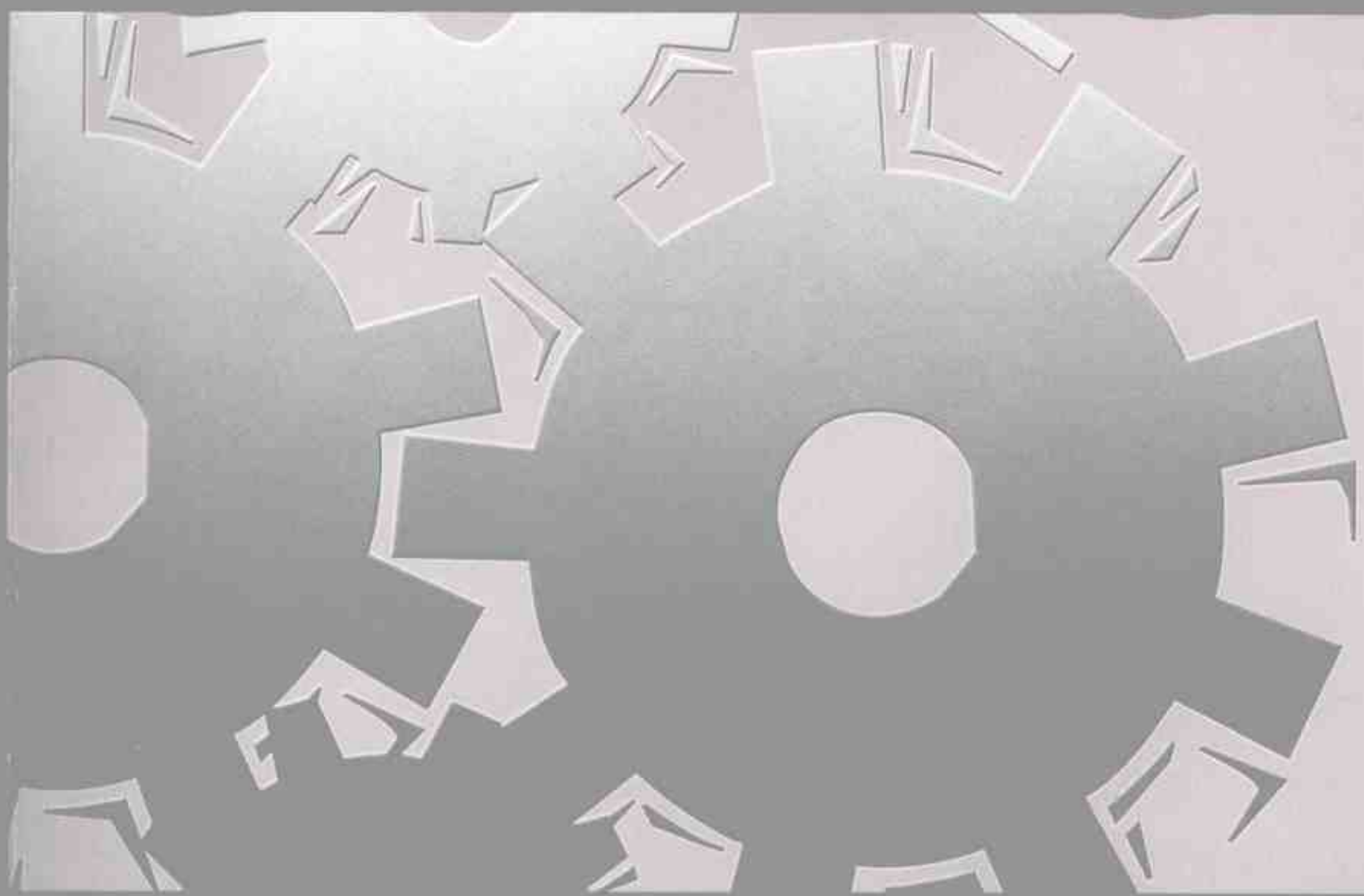




机械类

高级技工学校、技师学院教材
高级工培训教材

高级磨工工艺与技能训练



中国劳动社会保障出版社

机械类

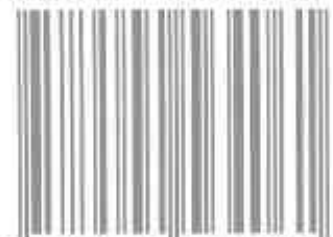
高级技工学校、技师学院教材
高级工培训教材

专业数学（第二版）
机械制图（第二版）
计算机应用技术
极限配合与技术测量（第三版）
机构与零件（第三版）
液压技术（第三版）
金属切削原理与刀具（第三版）
机械制造工艺与装备（第二版）
机床夹具（第三版）
机床电气控制

数控技术
高级车工工艺与技能训练
高级钳工工艺与技能训练
高级铣工工艺与技能训练
高级焊工工艺与技能训练
模具制造工艺与技能训练
高级机修钳工工艺与技能训练
高级磨工工艺与技能训练
高级冷作工工艺与技能训练

策划编辑/姜华平 责任编辑/吴 岚 责任校对/马 维 封面设计/刘林林 版式设计/沈 悦

ISBN 978-7-5045-6406-1



9 787504 564061 >

定价: 21.00元

机械类 高级技工学校、技师学院教材
高级工培训教材

高级磨工工艺与技能训练

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

高级磨工工艺与技能训练/郁枫主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2007
机械类 高级技工学校、技师学院教材 高级工培训教材

ISBN 978 - 7 - 5045 - 6406 - 1

I. 高… II. 郁… III. 磨削 - 技工学校 - 教材 IV. TG58

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 101723 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

*

北京金明盛印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.5 印张 295 千字

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

定价: 21.00 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 - 64954652

前言

进入 21 世纪以来,我国现代制造业迅速发展,随着技术创新和市场需求,对产品的加工工艺要求越来越高,但劳动者素质偏低,技能人才,尤其是高级技能人才匮乏已成为制约我国制造业发展的突出问题。为了解决这一矛盾,2005 年国务院颁发了《国务院关于大力发展职业教育的决定》,确立了“力争用 5 年时间,在全国新培养 190 万名技师和高级技师,新培养 700 万名高级技工,并带动中级和初级技能劳动者队伍梯次发展”的目标。

