

河南职业技术学院

国家示范性高职院校建设项目成果 机电一体化技术专业

机械制造工艺 规程制订

JIXIE ZHIZAO GONGYI GUICHENG ZHIDING

邵堃 苗志毅 主编



电子课件、习题解答



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

河南职业技术学院
国家示范性高职院校建设项目成果 机电一体化技术专业

机械制造工艺规程制订

主 编 邵 堃 苗志毅
参 编 冯金广 张永智 曹和平
主 审 肖 龙



机械工业出版社

本书是“国家示范性高职院校建设项目成果机电一体化技术专业”的教材。本书以机械制造工艺规程制订的工作过程为导向,以零件、部件、机器为载体,以工艺文件的制订为主线,设计了零件机械加工、部件装配、机器装配工艺规程制订3个学习情境。在零件机械加工工艺规程制订学习情境内设计了简单轴类零件、阶梯轴类零件、箱体类零件、盘套类零件、圆柱齿轮类零件机械加工工艺规程制订5个学习子情境。在每个学习情境或学习子情境中设计了一个完整的典型工作任务、确定情境学习目标、完成该情境工作任务的相关资讯和案例,同时附有该学习情境的工作实施单和学习评价单。

本书适用于高职高专学校的机电一体化技术专业、数控技术专业、机械制造及自动化专业等机械制造相关专业的教学,也适用于职大、电大的教学,并可供其他相关专业师生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺规程制订/邵堃,苗志毅主编. —北京:机械工业出版社,2011.1
国家示范性高职院校建设项目成果. 机电一体化技术专业
ISBN 978-7-111-33145-2

I. ①机… II. ①邵… ②苗… III. ①机械制造工艺-规程-制订-高等学校-教材
IV. ①TH16-65

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第010921号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王英杰 责任编辑:王英杰 韩冰

版式设计:霍永明 责任校对:刘志文

封面设计:路恩中 责任印制:乔宇

北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)

2011年3月第1版第1次印刷

184mm×260mm·19.75印张·487千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-33145-2

定价:36.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

序

三载寒暑，数易其稿，我院国家示范性高职院校建设成果之一——工学结合的系列教材终于付梓了，她就像一簇小花，将为我国高职教育园地增添一抹春色。我院入选国家示范性高职院校建设单位以来，以强化内涵建设为重点，以专业建设为龙头，以精品课程和教材建设为载体，与行业企业技术、管理专家共同组建专业团队，在课程改革的基础上，共同编著了30余部教材，涵盖了我院的机电一体化技术、电子信息工程技术、汽车检测与维修技术、烹饪工艺和营养四个专业的30余门专业课程。在保证知识体系完整性的同时，体现基于工作过程的基本思想，是本批教材探讨的重点。

本批教材是学院与行业企业共同开发的，适应区域、行业经济和社会发展的需要，体现行业新规范、新标准，反映行业企业的新技术、新工艺、新材料。教材内容紧密结合生产实际，融“教、学、做”为一体，力求体现能力本位的现代教育思想和理念，突出高职教育实践技能训练和动手能力培养的特色，注重实用性、先进性、通用性和典型性，是适合高职院校使用的理论和实践一体化教材。

本批教材由我院国家示范性重点建设专业的专业带头人、骨干教师与相关行业企业的技术、管理专家合作编写，这些同志大都具有多年从事职业教育和生产管理一线的实践经验，合作团队中既有享受国务院政府特殊津贴的专家、河南省“教师名师”，又有河南省教育厅学术技术带头人、国家技能大赛优胜者等。学院教师长期工作在高职教育教学一线，熟悉教学方法和手段，理论方面有深厚功底，行业企业专家具有丰富的实践经验，能够把握教材的广度和深度，设定基于工作过程的教学任务，两者结合，优势互补，体现“校企合作、工学结合”的主要精髓。相信这批教材的出版，将会为我国高职教育的繁荣发展做出一定贡献。

河南职业技术学院院长 王爱群

前 言

“基于工作过程系统化”的课程体系建设是国家示范性高职院校建设项目的重点建设内容，在河南职业技术学院国家示范性高职院校建设专业——机电一体化技术专业项目的建设过程中，我院教师组成课程开发团队，深入安阳鑫盛机床股份有限公司、郑州煤矿机械集团股份有限公司、郑州日新精工有限公司等中原地区机械制造企业走访、学习、调研，结合我院实际教学环境，共同进行了“机械制造工艺规程制订”学习领域的开发与设计，并在此基础上集体编写了本教材。

机械制造过程是一个复杂的系统工程，在学习领域的开发与设计中，以机械制造工艺规程制订的工作过程为导向，以零件、部件、机器为载体，以工艺规程的制订为主线，设计了零件机械加工工艺规程制订、部件装配工艺规程制订、机器装配工艺规程制订3个学习情境。在零件机械加工工艺规程制订学习情境内设计了简单轴类零件、阶梯轴类零件、箱体类零件、盘套类零件、圆柱齿轮类零件机械加工工艺规程制订5个学习子情境。在每个学习情境或学习子情境中设计了一个完整的典型工作任务、确定情境学习目标、完成该工作任务的相关资讯、案例，同时附有工作实施单和学习评价单。这样，通过逐一完成由简单到复杂、由零件制造到零件的装配、再到组装一台完整的机器的实际工作任务，达到每个阶段学习目标，进而完成“机械制造工艺规程制订”学习领域的学习目标。为后续专业学习领域和毕业后从事机械制造工作打下基础。

本书由河南职业技术学院邵堃、苗志毅任主编，冯金广、张永智、曹和平参加编写，其中，张永智、冯金广编写学习子情境1，邵堃编写学习子情境2、3，曹和平编写学习子情境4，苗志毅编写学习子情境5和学习情境2、3。全书由肖龙教授主审。

本书在编写过程中得到了安阳鑫盛机床股份有限公司、郑州煤矿机械集团股份有限公司、郑州日新精工有限公司等中原地区机械制造行业企业的支持，相关工程技术人员结合实际工作过程对编写内容提供了大量建设性的意见，付出了艰辛的劳动，本书的编写完成是学校教学团队和行业企业共同合作的成果。

