
第四节 凸键外圆的磨削方法	19
第五节 曲轴的磨削	20
第六节 仿形磨削法	26
第七节 花键的磨削方法	32
第八节 齿轮磨削	39
第九节 螺纹磨削	42
第十节 复杂刀具的刃磨	46
复习题	50
第二章 磨削新工艺	51
第一节 高光洁度磨削	51
第二节 高速磨削	71
第三节 恒压力磨削	76
第四节 电解磨削	78
第五节 缓进深切磨削	87
复习题	90
第三章 光整加工	91
第一节 研磨的工作原理	91
第二节 研磨剂	94
第三节 平面的研磨方法	96
第四节 外圆的研磨方法	105
第五节 内圆的研磨方法	107
第六节 球面的研磨方法	109
第七节 外圆的超精加工	111
第八节 珩磨	114
复习题	120
第四章 精密量仪和自动测量装置	121
第一节 水平仪和光学平直仪的结构原理及导轨的测量	121
第二节 气动测量仪的结构原理	132
第三节 工具显微镜的结构原理和一般使用方法	135
第四节 自动测量装置的原理和使用方法	141
第五节 高精度工件的测量方法	143
第六节 磨削指示仪的结构原理及应用	154
复习题	157

第五章 工艺规程及典型零件的工艺分析	158
第一节 工艺规程在机械制造中的作用	158
第二节 工艺规程的组成	162
第三节 基准的种类和选择	163
第四节 尺寸链的概念	169
第五节 机械加工工艺规程的制订	174
第六节 制订机械加工工艺规程的实例	179
第七节 机械加工精度分析	186
第八节 典型零件的工艺及其分析	189
第九节 成组工艺	204
复习题	207
第六章 机床夹具	208
第一节 概述	208
第二节 工件的定位	214
第三节 定位方法和定位元件	224
第四节 夹紧机构	232
第五节 气动液压夹具的概念	245
第六节 磨床夹具的结构分析	251
第七节 夹具设计的一般知识	257
第八节 组合夹具	260
复习题	264
第七章 磨床	265
第一节 M1432A 型万能外圆磨床	265
第二节 M2110 型内圆磨床	285
第三节 MM7132A 型精密卧轴矩台平面磨床	292
第四节 MQ6025A 型万能工具磨床	303
第五节 磨床精度对加工精度的影响和精度检验方法	312
第六节 磨床的常见故障及其排除方法	324
复习题	329

第一章 复杂零件的磨削

第一节 复杂成型面的磨削

成型面可分为旋转成型面、直母线成型面和立体成型面三大类。其中直母线成型面和旋转成型面的磨削加工已越来越受到机械制造业的重视。这类成型面除用成型砂轮磨削外，还有以下三种磨削方法：

- (1) 工件轨迹运动磨削法；
- (2) 成型范成磨削法；
- (3) 成型夹具磨削法。

一、工件轨迹运动磨削法

工件轨迹运动磨削法是指将工件装夹在带有靠模装置的夹具上，依靠工件不断改变的运动轨迹来获得所需的成型表面。

图 1-1 所示为叶片油泵的腰形外套。要求磨削零件的内椭圆成型面，椭圆长轴的尺寸为 $94^{+0.3}_{-0}$ 毫米，短轴为 $86^{+0.3}_{-0}$ 毫米，并要保证椭圆长轴与短轴的连接圆弧为等加速曲线，其数值见表1-1。