正是在这样的形势下,为推进我国职业教育建设,加强各类高素质高技能专门人才的培养,我们组织修订了 1999 年以来出版的高级技工学校教学及高级工培训的机械类教材,并在此基础上开发了一些新教材。本套教材包括《专业数学(第二版)》《机械制图(第二版)》《计算机应用技术》《极限配合与技术测量(第三版)》《机构与零件(第三版)》《液压技术(第三版)》《金属切削原理与刀具(第三版)》《机械制造工艺与装备(第二版)》《机床夹具(第三版)》《机床电气控制》《数控技术》《高级车工工艺与技能训练》《高级钳工工艺与技能训练》《高级铣工工艺与技能训练》《高级焊工工艺与技能训练》《模具制造工艺与技能训练》《高级机修钳工工艺与技能训练》《高级磨工工艺与技能训练》《高级冷作工工艺与技能训练》,以后我们还将陆续开发其他教材。

在这套教材的编写过程中,我们始终坚持了以下基本原则:

一是从生产实际出发,合理安排教材的知识和技能结构,突出技能性培养,摒弃“繁难偏旧”的理论知识。二是以国家相关职业标准为依据,确保在知识内容和技能水平上符合国家职业鉴定标准。三是引入新技术、新工艺的内容,反映行业的新标准、新趋势,淘汰陈旧过时的技术,拓宽专业技术人员的知识眼界。四是在结构安排和表达方式上,强调由浅入深,循序渐进,力求做到图文并茂。

本套教材的编写工作得到了湖南、江苏、广东、河北、黑龙江等省劳动和社会保障厅及有关学校的大力支持,在此表示衷心的感谢。

《高级磨工工艺与技能训练》共分八单元,分别为磨削原理与基本功训练,轴、套类零件的磨削,畸形、复杂件的磨削,特殊材料的磨削,数控磨削知识介绍,磨床的一般故障和

机床精度检验，高级磨工技能练习题与试题精选，技师论文写作与答辩。主要内容选用了有代表性的畸形、复杂件等难加工工件作为训练示范，从工件加工前的工艺分析到设计加工工序、拟订加工方法，直至完工后重要部位的检验等每一步“手把手”地教，着重提高学生的操作技能及“动手”的应变能力。

本书在编著过程中，得到了江苏无锡技师学院、江苏无锡威孚集团有限公司、无锡开源机床集团有限公司（无锡机床厂）、中国南车集团株洲电力机车有限公司技师协会的大力支持，在此一并表示深切的谢意！

本书由郁枫主编，晏丙午任副主编，参编的有孙大俊、陆魏、薛晓春、蒙柱田等；由许菊若审稿。

劳动和社会保障部教材办公室

2007年8月

目 录

第一单元 磨削原理与基本功训练	(1)
课题一 磨削原理	(1)
课题二 工件的工艺分析	(7)
课题三 工件的装夹	(11)
课题四 精密量具及其测量方法	(16)
复习思考题	(25)
第二单元 轴、套类零件的磨削	(27)
课题一 细长光轴的磨削	(27)
课题二 锥轴的磨削	(37)
课题三 钻床主轴的磨削	(44)
课题四 台阶套的磨削	(50)
课题五 深孔套的磨削	(56)
课题六 车床尾座套筒的磨削	(61)
课题七 无心磨削简介	(64)
课题八 低表面粗糙度值及高精度磨削	(75)
复习思考题	(87)
第三单元 畸形、复杂件的磨削	(89)
课题一 V形架的磨削	(89)
课题二 偏心轴的磨削	(97)
课题三 薄壁、薄片零件的磨削	(103)
课题四 畸形类零件的磨削	(113)
课题五 铣刀的磨削	(124)
复习思考题	(133)
第四单元 特殊材料的磨削	(134)
课题一 硬质合金的磨削	(134)

课题二 不锈钢、高速钢和钛合金材料的磨削·····	(136)
复习思考题·····	(139)
第五单元 数控磨削知识介绍·····	(140)
复习思考题及操作练习题·····	(149)
第六单元 磨床的一般故障和机床精度检验·····	(152)
复习思考题及操作练习题·····	(160)
第七单元 高级磨工技能练习题与试题精选·····	(161)
第一部分 高级磨工技能练习题·····	(161)
第二部分 高级磨工技能试题·····	(168)
第八单元 技师论文写作与答辩·····	(182)
课题一 学术论文写作·····	(182)
课题二 论文的答辩·····	(192)

第一单元

磨削原理与基本功训练

课题一 磨削原理

一、磨削运动与磨削用量

1. 磨削加工的运动

磨削加工是用磨具以较高的线速度对工件表面进行加工的方法，通常是在磨床上用砂轮对工件进行切削，使工件在尺寸、形状和位置精度以及表面粗糙度等方面都能达到图样要求。它是一种精加工方法。同其他金属切削加工一样，磨削时需要有主运动和进给运动。

磨削加工的方法很多，但不论哪一种磨削方法，砂轮都必须做高速旋转才能在工件上切下切屑，该运动就是磨削加工的主运动。使新的金属层不断地投入切削，直至切削出整个加工表面的运动称为进给运动。例如，磨削过程中工件的旋转、工件沿轴线的往复直线运动、砂轮相对工件的移动等。

2. 磨削用量

磨削过程中，砂轮和工件做各种运动时的参数统称为磨削用量，也称为切削用量。以外圆磨削为例，其切削用量包括砂轮圆周速度（即线速度） $v_{\text{砂}}$ 、工件圆周速度 $v_{\text{工}}$ 、工件的纵向进给量 f 和砂轮的横向进给量 a_p （背吃刀量）四个参数。

（1）砂轮圆周速度 砂轮外圆表面任意一点在单位时间内经过的路程称为砂轮圆周速度 $v_{\text{砂}}$ ，其计算公式为：

$$v_{\text{砂}} = \frac{\pi D_{\text{砂}} n_{\text{砂}}}{1\,000 \times 60} \quad (\text{m/s})$$