本书配有电子教案，凡使用本书作为教材的教师，可登录机械工业出版社教材服务网 <http://www.cmpedu.com> 注册后下载。咨询邮箱：cmpgaozhi@sina.com，咨询电话：010-88379375。

同时，在本书的编写过程中，编者借鉴、参考和引用了教学过程中使用或参考教材的部分内容和其他书刊、资料的相关内容，在此对相关人员和作者一并表示衷心的感谢。

由于对“基于工作过程系统化”的课程建设认识的不足和业务水平局限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评并提出宝贵的意见。

编 者

目 录

序 前 言

学习情境1 零件机械加工工艺

规程制订 1

1.1 学习子情境1 简单轴类零件机械

加工工艺规程制订 1

1.1.1 工作任务 1

1.1.2 学习目标 1

1.1.3 任务资讯 2

1.1.4 任务实施 50

1.1.5 检查与评估 51

1.2 学习子情境2 阶梯轴类零件机械

加工工艺规程制订 52

1.2.1 工作任务 52

1.2.2 学习目标 52

1.2.3 任务资讯 53

1.2.4 任务实施 94

1.2.5 检查与评估 94

1.3 学习子情境3 箱体类零件机械

加工工艺规程制订 96

1.3.1 工作任务 96

1.3.2 学习目标 96

1.3.3 任务资讯 97

1.3.4 任务实施 173

1.3.5 检查与评估 175

1.4 学习子情境4 盘套类零件机械

加工工艺规程制订 176

1.4.1 工作任务 176

1.4.2 学习目标 176

1.4.3 任务资讯 177

1.4.4 任务实施 223

1.4.5 检查与评估 224

1.5 学习子情境5 圆柱齿轮类零件

机械加工工艺规程制订 225

1.5.1 工作任务 225

1.5.2 学习目标 225

1.5.3 任务资讯 226

1.5.4 任务实施 246

1.5.5 检查与评估 248

学习情境2 部件装配工艺规程

制订 249

2.1 工作任务 249

2.2 学习目标 249

2.3 任务资讯 250

2.3.1 概述 250

2.3.2 装配方法 254

2.3.3 装配尺寸链 256

2.3.4 装配工艺规程制订 266

2.3.5 圆柱齿轮传动机构的装配 270

2.3.6 滚动轴承的装配和拆卸 274

2.3.7 滚动轴承间隙的调整 277

2.3.8 滚动轴承的预紧 278

2.3.9 滚动轴承的定向装配 282

2.3.10 车床主轴部件的装配 284

2.4 任务实施 289

2.5 检查与评估 291

学习情境3 机器装配工艺规程

制订 292

3.1 工作任务 292

3.2 学习目标 292

3.3 任务资讯 293

3.3.1 锥齿轮传动机构的装配 293

3.3.2 蜗杆传动机构的装配 295

3.3.3 案例 297

3.4 任务实施 307

3.5 检查与评估 308

参考文献 309

学习情境1 零件机械加工工艺规程制订

1.1 学习子情境1 简单轴类零件机械加工工艺规程制订

1.1.1 工作任务

确定加工图 1.1-1 所示简单轴的机械加工工艺规程。生产数量为 100 件，生产时间 4 周，小型生产企业，生产基础条件较差，每日单班制。

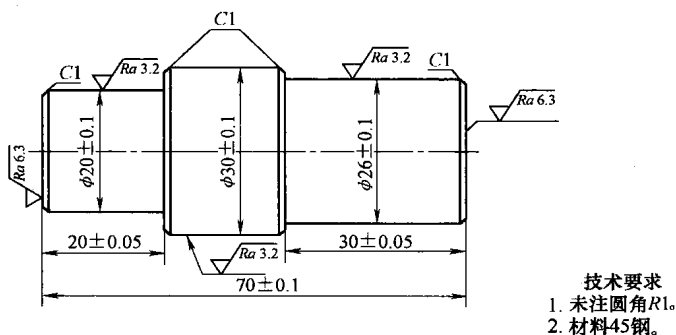


图 1.1-1 简单轴

1.1.2 学习目标

1. 专业能力目标

- 1) 了解简单轴类零件加工技术要求，如零件的结构特点、材料性能、尺寸精度、形位精度、表面粗糙度等。
- 2) 了解金属材料切削过程的物理现象及影响因素，掌握改善材料切削加工性的方法。
- 3) 合理选择切削刀具的材料、刀具的几何参数并正确评估刀具寿命。
- 4) 根据技术要求合理选择切削液，选取并优化切削用量。
- 5) 了解金属切削机床的型号、规格、传动原理及运动计算方法，熟悉车床的加工工艺能力、工件的装夹方法、车刀的类型及选用。
- 6) 掌握轴外圆柱面和端面的常用车削加工方法，正确确定简单轴的加工工艺规程。

2. 方法能力目标

- 1) 能运用相关资源查阅、收集完成工作任务的信息。
- 2) 能使用已有信息资源制订正确的工作计划。
- 3) 能独立使用各种资源条件完成工作任务。
- 4) 能对工作结果进行适当评价及探索、改进。

5) 培养发散思考和创新能力。

3. 社会能力目标

- 1) 具有团队协作的意识、良好的小组成员协作能力。
- 2) 具备良好的沟通能力及评价自我和他人能力。
- 3) 具备正确面对困难和挫折的能力。
- 4) 培养强烈的责任感和良好的工作习惯。
- 5) 培养节约及保护环境意识。

1.1.3 任务资讯

1.1.3.1 金属切削的基本知识

1. 切削运动与切削用量

金属切削过程是工件和刀具相互作用的过程。刀具要从工件上切去一部分金属，并在保证较高生产率和较低生产成本的前提下，使工件得到符合图样要求的形状、尺寸精度和表面质量。为了实现这一过程，必须具备以下三个条件：工件与刀具之间要有相对运动，即切削运动；刀具材料必须具有一定的切削性能；刀具必须具有适当的几何形状，即切削角度。