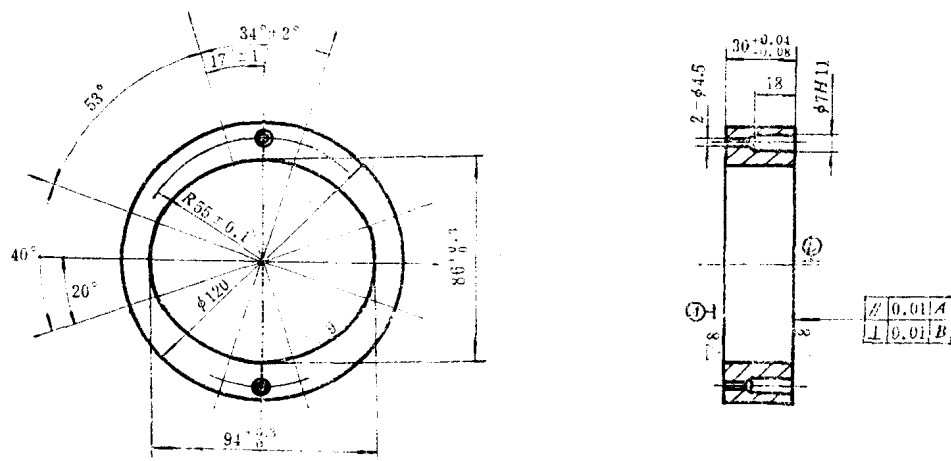


图 1-1 腰形外套工序简图

图 1-2 所示为磨削腰形外套的靠模夹具。工件在夹盘 1 和菱形销 2 中定位，并用螺钉 4 与钩形压板 3 夹紧。主轴 9 由花键轴 5 经联轴器 6、转盘 7、8 传动。它安装在滑座 14 中，并可沿着底座 15 的燕尾形导轨移动。滑座 14 由拉簧 13 使靠模凸轮 10 紧靠在支承 12 的滚动轴承 11 上（支承由夹紧块 16 锁紧）。当主轴旋转时，由于靠模凸轮的曲线起伏，主轴随滑座作横向有规则的运动，磨出工件的椭圆成型面。其型面的形成是由圆周进给

腰形外套的等加速曲线的极坐标值

表 1-1

角度值 φ (度)	半径值 ρ (毫米)	角度值 φ (度)	半径值 ρ (毫米)
0°	43	27°	45.00
3°	43.0256	30°	45.49
6°	43.1026	36°	45.859
9°	43.233	39°	46.44
12°	43.41	42°	46.65
15°	43.641	45°	46.80
18°	43.923	48°	46.94
21°	44.257	51°	46.98
24°	44.62	53°	47.00
26°29'	44.992		

运动和径向进给运动合成的。其中圆周进给运动由内圆磨床的头架传动，称为基本进给运动；另一进给称为辅助进给运动，其进给量的大小和方向是由靠模凸轮控制的。

靠模装置的主要零件是靠模凸轮，它的工作面是根据工件型面以及进给运动的方式来设计的。设计的方法有图解法和计算法两种。

图解法的具体步骤为：

- (1) 选择砂轮和滚轮的尺寸。本例选择 $\phi 22$ 毫米；
- (2) 准确地绘出工件加工表面的外形，如图 1-3 中的 A 曲线；
- (3) 以工件加工时的回转中心 O 为起点作等分角度的射线；
- (4) 在各射线上取一点，以砂轮半径为半径作与工件外形相切的圆，并用光滑的曲线将各圆心连接起来，此曲线即为砂轮轴心的轨迹，见图 1-3 中的 B 曲线；
- (5) 设砂轮轴线与滚轮轴线的中心距 $K=25$ 毫米，以砂轮各瞬间中心为起点在各条射线上量取距离为 25 毫米的点，再以这些点为中心，以滚轮半径为半径作圆；并用光滑的曲线将这些圆心连接起来，此曲线即为滚轮轴心的轨迹，见图 1-3 中的 D 曲线；而切于各圆的光滑曲线即为靠模的工作面，见图 1-3 中的 C 曲线。

计算法是把与砂轮各个位置相应的滚轮中心坐标算出来，然后以滚轮半径为半径，以各坐标点为圆心作圆弧，并作出这些圆弧的包络线，此线即为靠模工作面。图 1-4 所示为用计算法求得的靠模工作面每隔 3° 的极坐标尺寸。

二、成型范成磨削法

成型范成磨削法是一种高精度的成型磨削方法，它使用的加工设备简单，操作简便。常用于球面的磨削。砂轮通过修整可以得到一个精确的磨削圆，故当工件相对回转时，即可范成一个球面型体。