式中 $D_{\text{砂}}$ ——砂轮直径，mm；

n ——砂轮转速，r/min。

砂轮圆周速度表示砂轮外圆表面上磨粒的磨削速度，故称为磨削速度。磨削速度很高，其最大值取决于砂轮结合剂的种类和磨床刚度，一般为 30 ~ 35 m/s。

（2）工件圆周速度 磨削外圆和内孔时，工件被磨削表面上任意一点在单位时间内所走过的路程称为工件圆周速度 $v_{\text{工}}$ ，其计算公式为：

$$v_{\text{工}} = \frac{\pi d_{\text{工}} n_{\text{工}}}{1\,000} \quad (\text{m/min})$$

式中 $d_{\text{工}}$ ——工件直径，mm；

$n_{\text{工}}$ ——工件转速，r/min。

工件圆周速度比砂轮圆周速度低得多,一般为 5~30 m/min。

在实际生产中,工件直径是已知的,工件圆周速度可根据加工条件选定,要计算的是工件转速。由上式可得:

$$n_{\text{工}} = \frac{1000v_{\text{工}}}{\pi d_{\text{工}}} \approx \frac{318}{d_{\text{工}}} \text{ (r/min)}$$

(3) 纵向进给量和纵向进给速度 工件每转一转相对于砂轮在纵向进给运动方向上所移动的距离称为纵向进给量 f 。其大小以砂轮宽度的百分数表示,纵向进给量通常为:

$$f = (0.2 \sim 0.8) B \text{ (mm/r)}$$

式中 B ——砂轮宽度, mm。单位时间内,工件相对于砂轮在纵向进给运动方向上所移动的距离称为纵向进给速度 $v_{\text{纵}}$ 。

纵向进给量和纵向进给速度的关系是:

$$v_{\text{纵}} = \frac{fn}{1000} \text{ (m/min)}$$

式中 n ——工件转速, r/min。

(4) 横向进给量 工作台在每次行程终了时,砂轮在横向进给运动方向上移动的距离称为横向进给量 a_p , 其计算公式为:

$$a_p = \frac{(d_{\text{工1}} - d_{\text{工2}})}{2} \text{ (mm)}$$

式中 $d_{\text{工1}}$ ——横向进给前工件的直径, mm;

$d_{\text{工2}}$ ——横向进给后工件的直径, mm。

横向进给量很小,磨削外圆时一般取 0.005~0.05 mm 左右。精磨时取小值,粗磨时取大值。如图 1—1 所示为纵向进给量和横向进给量示意图。

二、磨削过程与磨屑厚度

1. 磨屑形成的过程

砂轮是由许多呈不规则排列状的磨粒用结合剂粘结在一起,用类似于制造陶瓷的工艺制作而成的。由于磨粒是天然的或人造矿物结晶块,经机械破碎而成碎粒,其形状是具随机性质的多面体。磨粒的每个棱角都可看做是一个切削刃,顶尖角大致为 $90^\circ \sim 120^\circ$,尖端是半径为几微米至几十微米的圆弧。磨粒在磨削时有较大的负前角,其平均值为 -60° 左右。

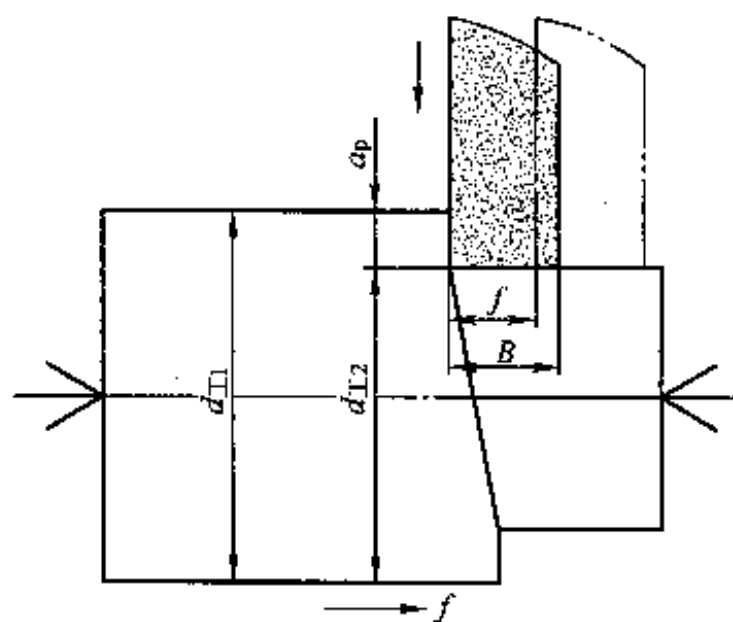


图 1—1 纵向进给量和横向进给量示意图

磨削时由于磨粒切入工件的表面深浅不同,磨削时砂轮的磨粒分别具有切削(见图 1—2a)、刻划(见图 1—2b)和抛光(见图 1—2c)三种功能,砂轮磨粒磨削示意图如图 1—2 所示。