(1) 切削运动 在金属切削中，为了从工件上切去一部分金属，刀具和工件间必须完成一定的相对运动，称为切削运动。如外圆车削时（图 1.1-2），工件作旋转运动，刀具作连续纵向直线进给运动，则形成了工件的外圆柱表面。

切削运动包括主运动和进给运动。

1) 主运动。切削运动中速度最高、消耗功率最大的运动称为主运动。它是切下金属所必需的基本运动，如车削中工件的旋转或铣削中刀具的旋转等。

2) 进给运动。使新的金属层不断投入切削，以便切完工件表面上全部多余材料的运动。如车削中刀具的移动或铣削中工件的移动等。

在整个切削过程中，工件上有三个表面（图 1.1-2）：

- ① 待加工表面：即将被切去金属层的表面。
- ② 过渡表面：切削刃正在切削的表面。
- ③ 已加工表面：切削后形成的新表面。

3) 主运动和进给运动的合成。主运动和进给运动同时进行，如车削时刀具上切削刃某一点相对于工件的合成运动称为合成切削运动，可用合成速度矢量 $\mathbf{v}_s$ 表示（图 1.1-3）。它等于主运动速度 $\mathbf{v}_c$ 与进给速度 $\mathbf{v}_f$ 的矢量和，即

$$\mathbf{v}_s = \mathbf{v}_c + \mathbf{v}_f \quad (1.1-1)$$

显然，沿切削刃各点的合成速度矢量并不相同。

(2) 切削用量

1) 切削速度 v_c 。切削速度是主运动的线速度，单位为

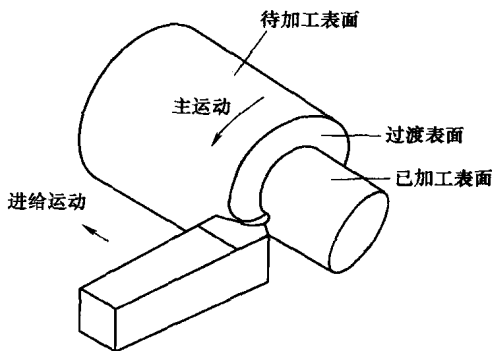


图 1.1-2 车削时的切削运动

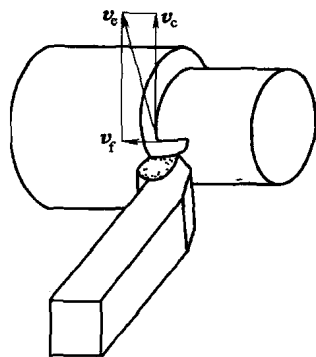


图 1.1-3 车削时的合成速度

m/min。车削时切削速度为

$$v_c = \frac{\pi dn}{1000} \quad (1.1-2)$$

式中 d ——工件或刀具直径 (mm);

n ——工件或刀具转速 (r/min)。

2) 进给速度 v_f 、进给量 f 。进给速度是进给运动的速度 (mm/s)。对于外圆车削, 常用进给量 f 表征, 指工件转一周刀具沿工件纵向移动的距离 (mm/r); 多刃旋转刀具常用每齿进给量 f_z (mm/z) 表征。车削时进给运动速度 v_f 与进给量 f 和主轴转速 n 的关系为

$$v_f = nf \quad (1.1-3)$$

3) 背吃刀量 a_p 。背吃刀量是切削刃与工件的接触长度在同时垂直于进给运动方向和主运动方向上测量的切削层横截面尺寸。

车外圆时

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (1.1-4)$$

式中 d_w ——待加工表面直径 (mm);

d_m ——已加工表面直径 (mm)。

2. 刀具的角度与切削要素

(1) 刀具角度的标注

1) 正交平面参考系。正交平面参考系又称静止参考坐标系。刀具几何参数的确定需要以一定的参考坐标系和参考坐标平面为基准, 刀具静止参考坐标系用于刀具的设计、制造、刃磨和测量。在刀具静止参考坐标系中定义的角度称为刀具标注角度。

由于实际生产中大多数加工表面都是空间曲面, 不便于直接用来作为坐标平面, 因此需通过切削刃上某一选定点, 做工件加工表面的基面和切削平面, 以构成刀具角度的坐标系坐标平面。它们的定义如下 (图 1.1-4):

① 基面 p_r : 通过切削刃选定点, 垂直于主运动方向的平面。

② 切削平面 p_s : 通过切削刃选定点, 与切削刃相切且垂直于基面的平面。

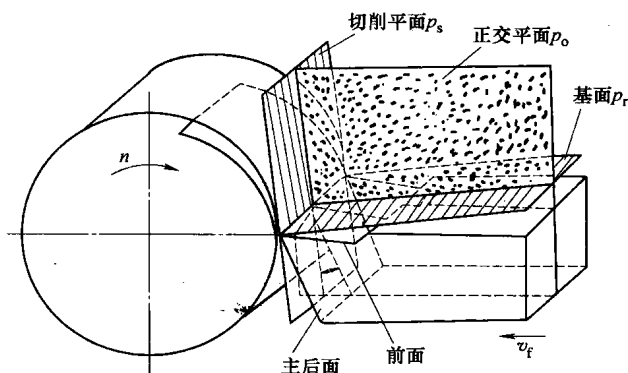


图 1.1-4 车削时的基面、切削平面和正交平面

图 1.1-4 为车削时的基面和切削平面, 它们分别与前面和主后面有一夹角, 而且这一夹角因选用的测量平面不同而数值各异。因此为了正确地测量出两平面间的夹角, 还必须规定测量平面。正交平面就是其中之一。

③ 正交平面 p_o : 通过切削刃选定点, 同时垂直于基面和切削平面的平面。

2) 刀具的标注角度。为便于刀具设计者在设计刀具时的标注, 一般先合理地规定一些条件。在车削时, 这些条件是: 装刀时, 刀尖恰在工件的中心线上; 刀杆中心线垂直于工件轴线; 没有进给运动; 工件已加工表面的形状是圆柱表面。