图 1-5 所示为在 M131W 万能外圆磨床上加工球轴外表面的情况。磨削时，将砂轮架旋转 90° ，用杯形砂轮作横向切入磨削。由于工件直径较大，为了降低工件的线速度，需要增加一套减速装置，使头架转速降为 $0.1\sim 36$ 转/分，以提高磨削光洁度。采用成型范成法加工时，砂轮的端面不能与轴颈接触，砂轮内直径 D_K 按下式计算

$$D_K = 2L + 2c$$

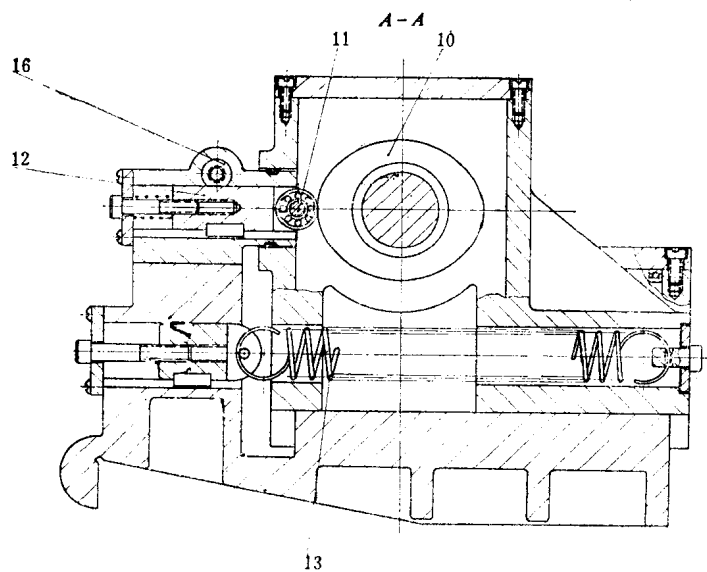
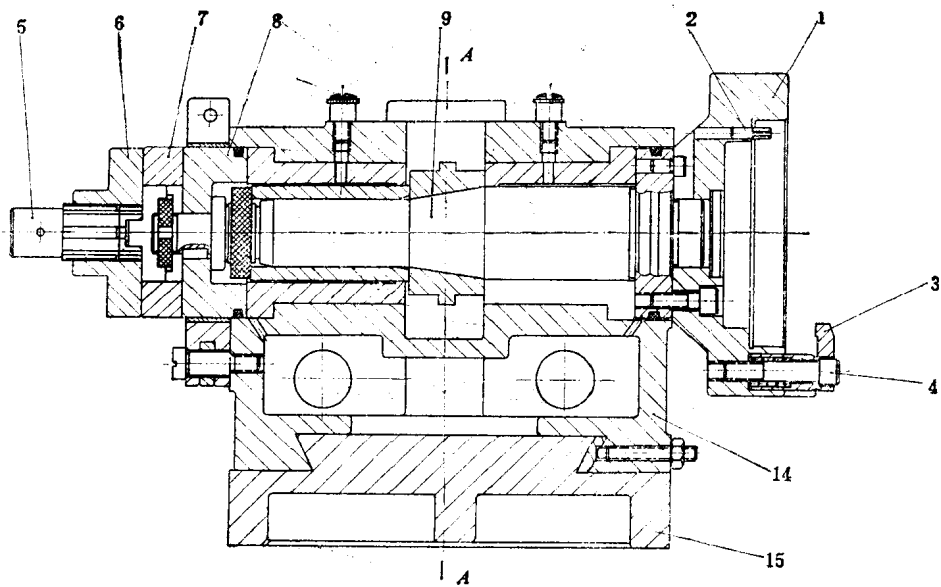


图 1-2 磨削腰形外套的靠模夹具

1—夹盘；2—菱形销；3—钩形压板；4—螺钉；5—花键轴；6—联轴器；7、8—转盘；9—主轴；
10—靠模凸轮；11—滚动轴承；12—支承；13—拉簧；14—滑座；15—底座；16—夹紧块