磨粒的切削过程可分为三个阶段。

(1) 滑擦阶段 磨粒开始挤入工件,滑擦而过,工件表面产生弹性变形而无切屑。

(2) 刻划阶段 随着磨粒挤入深度加大,工件产生塑性变形,形成沟槽,磨粒两侧和前端堆高隆起。

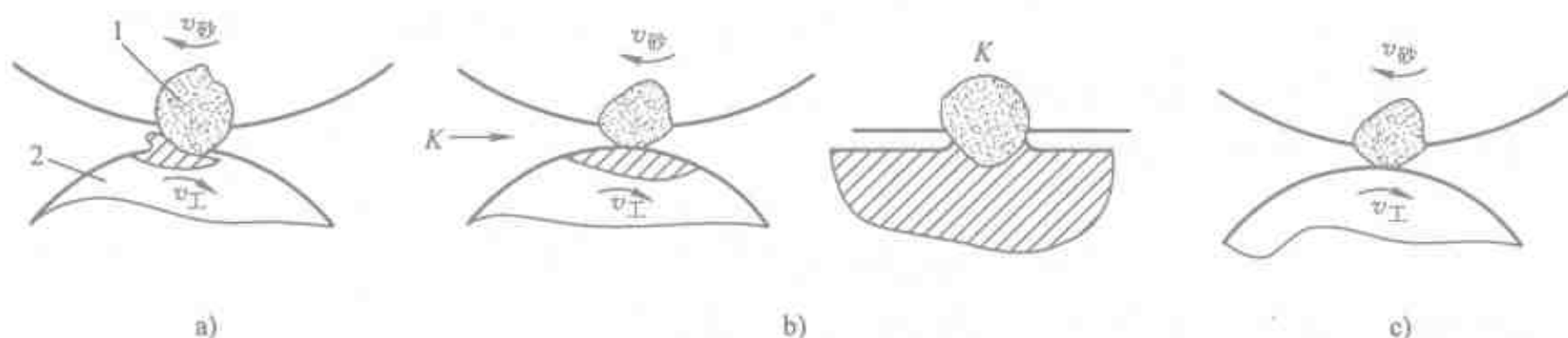


图 1—2 砂轮磨粒磨削示意图

a) 切削 b) 刻划 c) 抛光

1—砂轮磨粒 2—工件

(3) 切削阶段 切入深度继续增大，温度达到或超过工件材料的临界温度，部分工件材料明显地沿剪切面滑移而形成磨屑。根据磨削条件不同，磨粒切削过程的三个阶段可以全部存在，也可以部分存在。如在磨削时，由于磨粒在砂轮表面分布的高度很不规则，其中较锋利且位置较突出的磨粒获得较大的切削厚度，在工件表面起切削作用，形成切屑，其形状有带状切屑、节状切屑和一些熔化后烧尽了的切屑灰烬。

有些磨粒较钝或位置较低，磨削时单个磨粒的切削厚度较小，不能形成切屑。磨粒只能在工件表面上刻划出痕迹，而工件材料则被挤向磨粒的两侧而隆起，存在前两个阶段。

还有一些磨粒由于位置更低，它既不切削也不刻划工件，只是与工件表面产生滑擦。由于磨削速度很高，这种滑擦会产生很高的温度，可引起工件表面烧伤、裂纹等缺陷。

通过分析，磨粒在磨削过程中对工件起切削、刻划和滑擦作用。在磨削过程中，可根据砂轮特性，冷却、润滑条件和磨料的性能来合理选择磨削力和磨削温度，从而提高磨削表面质量和磨削效率。

2. 磨屑厚度

(1) 单颗磨粒的磨屑厚度 磨削时，磨粒的切削厚度对磨削力、功率、磨削热、表面粗糙度及砂轮钝化等都有很大的影响，但是磨削过程相当复杂，要确定磨粒的实际磨屑厚度是很困难的。目前常用“单颗磨粒的磨屑厚度”这一概念来表达磨削厚度。为便于分析计算，可假设砂轮表面的磨粒尖端是前后对齐的，并均匀分布在砂轮的圆周和宽度方向上，磨粒切入时无滑动。

如图 1—3 所示为磨削外圆时的运动示意图，在 t_m 时间内，切入工件的砂轮磨粒从 A 点

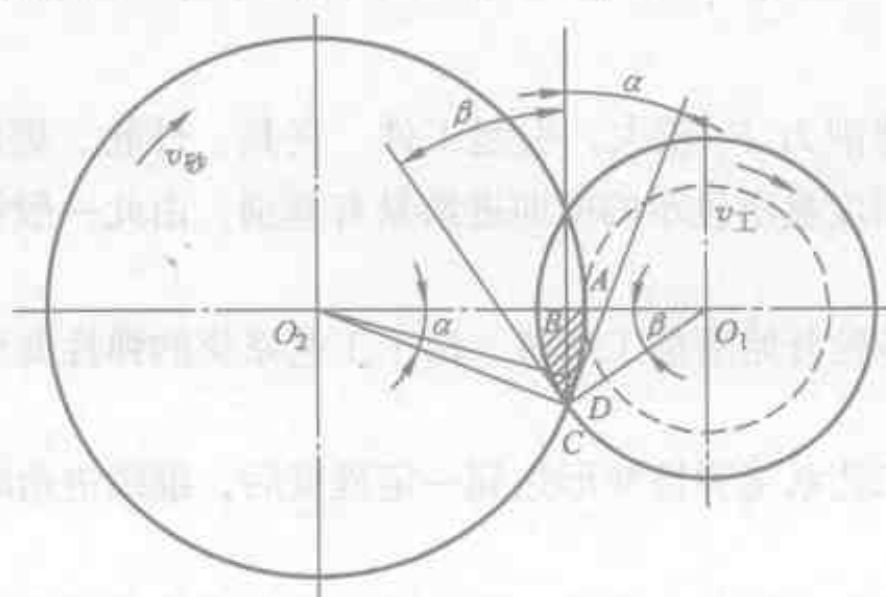


图 1—3 磨削外圆时的运动示意图

以速度 $v_{\text{砂}}$ (m/s) 转到 C 点, 同时工件上的 C 点以 $v_{\text{工}}$ (m/min) 转到 B 点。图中阴影部分面积 ABC 为砂轮圆弧 AC 上的磨粒磨去的金属层。

磨削外圆时单颗磨粒的最大磨屑厚度为:

$$a_{\text{cgmax}} = \frac{v_{\text{工}}}{30v_{\text{砂}}M} \times \sqrt{a_p \left(\frac{1}{D_{\text{砂}}} + \frac{1}{d_{\text{工}}} \right)}$$

通常以 a_{cgmax} 的 1/2 作为单颗磨粒的磨屑厚度, 即:

$$a_{\text{cg}} = \frac{v_{\text{工}}}{60v_{\text{砂}}M} \times \sqrt{a_p \left(\frac{1}{D_{\text{砂}}} + \frac{1}{d_{\text{工}}} \right)}$$

式中 $D_{\text{砂}}$ ——砂轮直径, mm;

$d_{\text{工}}$ ——工件直径, mm;

a_p ——磨削深度, mm;