基于这些条件,以常见的外圆车刀为例(图 1.1-5),此时,主切削刃选定点 M 的基面 p_r 垂直于主运动速度方向;切削平面 p_s 与切削刃相切且垂直于基面 p_r ;正交平面 p_o 垂直于主切削刃在基面上的投影。因此,正交平面坐标系内三个坐标平面互相垂直,构成一个空间直角坐标系。

有了这些坐标平面后就可以确定刀具上的标注角度。这些角度及其定义有(图 1.1-6):

① 在正交平面内测量的角度。前角 γ_o ——前面与基面之间的夹角。前面在基面之下称为正前角;前面在基面之上称为负前角。后角 α_o ——主后面与切削平面之间的夹角。

② 在基面内测量的角度。主偏角 κ_r ——进给方向与主切削刃在基面内的投影之间的夹角。副偏角 κ'_r ——进给方向与副切削刃在基面内的投影之间的夹角。

③ 在切削平面内测量的角度。刃倾角 λ_s ——主切削刃与基面之间的夹角。根据国家标准规定,当刀尖是主切削刃上最低点时, λ_s 为负值(图 1.1-7b);刀尖是主切削刃上最高点时, λ_s 为正值(图 1.1-7c)。 $\lambda_s = 0^\circ$ 的切削称为直角切削或正切削,这时主切削刃与切削速度方向相垂直; $\lambda_s \neq 0^\circ$ 的切削称为斜角切削,这时主切削刃与切削速度方向不垂直。

④ 在副切削刃的正交平面(与副切削刃相切且垂直于副切削刃在基面内投影)内的角度有:

副前角 γ'_o ——在副切削刃的正交平面中前面与基面之间的夹角。当 γ_o 、 λ_s 、 κ_r 、 κ'_r 为已定值时, γ'_o 即被唯一确定。

副后角 α'_o ——在副切削刃的正交平面中副后面与切削平面之间的夹角。

⑤ 根据分析刀具的需要,还需给定几个派生角度,其名称和定义如下:

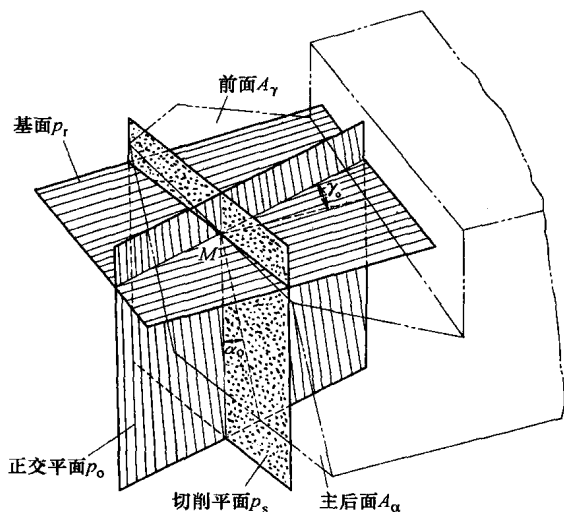


图 1.1-5 刀具标注角度坐标系

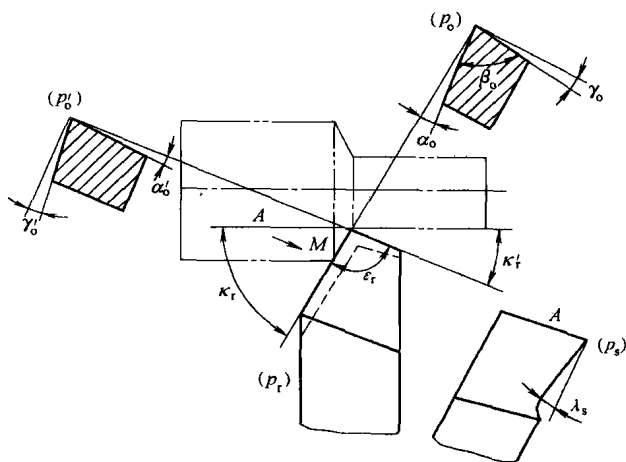


图 1.1-6 车刀的标注角度

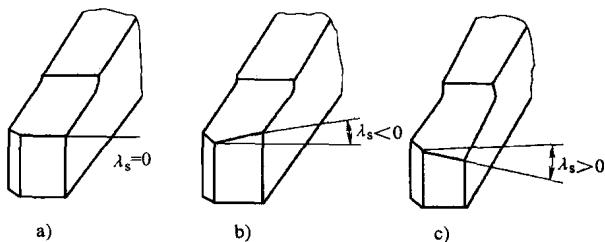


图 1.1-7 刃倾角 λ_s 的符号

a) $\lambda_s = 0^\circ$ b) $\lambda_s < 0$ c) $\lambda_s > 0$

楔角 β_o ——在正交平面 p_o 内, 前面与后面之间的夹角。当 γ_o 、 α_o 已知时, β_o 可按下式求得

$$\beta_o = 90^\circ - (\gamma_o + \alpha_o) \quad (1.1-5)$$

刀尖角 ε_r ——在基面 p_r 内, 主切削刃与副切削刃在基面内的投影之间的夹角。

$$\varepsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r) \quad (1.1-6)$$

3) 刀具的工作角度。以上是在一些规定条件下刀具的切削角度, 在实际切削中, 随着切削条件的改变, 刀具的实际切削工作角度值将不同于标注角度值。

① 装刀时, 刀尖不在工件的中心线上。例如切断刀 (图 1.1-8), 当刀尖通过工件中心线时, 所得的前、后角为 γ_o 、 α_o ; 当刀尖不在工件中心线上, 如低 h 值, 由于基面、切削平面已变动为 p_{re} 、 p_{se} , 此时的实际工作前、后角将改变为 γ_{oe} 、 α_{oe} 。