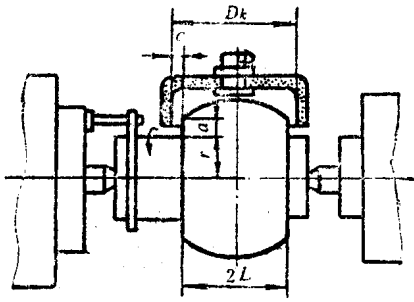


图 1-5 球轴的磨削方法

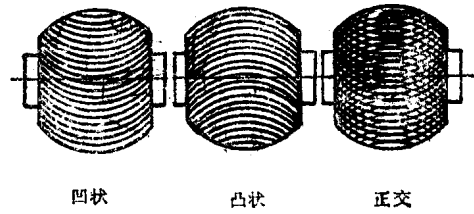


图 1-6 磨削花纹

$$c = \frac{a(a+r)}{2L}$$

式中 L ——球台宽度的一半;
 r ——轴半径;
 a ——球台高度;
 c ——空隙;
 D_k ——砂轮内直径;
 $2L$ ——球台宽度。

按成型原理要求, 要使砂轮与工件轴线保持严格等高, 以保证球面的圆度。磨削时, 可根据磨削花纹的形状来判断砂轮与工件两中心的等高误差。如图 1-6 所示, 如果在被磨削表面上出现凸状花纹时, 说明砂轮的下半周参加磨削, 这时砂轮的轴心高于工件中心; 如果出现凹状花纹, 则只是砂轮的上半周参加磨削, 这时砂轮轴心低于工件中心; 当花纹为正交网纹时, 说明两轴中心近似等高。

根据正交花纹的深浅情况, 可以分辨出不等高的精度为 0.003~0.004 毫米。

三、成型夹具磨削法

(一) 用正弦分度夹具磨削

正弦分度夹具的外形如图 1-7 所示, 主要由后顶尖座 1、前顶尖座 2、正弦分度盘 3 和回转部分 4 组成。夹圈 5 用来固定鸡心夹头。正弦分度盘上带有四个 20 毫米的精密圆柱, 在圆柱与垫板之间垫以一定尺寸的块规, 使主轴回转所需的角度。其计算原理如下 (图 1-8):

$$H_1 = P - (100 \sin \alpha + 10)$$

$$H_2 = P + (100 \sin \alpha - 10)$$

式中 α ——需要回转的角度;
 P ——夹具主轴中心至垫板间的距离, 此尺寸为一已知数;
 H_1, H_2 ——块规垫高尺寸。

在磨削过程中, 通常采用比较法, 以夹具主轴的中心为基准来测量各磨削面的尺寸, 因此需要有一个与夹具中心精确地保持一定距离的基面, 在此基面上垫以一定高度的块

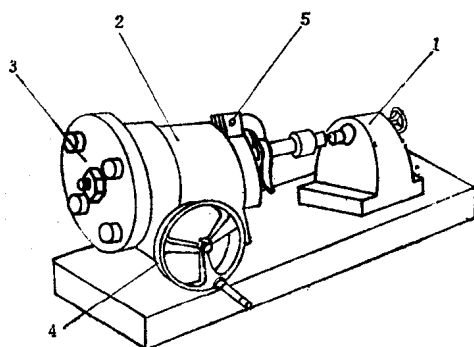


图 1-7 正弦分度夹具

1—后顶尖座；2—前顶尖座；3—正弦分度盘；
4—回转部分；5—夹圈

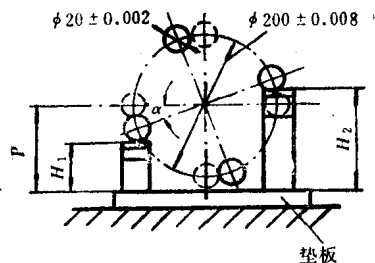


图 1-8 回转角度的控制

规来测量各磨削面。图 1-9 中所示的测量调整器就是起这个基面作用的工具。它由呈三角形的精密基体 1 和测量平台 2 组成。测量平台能沿着基体斜面上的 90° V 型槽移动，当 A 面调整到一定位置时，用螺母 3 锁紧。一般将 A 面调在低于夹具中心 50 毫米的位置上。

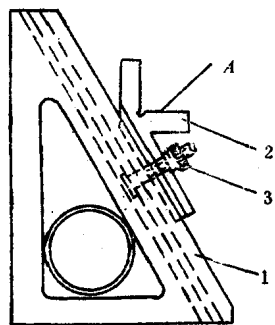


图 1-9 测量调整器

1—基体；2—测量平台；3—螺母

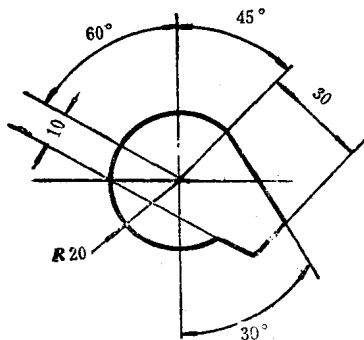


图 1-10 磨削零件

此种夹具可用来磨削由直线与圆弧相连接的各种零件，现举一例简述磨削的方法。零件的加工尺寸见图 1-10，其磨削步骤如下：

(1) 利用鸡心夹头将零件安装在夹具的两顶针之间，并校正分度盘上 1、3 两圆柱的中心连线与垫板底面平行，使零件的 A 面处于水平位置。然后磨削 A 面，使其至夹具中心的距离为 20 毫米，见图 1-11(a)；