M ——单位长度内磨粒数。

(2) 影响磨屑厚度的因素

1) 砂轮线速度 $v_{\text{砂}}$ 增大, 或工件圆周线速度 $v_{\text{工}}$ 、横向进给量 a_p 减小时, a_{cg} 将减小。

2) 砂轮或工件直径越大, 则 a_{cg} 越小。

3) 磨粒细的砂轮, 由于单位长度内磨粒数 M 多, 则 a_{cg} 较小。

4) 横向进给量 a_p 越大, 则 a_{cg} 越大。

由上述分析可知: 适当增大 $v_{\text{工}}$ 和 a_p 可提高磨削效率, 但会使工件表面质量下降。

(3) 磨屑厚度对加工的影响

1) 工件圆周线速度及横向进给量的增大可增大磨屑厚度, 从而提高磨削效率, 但会使工件表面粗糙度值加大并使砂轮的磨耗加快。

2) 砂轮圆周线速度的提高可减小磨屑厚度, 降低磨粒的负荷, 从而降低工件表面粗糙度值, 改善工件表面质量。

三、磨削力

一般来说, 磨削时的磨削深度较其他切削小得多, 但由于砂轮表层有许多磨粒同时工作, 且磨粒的工作前角很小, 因此磨削力相当大。同其他切削一样, 总磨削力可分解为三个分力 (见图 1—4), 即 F_z ——主磨削力或切向磨削力; F_y ——径向磨削力; F_x ——轴向磨削力。

1. 磨削阶段

磨削时, 由于径向磨削力 F_y 较大, 引起工件、夹具、砂轮、磨床系统产生弹性变形, 使实际磨削深度与磨床刻度盘所显示的横向进给量有差别, 由此一般将磨削过程划分为三个阶段:

(1) 初磨阶段 当砂轮开始磨削工件时, 由于工艺系统的弹性变形, 实际磨削深度小于刻度显示的横向进给量。

(2) 稳定阶段 当工艺系统弹性变形达到一定程度后, 继续进给时, 其实际磨削深度等于横向进给量。

(3) 清磨阶段 在磨去大部分余量后, 可以减小横向进给量或不进给再磨一段时间。此时由于工艺系统的弹性变形逐渐恢复, 实际磨削深度大于横向进给量。随着工件表面被逐层

磨去，实际磨削深度渐趋于零，磨削火花逐渐消失。

掌握了这三个阶段的规律，在开始磨削时，可采用较大的横向进给量，以提高效率；清磨阶段应无进给磨削，以提高磨削精度及工件表面质量。

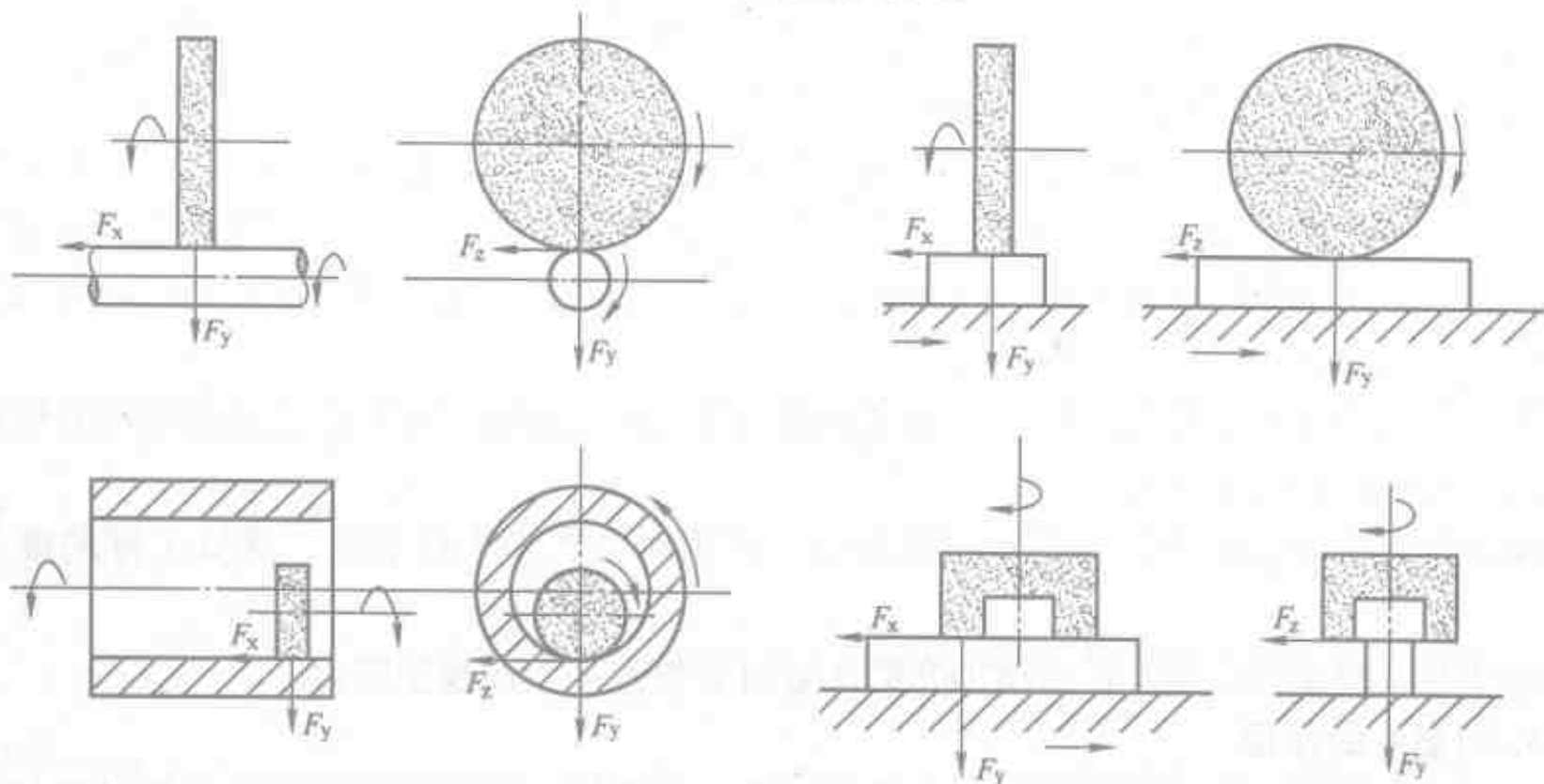


图 1—4 磨削力的分解

2. 磨削力对加工的影响及减小磨削力的方法

(1) 磨削时，轴向磨削力 F_z 很小，对加工的影响很小，一般不予考虑。

(2) 由于径向磨削力 F_y 较大，使磨床、工件和夹具产生的弹性变形也较大，故 F_y 对工件加工精度的影响也较大。尤其是在磨削细长轴时，容易产生弯曲变形，使工件产生腰鼓形等形状误差和多角形振痕以及较大的径向圆跳动误差。