② 刀杆中心线不垂直于工件轴线。如图 1.1-9 所示, 当中心线、轴线互不垂直时, 将引起主偏角 κ_r 、副偏角 κ'_r 数值的改变。

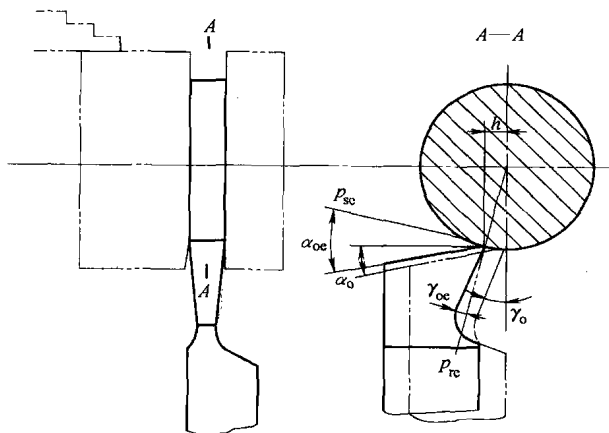


图 1.1-8 刀尖不通过工件中心线

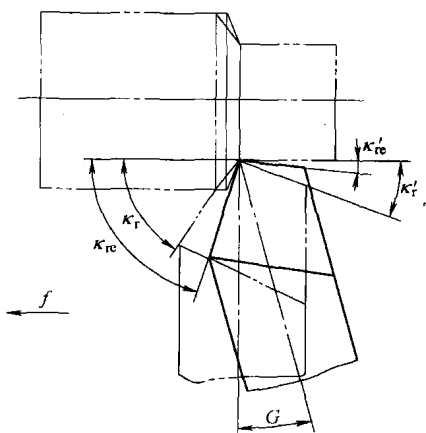


图 1.1-9 刀杆中心线不垂直于工件轴线的工作角度

③ 考虑进给运动。例如切断刀, 工作时切削刃相对于工件的运动轨迹为阿基米德螺旋面 (图 1.1-10), 引起了实际切削时前、后角数值的改变。

由图 1.1-10 可知

$$\tan \mu = \frac{f}{\pi d} \quad (1.1-7)$$

这说明 μ 值随切削刃趋近工件中心而增大。当切削刃距离工件中心 1mm 时, $\mu \approx 1^\circ 14'$ 。再靠近中心, μ 值急剧增大, 实际工作后角变为负值。切断工件时, 往往遇到剩下的尺寸约为 1mm 时就被挤断。