(2) 转动分度盘，使其 2、4 两圆柱的中心连线与水平线成 15° 夹角，磨削另一平面，使其至夹具中心的距离为 30 毫米，见图 1-11(b)；

(3) 转动分度盘，使 1、3 两圆柱的中心连线与水平线成 30° 夹角，磨削第三个平面至所需的尺寸(10 毫米)，见图 1-11(c)；

(4) 回转主轴并控制其回转角度的范围来磨削 $R 20$ 毫米的圆弧，见图 1-11(d)。

(二) 用万能夹具磨削

万能夹具的外形如图 1-12 所示，主要由装夹部分 1、坐标部分 2、回转部分 3 及分度部分 4 组成。坐标部分用来调整被磨削零件的回转中心与夹具主轴中心重合。回转部分

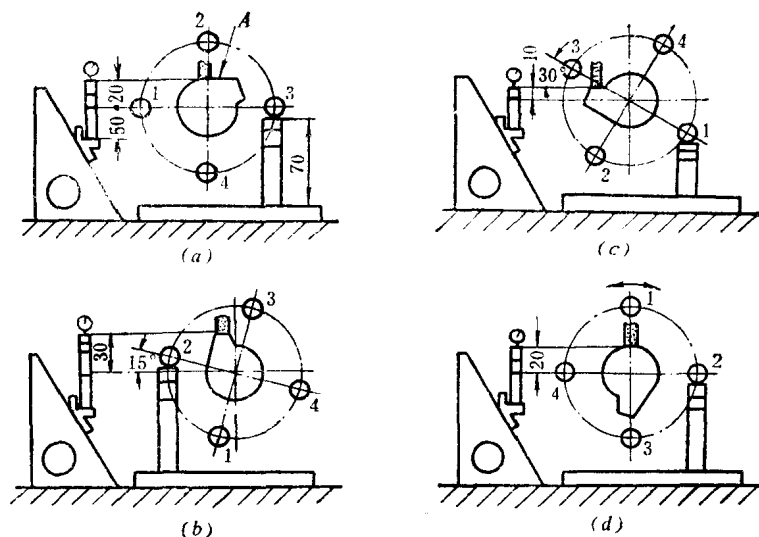


图 1-11 夹具调整示意图

是通过一对蜗轮、蜗杆使坐标部分连同被磨削的零件绕夹具轴线回转。分度部分的用途与正弦分度夹具的相同。装夹部分用来安装被磨削的零件。当磨削形状封闭的零件时，用螺钉装夹，此时零件端面制有工艺螺孔，见图1-13(a)。当磨削形状不封闭的零件时，用平口钳装夹，见图1-13(b)。

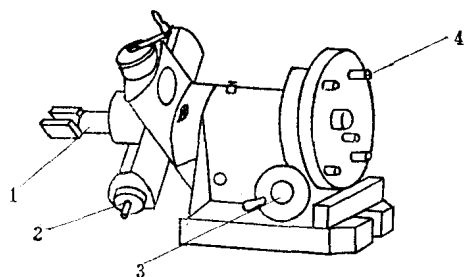
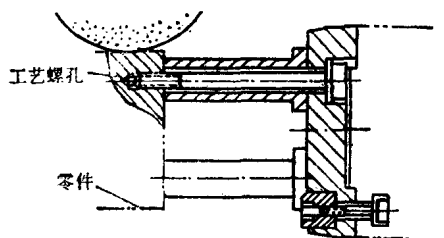
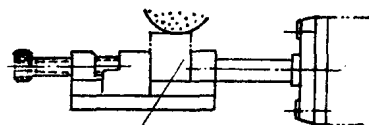


图 1-12 万能夹具

1—装夹部分；2—坐标部分；3—回转部分；
4—分度部分



(a)



(b)

图 1-13 工件的装夹方法

此种夹具可磨削更复杂的成型表面。图1-14为一磨削实例，其磨削步骤如下：

- (1) 将零件用螺钉装夹，并校正零件的回转中心与夹具主轴中心重合，见图1-15(a)；
- (2) 磨削尺寸14毫米的平面，并用砂轮侧面靠磨R6的相切面，见图1-15(b)；
- (3) 将夹具回转180°，磨削尺寸35毫米的平面，见图1-15(c)；