(3) 切向磨削力 F_x 对加工的影响与 F_y 相仿，但影响的程度要小得多。

减小磨削用量，特别是减小砂轮径向切入深度可有效控制磨削力；增加砂轮的修整次数，保持磨粒的锋利，亦可减小磨削力，从而提高工件表面质量。

四、磨削热与切削液

1. 磨削热及其传导

磨削时由于切削速度很高，切削刃很钝，所以磨削时温度很高，磨削区域表层局部温度有时可达 $1\ 000^{\circ}\text{C}$ 以上。磨削热通过磨屑、工件、砂轮及介质（如切削液和空气等）传散出去。

磨削热的产生和传散可用下列方程式来表示：

$$Q_{\text{总}} = Q_{\text{变}} + Q_{\text{摩}} = Q_{\text{屑}} + Q_{\text{工}} + Q_{\text{砂}} + Q_{\text{介}}$$

式中 $Q_{\text{总}}$ ——磨削时产生的总热量；

$Q_{\text{变}}$ ——磨屑及工件表层金属塑性变形产生的热量；

$Q_{\text{摩}}$ ——砂轮磨粒与工件表层摩擦产生的热量；

$Q_{\text{屑}}, Q_{\text{工}}, Q_{\text{砂}}, Q_{\text{介}}$ ——通过磨屑、工件、砂轮及介质传散出去的热量。

2. 磨削热对加工的影响

(1) 烧伤 在瞬间高温作用下，磨削的工件表面（一般只有几十到几百微米深）常常发生不均匀退火，使表层变软（对淬硬钢）；或发生不均匀淬火，使表层变硬（对未淬硬钢）。

表面烧伤破坏了工件表层组织，影响工件的使用性能和寿命。严重烧伤时工件表面呈焦黄色或焦黑色；轻度烧伤痕迹则须经酸洗后才能显示。

避免烧伤的方法是减小砂轮的径向切入量并采取充分的冷却措施；选用硬度较低及组织较为疏松的砂轮；砂轮应及时修整；提高圆周进给速度和工件轴向进给量，以减少工件与砂轮的接触时间，降低磨削温度，可减轻或避免烧伤。

(2) 表面残余应力 磨削温度达到相变温度时，由于表层金相组织的变化引起表层组织的变化，因而产生表层应力。例如磨削淬硬的 45 钢，磨削温度达到相变温度时，表层发生回火，由马氏体变为索氏体或屈氏体，使体积缩小，表层被下层的马氏体牵制，结果表层产生残余拉应力，下层产生残余压应力。

即使没有达到相变温度，但由于表里的温差造成热胀冷缩以及工件表层的塑性变形也会使磨削层表面产生残余应力。

残余应力易使工件产生挠曲等形状误差，严重时会产生表面裂纹，降低工件的疲劳强度。

精磨时，减小进给量及适当增加光磨次数可有效减小表面残余应力。

3. 切削液的作用

切削液主要用来降低磨削热和减小磨削过程中的摩擦。切削液应根据工件的材料与加工要求、磨削条件及砂轮等条件选用，在选用时还应考虑对操作者的影响及其防腐性能。合理选择切削液，有利于降低工件的磨削热，减小工件的表面粗糙度值，提高砂轮的耐用度。切削液的作用有冷却、润滑、防锈、清洗。

4. 切削液的种类和应用

切削液的化学性能要稳定，不易变质，不应有毒性。切削液的 pH 值为中性，切削液除有冷却、润滑作用外，还应具有一定的透明度。常用切削液有油性切削液和水溶性切削液两大类。

(1) 油性切削液

- 1) 复合油 用于珩磨钢、铸铁、青铜、铝合金等材料。
- 2) 极压油（含有石油磺酸钡） 用于超精密磨削，可代替硫化油使用。
- 3) F—43 极压油（含有氧化石油脂钡皂） 用于磨削耐热钢、耐热合金钢及耐腐蚀钢。
- 4) 切削油 用于高速磨削，极压性能好，对防止局部烧伤退火有良好效果。

(2) 水溶性切削液 包括乳化液和化学合成液。

1) 乳化液 包括 69—1 乳化液、防锈乳化液、半透明乳化液、极压乳化液等，其用途如下：

- ① 69—1 乳化液用于磨削钢与铸铁。
- ② 防锈乳化液用于磨削黑色金属及光学玻璃。
- ③ 半透明乳化液用于精磨，配制时可加 0.2% 的苯乙醇胺。
- ④ 极压乳化液用于磨削黑色金属。

2) 化学合成液 包括 420 号切削液、H—1 精磨液、透明水溶液、101 切削液、苏打水等，其用途如下：

- ① 420 号切削液用于高速磨削与缓进给磨削。
- ② H—1 精磨液用于高精度磨床的精密磨削，也用于普通磨削，可代替乳化液和苏打水。

- ③透明水溶液用于无心磨床与外圆磨床。
- ④101 切削液可代替油性切削液及乳化液。
- ⑤苏打水用于黑色金属与有色金属的磨削。

课题二 工件的工艺分析

一、工件的工艺分析

产品加工质量的优劣，在很大程度上取决于加工工件时的工艺路线，而正确的工艺分析则为制定加工工艺提供了各种依据。因此，具有较高工艺分析能力是高级技术工人必须具备的基本素质之一。工件加工前的技术准备工作如图 1—5 所示。