(2) 切削要素

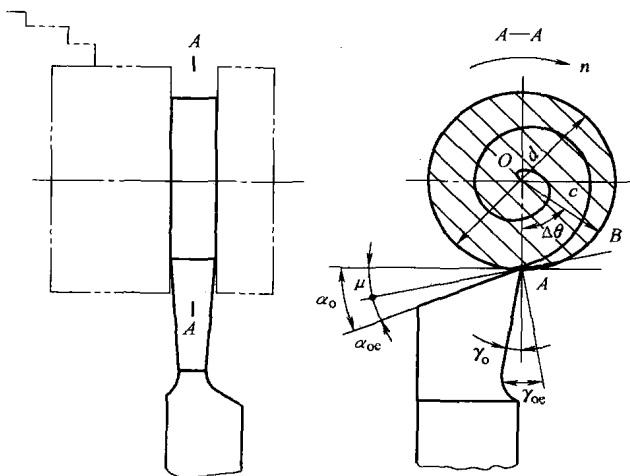


图 1.1-10 切断刀的工作角度

1) 切削层要素。如图 1.1-11 所示, 切削层是指切削刃沿进给运动方向移动一个单程 (如一个进给量 f) 后所切下的金属在基面内所截得的金属层。

切削层的大小和形状, 直接决定了切削刃切削部分所承受的负荷大小及切下切屑的形状、尺寸。

① 切削厚度 h_D : 即切削层厚度, 垂直于过渡表面在基面内测量的切削层尺寸。

② 切削宽度 b_D : 即切削层宽度, 它是沿过渡表面在基面内测量的切削层尺寸。

当 $\lambda_s = 0^\circ$ 时, h_D 、 b_D 与 f 、 a_p 的关系为

$$h_D = f \sin \kappa_r \quad (1.1-8)$$

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r \quad (1.1-9)$$

可见, f 、 a_p 一定时, κ_r 增大, h_D 增大, b_D 减小 (图 1.1-12)。

对于曲线的切削刃, 切削层各点的切削厚度是互不相等的 (图 1.1-13)。

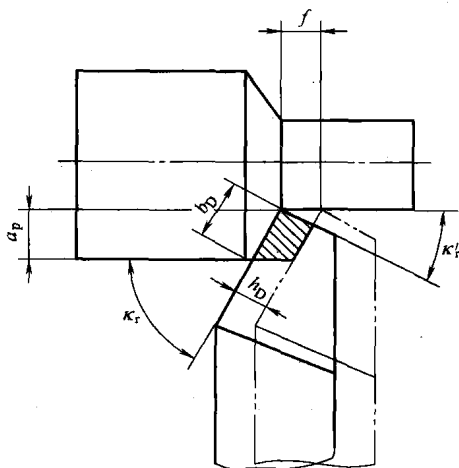


图 1.1-11 切削层要素

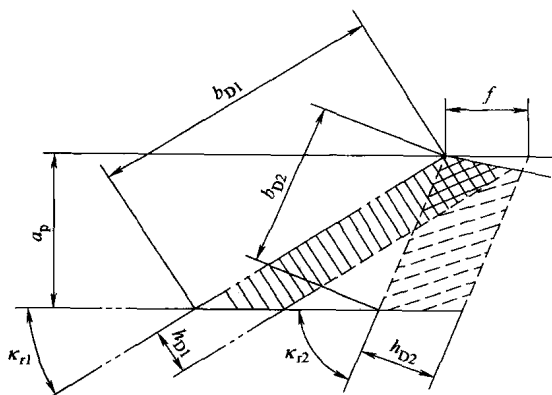


图 1.1-12 不同 κ_r 时, h_D 、 b_D 的变化

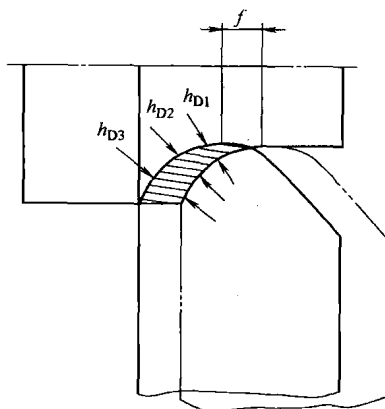


图 1.1-13 曲线切削刃 h_D 的变化

③ 切削面积 A_D : 即切削层在基面内的面积。

$$A_D = h_D b_D \quad (1.1-10)$$

或者

$$A_D = f a_p \quad (1.1-11)$$

2) 残留面积及其高度。按理论计算的切削面积 A_D 是近似的, 称为名义切削面积。由于切削运动和刀具几何形状的关系 (图 1.1-14), 使加工后仍有一部分金属未被切除, 而残留在已加工表面上, 构成已加工表面的横向不平, 即所谓残留面积。

当刀尖圆弧半径 $r_e = 0$ 时, 残留面积高 $R_{\max}$ 为

$$R_{\max} = \frac{f}{\cot \kappa_r + \cot \kappa'_r} \quad (1.1-12)$$

当刀尖圆弧半径 $r_e \neq 0$ 时, 残留面积高 $R_{\max}$ 为

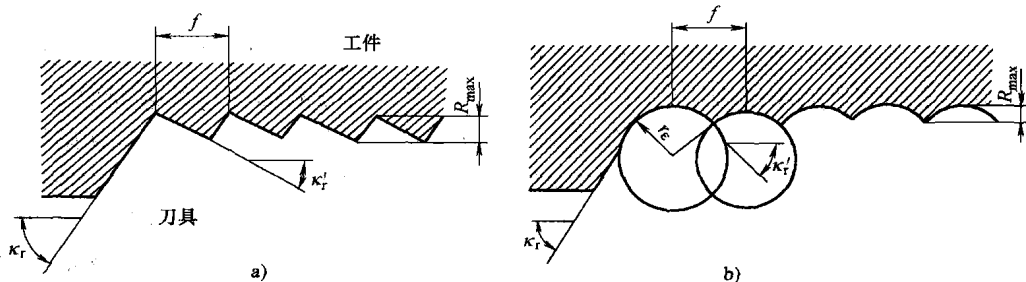


图 1.1-14 残留面积及其高度

 a) $r_e = 0$ b) $r_e \neq 0$

$$R_{\max} \approx \frac{f^2}{8r_e} \quad (1.1-13)$$

(3) 切削方式

切削方式有自由切削和非自由切削。自由切削是指只有一个直线切削刃的切削。非自由切削是指切削刃为曲线形或主切削刃和副切削刃同时参加切削。非自由切削时，刃口上各点切屑流动方向不一致，互相干涉，切屑变形比较复杂。

3. 金属切削中的物理现象及影响因素

金属切削过程是指通过切削运动，使刀具从工件上切下多余的金属层，形成切屑和已加工表面的过程。在这个过程中将产生一系列物理现象，如切削力、切削热与切削温度、刀具磨损、形成切屑等。

(1) 金属切削中的变形及主要影响因素

1) 切屑的形成过程。试验研究表明，传统的金属切削过程是工件切削层在受到刀具前面的挤压后而产生的以滑移为主的变形过程。

这一现象与挤压试验有些类似。图 1.1-15a 是普通挤压的示意图，试件受压时，内部产生切应力和应变，滑移面 DA 、 CB 与作用力 F 的方向大致成 45° 。图 1.1-15b 是切削过程示意图，与挤压试验比较，差别在于工件仅切削层受挤压， DB 以下有工件母体的阻碍，所以金属只沿 DA 方向滑移，这就是切削过程中的剪切面。

实际切削情况还要复杂些（图 1.1-15c）。这是因为切削层在受到刀具前面挤压而产生剪切（称第一变形区）后的切屑，沿前面流出，其底面将受到前面的挤压与摩擦，继续变形（称第二变形区）。再者，刀具刃口并非绝对锋利，而是存在着钝圆半径 r_β ，在整个切削层的厚度中，将有很小一部分被 r_β 挤压下去，变形成已加工表面（称第三变形区）。

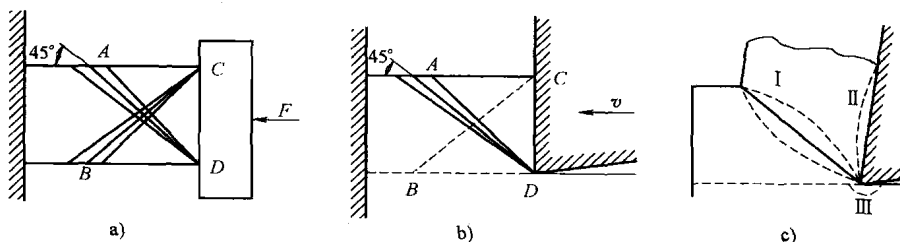


图 1.1-15 挤压与切削的比较

a) 试件挤压 b) 切削层被切 c) 三个变形区

2) 第一变形区的变形。

① 变形区内金属的剪切变形。第一变形区内的金属的剪切滑移可以这样来理解 (图 1.1-16): 在切削层浅层和中部, 由于只受到单向应力, 所以滑移线与外表面成 45° 。但切削层下部、底部, 由于切屑与前面上有摩擦, 所以滑移线略有扭曲。现在追踪切削层上的任一点 P , 来观察切屑的变形过程: 当 P 点向切削刃逼近到达点 1 时, 其切应力达到材料的屈服强度, 点 1 再向前移动的同时, 也沿 OA 滑移, 其合成运动将使点 1 流动到点 2, $2'-2$ 就是它的滑移量, 随着不断移动, 滑移量也将逐渐增加, 直到点 4 位置, 此时其流动方向与前面平行, 不再沿 OM 线滑移。所以 OM 称为终滑移线, OA 称为始滑移线。在一般切削速度范围内, $OA-OM$ 间即第一变形区, 其宽度在 $0.02 \sim 0.2\text{mm}$ 。速度低宽度大, 速度高宽度窄。宽度常以一个面来代替, 称为剪切面 (图 1.1-17)。剪切面与切削速度之间的夹角称为剪切角, 以 ϕ 表示。