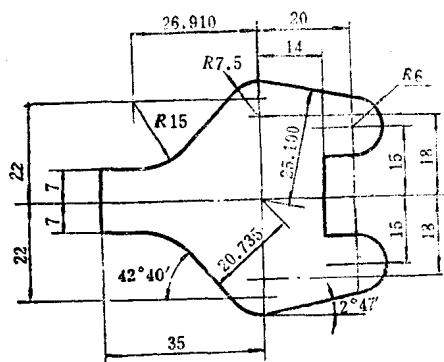


图 1-14 磨削零件

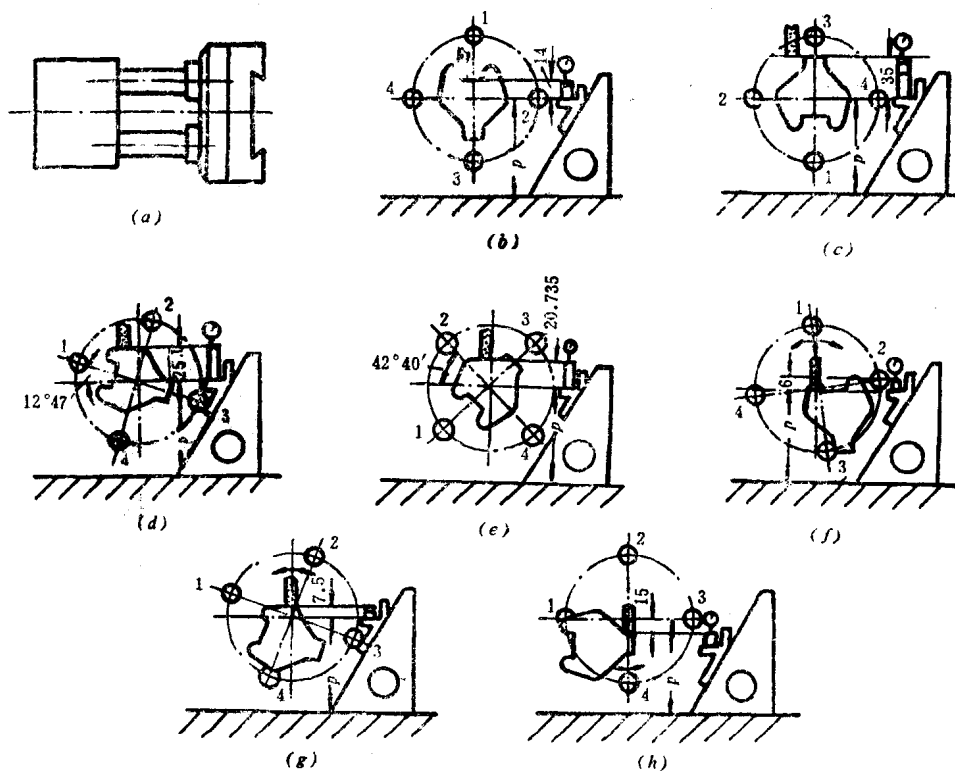


图 1-15 磨削步骤

(4) 转动分度盘, 使1、3两圆柱的中心连线与水平线成 $12^{\circ}47'$ 夹角, 磨削尺寸25.1毫米的两平面, 见图1-15(d);

(5) 转动分度盘, 使2、4两圆柱的中心连线与水平线成 $42^{\circ}40'$ 夹角, 磨削尺寸20.735毫米的两平面, 见图1-15(e);

(6) 将纵、横滑板移动15及20毫米, 使R6的中心与夹具中心重合, 回转夹具主轴并控制其回转角度的范围来磨削R6的凸圆弧, 见图1-15(f);

(7) 移动纵、横滑板, 使R7.5的中心与夹具中心重合, 转动夹具主轴并控制其回转角度的范围来磨削R7.5的凸圆弧, 见图1-15(g);