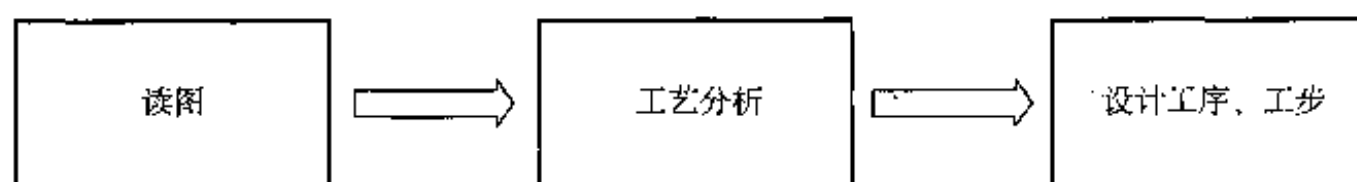


图 1—5 工件加工前的技术准备工作

1. 工艺分析的内容

工件的工艺分析主要从下列三方面进行：

(1) 工件图样的结构分析 根据工件图样对工件的结构特点及结构工艺性进行工艺分析和审查。工件的结构工艺性是否合理，则要看它在加工和装配过程中能否达到好造、好用、好修等要求。

(2) 工件精度和技术要求分析 分析并审查工件的尺寸精度、形状和位置精度、表面粗糙度、热处理等各项技术要求是否合理，如果要求过高，将会使工艺过程复杂，加工困难，成本提高。

(3) 加工工件的关键难点问题分析 在分析并了解了工件的结构、精度、技术要求、表面质量等各项要求后，找出工件加工过程中的关键难点问题，准确地选择各定位基准和装夹方法，拟订正确、切实可行的加工工艺路线，确保达到工件的精度、表面粗糙度和各项技术要求。

2. 工艺分析的方法

工件在进行磨削加工之前，应对其结构、各项技术要求进行分析，确定工件上每一被加工表面的加工方法和步骤，在分析中，找出此工件加工难度最大的关键问题，一项项地排列出来，然后对所排列的各项问题逐一提出解决的方法和措施，使其成为编制该工件加工工序和工步的主要依据。

(1) 定位基准的选择 合理地选择定位基准，对保证工件加工质量和确定加工顺序有着决定性的影响，因此，它是工艺分析的一项主要内容，是制定工艺路线时所要解决的主要问题。

1) 粗基准的选择 选择粗基准时主要考虑的问题是如何分配后面各工序中各加工表面的余量，如何确保工件加工好后壁厚均匀、外形美观，以及如何安排加工表面与非加工表面的相对位置等，因此，选择粗基准时应遵循以下原则：应选择面积大的、与主要加工表面有

关系的非加工表面作为粗基准；没有非加工表面时，应选择余量小、面积大的表面作为粗基准；粗基准只能使用一次。相对而言，磨削加工中使用粗基准的概率是较少的。

2) 精基准的选择 精基准用于中间工序和最终工序中，应采用工件已加工表面作为精基准，主要应考虑如何减小定位误差，提高定位精度。因此，选择精基准时应尽可能遵循以下原则：选择工件的设计基准作为定位基准，即基准重合原则；工件加工部位尽可能采用同一个定位基准，即基准统一原则；自为基准；互为基准；根据需要，可以人为地制造辅助基准。

上述每个原则都是说明一个方面的问题，但工件的形状、结构、精度、技术要求等各不相同，因此，在实际应用上述原则时，往往会出现相互矛盾的情况，这就要全面考虑，确保解决工件加工中的主要问题，灵活运用，避免生搬硬套。

(2) 磨削加工工序的设计 工艺路线确定后，必须进一步设计并确定磨削加工中每道工序的具体内容、具体要求、所选用的机床和工艺装备等。在此环节中，每道工序安排的加工工步是至关重要的。例如，工件有形位公差和较高尺寸精度要求时，在加工工步中，就应充分考虑工件因磨削力、磨削热和因加工工步不当所造成的形位公差和尺寸超差等因素。另外，设计工序和工步时还应依据生产类型（即大批、成批和单件生产）及工具和夹具情况进行综合考虑，使设计的工序、工步不但能满足工件加工技术要求，而且还能获得较高的生产率和较低的生产成本。

3. 设计工序和工步时应遵循的原则

(1) 严格遵循定位基准的选择原则，尽可能减小因基准位移和基准不重合所造成的误差。

(2) 磨削轴类零件时，对有形状、位置精度要求的工件，应尽可能在同一次装夹中完成加工。在工件余量和磨削加工条件允许的情况下，尽量一次装夹完成各有关加工表面的磨削。如两圆的径向圆跳动公差、孔与轴的同轴度公差等，在一次装夹中完成加工，能很轻松地达到图样中这些形位公差的要求；若需调头装夹时，必须增加用以保证形位精度的精基准、校正方法或通过夹具来加以补救。

(3) 先外后内的原则。对有配合要求的组合工件，应先磨削需配合的组合件外圆、外螺纹、外圆锥等基准工件，再磨削配合孔。其理由有二，一是加工外圆时便于检测及控制尺寸精度，二是可以用加工好的基准工件作为配对工件的塞规和检验用具，从而较方便、准确地控制配合精度。

(4) 先粗加工，去除大量余量的原则。当工件余量较大时，应先集中进行粗磨，特别是内孔的粗磨，然后再安排半精磨、精磨；这样可大幅度地减小因粗磨时产生的热效应而造成的工件热变形，同时还能提高生产率。

(5) 结合加工实际条件的原则。应结合生产批量、机床的特性和精度、夹具和量具等实际条件进行设计。切忌脱离现实，一味地盲目追求使用高精度设备和夹具来加工精度较低的工件。