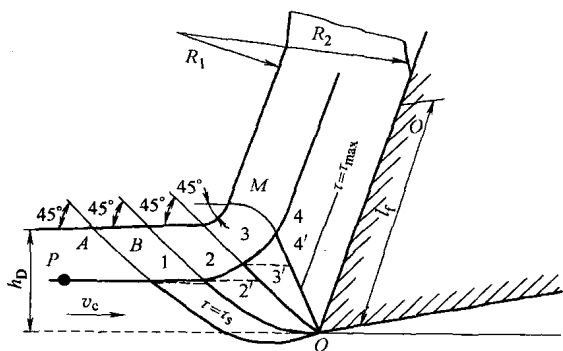


图 1.1-16 第一变形区金属的滑移

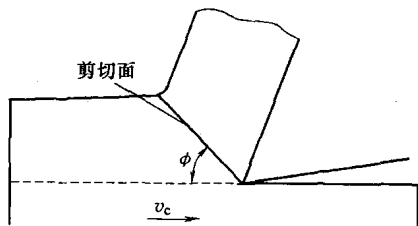
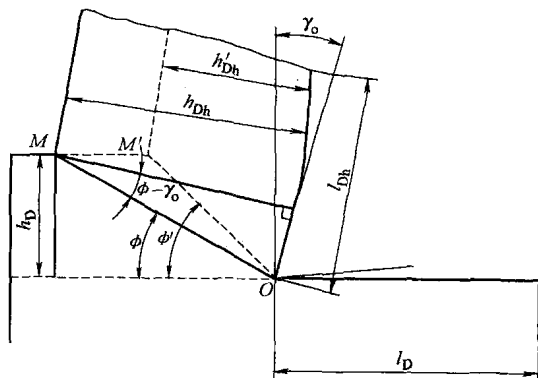


图 1.1-17 剪切面与剪切角

② 变形程度的表示方法。试验证明, 剪切角 ϕ 与切削力有关。在同样条件下 (工件材料、刀具、切削层大小相同), 切削速度 v_c 高时, ϕ 角大, 剪切面积小 (图 1.1-18), 切削比较省力, 说明 ϕ 可作为衡量切削过程的参数。

既然切削中金属变形的主要形式是剪切滑移, 因此可以进一步考查剪切角 ϕ 与剪切滑移 ε 的关系。

如图 1.1-19 所示, 平行四边形 $OHNM$ 发生剪切变形后, 变为 $OGPM$, 其相对滑移 ε 为

图 1.1-18 ϕ 角与剪切面积的关系

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{\Delta Y} \quad (1.1-14)$$

此时剪切面 NH 被推到 PG 位置, 可求得

$$\varepsilon = \cot \phi + \tan(\phi - \gamma_0) \quad (1.1-15)$$

用 ϕ 衡量变形大小, 必须用快速落刀装置获得切屑根部金相图片才能量出, 比较麻烦。

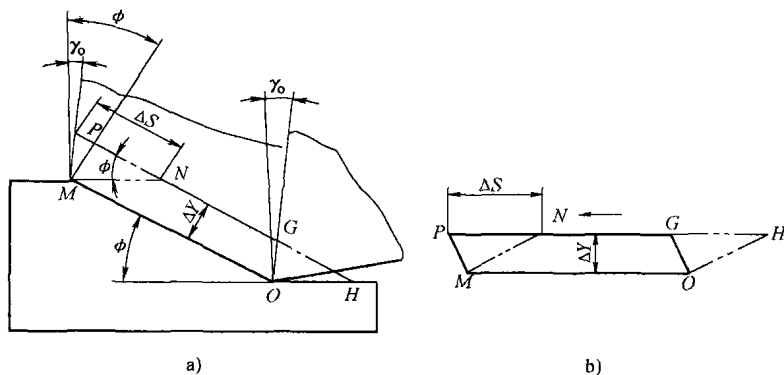


图 1.1-19 剪切变形示意图
a) 切削层的剪切滑移 b) 相对滑移

事实上，切削中刀具切下的切屑厚度 h_{Dh} 通常大于工件切削层的厚度 h_D （图 1.1-18），它们的比值称为厚度变形系数 ξ_h ，即

$$\xi_h = \frac{h_{Dh}}{h_D} \quad (1.1-16)$$

而切屑长度 l_{Dh} 却小于切削层长度 l_D ，它们的比值称为长度变形系数 ξ_l ，即

$$\xi_l = \frac{l_D}{l_{Dh}} \quad (1.1-17)$$

因工件上切削层的宽度与切屑平均宽度的差异很小，切削前后的体积基本不变，故有

$$\xi_h = \xi_l = \xi \quad (1.1-18)$$

ξ 称为变形系数，直观地反映了切屑变形程度，且 l_D 、 l_{Dh} 容易测量。从图 1.1-18 中还可推出 ξ 与 ε 的关系

$$\varepsilon = \frac{\xi^2 - 2\xi \sin \gamma_0 + 1}{\xi \cos \gamma_0} \quad (1.1-19)$$

ϕ 、 ε 、 ξ 均可表示变形程度。但应指出，它们是根据纯剪切的观点提出的。实际切削过程是复杂的，既有剪切，又有前面对切屑的挤压和摩擦。所以，这些公式不能反映全部变形实质。例如 $\xi = 1$ 时， $h_{Dh} = h_D$ ，似没有变形，但实际有相对滑移存在。式 (1.1-19) 表示了 ξ 与 ε 的关系，也只当 $\xi > 1.5$ 时， ξ 与 ε 才基本成正比。