(8) 移动纵、横滑板, 使R15的中心与夹具的中心重合, 转动夹具主轴磨削R15的

凹圆弧及尺寸7毫米的平面，见图1-15(h)。

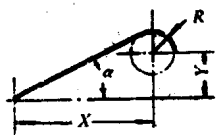
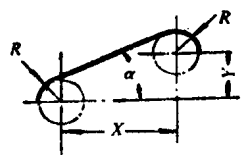
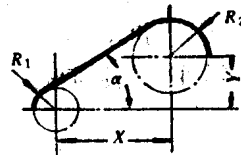
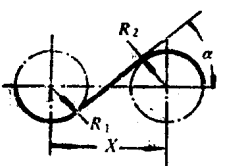
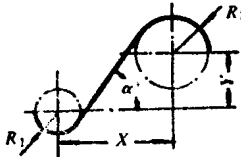
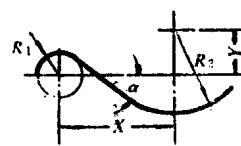
通常，图纸上的零件尺寸是按设计基准标注的。但是，成型磨削时所选用的工艺基准往往与设计基准不一致，因此要进行工艺尺寸的换算。经换算后，工艺图上必需具有下列尺寸：

- (1) 各圆弧面，圆弧中心之间的坐标尺寸；
- (2) 从一个已选定的中心（回转中心）至各平面的垂直距离；
- (3) 各斜面对坐标轴线的倾斜角度；
- (4) 各圆弧面的包角。

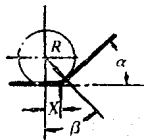
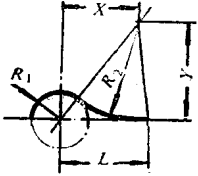
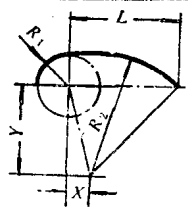
现将常见的几何图形的尺寸换算公式列于表 1-2 中，供换算时参考。

工艺尺寸换算

表 1-2

序号	图 形	已知条件	计 算 公 式
1		X, Y, R	$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y}{X} + \sin^{-1} \frac{R}{\sqrt{X^2 + Y^2}}$
2		X, Y, R	$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y}{X}$
3		X, Y, R_1, R_2	$R_2 > R_1$ 时 $\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y}{X} + \sin^{-1} \frac{R_2 - R_1}{\sqrt{X^2 + Y^2}}$ $R_2 < R_1$ 时 $\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y}{X} - \sin^{-1} \frac{R_2 - R_1}{\sqrt{X^2 + Y^2}}$
4		X, R_1, R_2	$\alpha = \sin^{-1} \frac{R_1 + R_2}{X}$
5		X, Y, R_1, R_2	$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y}{X} + \sin^{-1} \frac{R_1 + R_2}{\sqrt{X^2 + Y^2}}$
6		X, Y, R_1, R_2	$\alpha = \sin^{-1} \frac{R_1 + R_2}{\sqrt{X^2 + Y^2}} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y}{X}$

(续)

序号	图 形	已知条件	计 算 公 式
7		α, R	$X = R \cdot \tan \frac{\alpha}{2}, \beta = \alpha$
8		$L, R_1, R_2,$	$X = \frac{L}{2} + \frac{(R_1 + R_2)^2 - R_2^2}{2L}$ $Y = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 - X^2}$
9		R_1, R_2, L	$X = \frac{L}{2} + \frac{(R_2 - R_1)^2 - R_2^2}{2L}$ $Y = \sqrt{(R_2 - R_1)^2 - X^2}$

第二节 薄片、薄壁零件的磨削

在磨削薄片、薄壁零件时，用一般的机械装夹方法往往难以满足零件的精度要求。因为这些零件的刚度很差，只要稍微受力就会产生很大的变形。同时，薄片、薄壁零件对磨削热很敏感，通常也会产生很大的热变形。为解决这类零件的变形问题，操作者应特别注意改进零件的装夹方法和磨削工艺。

一、精密薄壁套的磨削

图1-16所示为一精密薄壁套，要求 $\phi 98H6$ 孔的圆度为0.005毫米，其工艺过程如下：

- (1) 粗车内外圆；
- (2) 热处理：除应力；
- (3) 精车内外圆；
- (4) 热处理：淬硬至HRC62；
- (5) 平磨二端面，其平行度允差为0.02毫米；
- (6) 粗磨 $\phi 98H6$ 孔；
- (7) 粗磨 $\phi 104$ 外圆；
- (8) 热处理：除应力；
- (9) 平磨二端面，其平行度允差为0.01毫米；
- (10) 研磨 $\phi 103.5$ 端面，其平面度允差为0.003毫米；