二、工艺分析例题

试对图 1—6 所示的轴承套进行工艺分析。

1. 主要技术要求

如图 1—6 所示的轴承套的形状虽然不算复杂，但因其结构特点，给磨削加工带来很多

困难。因此，对轴承套的磨削加工进行充分的工艺分析是完成该产品加工的重要手段。

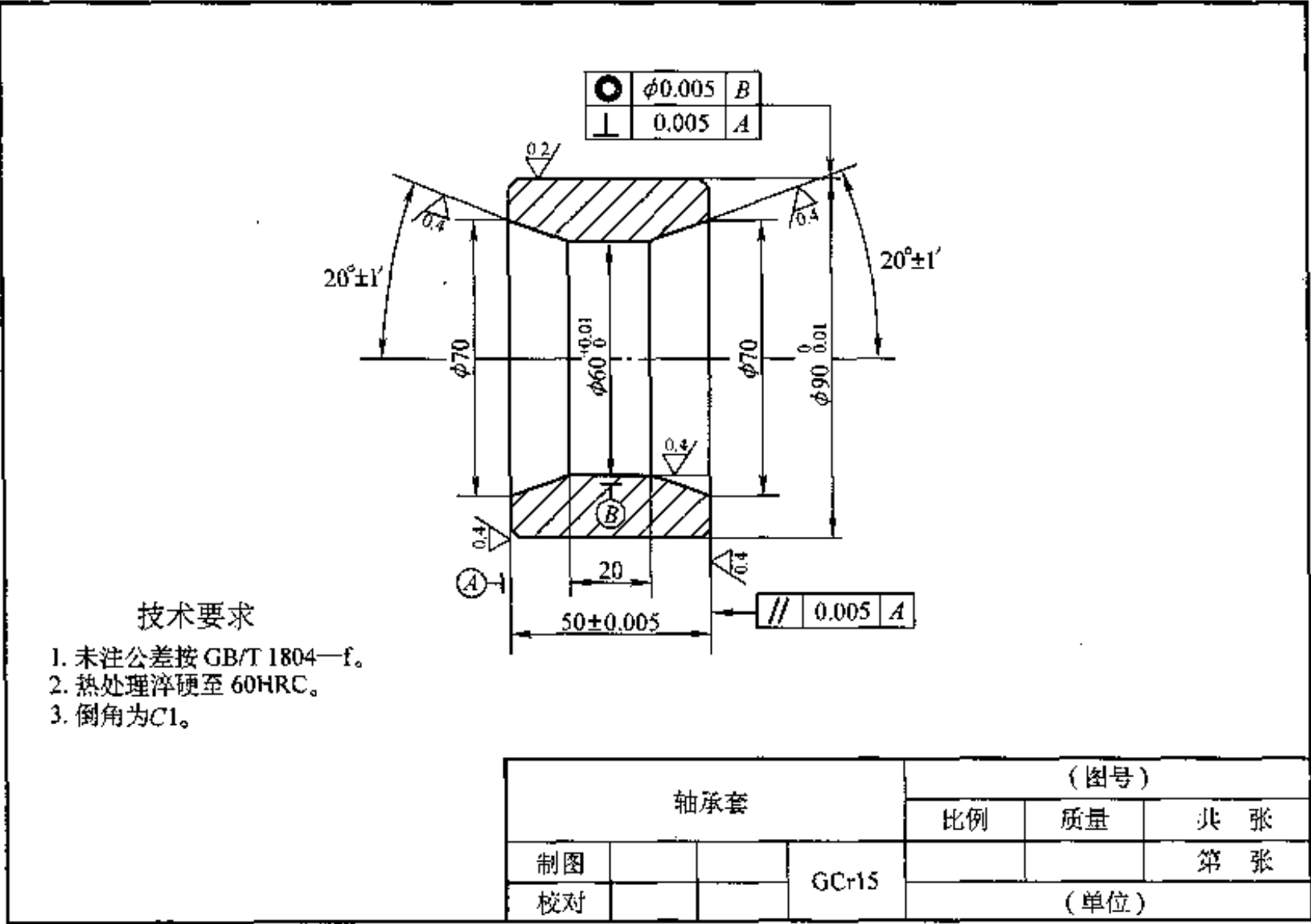


图 1—6 轴承套零件图

该轴承套的精度较高，尺寸精度要求有 3 处，分别是：外圆 $\phi 90_{-0.01}^0$ mm，内孔 $\phi 60_{+0}^{+0.01}$ mm，厚度 (50 ± 0.005) mm；形位公差要求有 3 处，分别是：厚度 (50 ± 0.005) mm 右端面相对于基准面 A（左端面）的平行度公差为 0.005 mm， $\phi 90_{-0.01}^0$ mm 外圆的轴线相对于 $\phi 60_{+0}^{+0.01}$ mm 内孔轴线的同轴度公差为 $\phi 0.005$ mm， $\phi 90_{-0.01}^0$ mm 外圆的轴线相对于基准面 A（左端面）的垂直度公差为 0.005 mm。

2. 工艺分析

如图 1—6 所示的轴承套已经进行了车削及热处理工序，现要在磨床上进行精密加工。按工艺要求，各尺寸均应留有 0.5 mm 左右的磨削余量。

(1) 基准的选择

1) 批量磨削 在平面磨床上磨削厚度尺寸 (50 ± 0.005) mm 时，首先选择任一端面作为粗基准，磨削另一端面见光，再以磨光的端面作为精基准，将厚度磨至尺寸。

2) 单件磨削 在万能外圆磨床上选择工件外圆为粗基准，用三爪自定心卡盘装夹工件。用外圆磨床砂轮的端面磨平工件端面（该端面将作为精基准 A），再用内圆磨具磨削内孔 $\phi 60_{+0}^{+0.01}$ mm 至尺寸，并以此作为磨削外圆的精基准。

(2) $\phi 90_{-0.01}^0$ mm 外圆的磨削 因 $\phi 90_{-0.01}^0$ mm 外圆的轴线相对于 $\phi 60_{+0}^{+0.01}$ mm 内孔轴线的同轴度误差应不大于 $\phi 0.005$ mm，如采用校正的方法是难以达到要求的。采用微锥心轴或普通心轴均能解决这一问题，微锥心轴适用于单件生产，普通心轴则适用于批量生产，如图 1—7 所示为用微锥心轴或普通心轴装夹工件。