3) 积屑瘤。

① 现象。加工一般碳钢材料或其他塑性金属材料，在切削速度不高而又能形成连续切屑时，常在前面切削刃处粘着一块剖面呈三角状的硬块（图 1.1-20），称为积屑瘤。其硬度很高，为工件材料的 2~3 倍，处于稳定状态时可代替刀尖进行切削。

② 产生。切屑对前面接触处的摩擦，使前面十分洁

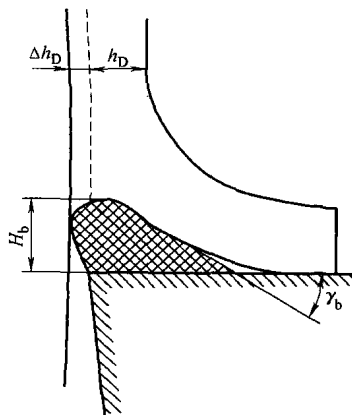
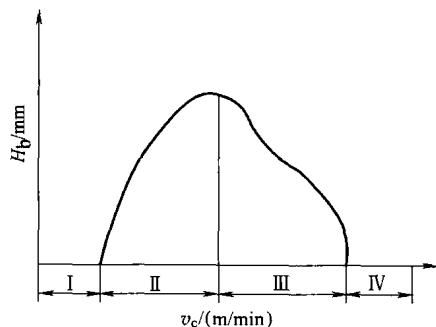


图 1.1-20 积屑瘤

净,当接触面达到一定温度,压力又较高时,会产生粘结现象。这时切屑从粘在前面的底层金属上流过,形成内摩擦。如果温度和压力适当,底层上面的金属因内摩擦而变形,也会发生加工硬化,从而被阻滞在底层,粘结成一体。这样,粘结层逐渐增大,直到该处的温度与压力不足以造成粘附为止。所以积屑瘤的产生及其高度与被加工材料的硬化性质及切削区的温度、压力分布等有关。一般地说,塑性金属材料的加工硬化倾向越强,越易产生积屑瘤。温度低、压力低时,不易产生积屑瘤;反之,温度太高,使金属软化,也不易产生积屑瘤。对碳钢而言,300~350°C时最易生成积屑瘤,500°C以上时趋于消失。在 a_p 、 f 一定时, v_c 与积屑瘤高度 H_b 的关系如图1.1-21所示。因 a_p 、 f 、 v_c 中,以 v_c 对温度的影响最大,所以此图实际上也反映了积屑瘤高度与温度的关系。

图 1.1-21 积屑瘤高度 H_b 与 v_c 的关系

③ 影响。积屑瘤使实际前角增大,切削力减小,对切削过程起积极作用;使背吃刀量增加了 Δh_D ,影响尺寸精度,同时因积屑瘤的产生、成长、脱落是一个带有一定周期性的动态过程,所以 Δh_D 是变化的,还可能引起振动。积屑瘤的顶部很不稳定,容易破裂,或部分附于切屑底部而排除,或部分留在已加工表面而影响表面粗糙度和表面质量。稳定时积屑瘤可代替切削刃切削,减少刀具磨损,提高刀具寿命,但破裂时可能使硬质合金颗粒剥落,反而加剧刀具磨损。

④ 控制。精加工时,防止积屑瘤产生的措施有:用低速切削,切削温度低,粘结现象不易发生;或用高速切削,使切削温度高于积屑瘤消失的相应温度;采用润滑性能好的切削液,减小摩擦;增大 γ_0 ,减小切屑接触区压力;提高工件材料硬度(如热处理),减小加工硬化倾向。

4) 切屑的类型及其变化。

① 切屑的类型。根据切削层变形特点和变形后形成切屑的外形不同,通常将切屑分为四类,如图1.1-22所示。

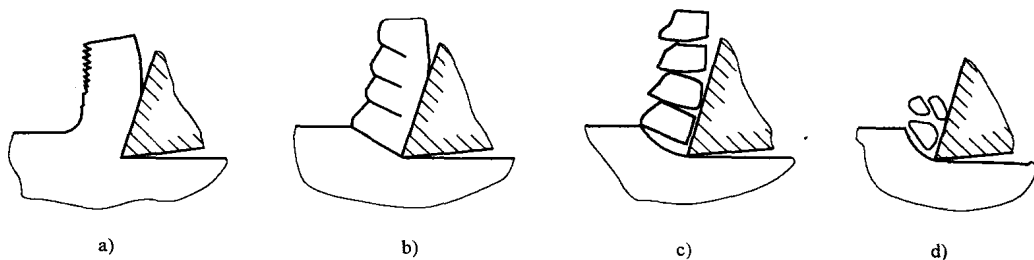


图 1.1-22 切屑的类型

a) 带状切屑 b) 挤裂（节状）切屑 c) 单元（粒状）切屑 d) 崩碎切屑

a) 带状切屑（图1.1-22a）。切削塑性金属材料时,若切屑在滑移后尚未达到破裂程度,则形成连绵不断、底面光滑的带状切屑。

b) 挤裂（节状）切屑（图1.1-22b）。若切屑的滑移变形比较充分,以致达到破裂程

度,产生一节节的裂纹,但裂纹上下尚未贯穿,仅背面裂开,底面仍较光滑,则称之为挤裂(节状)切屑。

c) 单元(粒状)切屑(图 1.1-22c)。产生的裂纹上下贯穿时称单元(粒状)切屑。

d) 崩碎切屑(图 1.1-22d)。切削脆性金属材料时,被切层在发生弹性变形后,即突然崩裂,形成崩碎切屑。它的形状不规则,加工表面凹凸不平,切削过程很不平稳,易损坏刀具,于机床也不利,生产中应力求避免。加工铸铁时,如采用较大的刀具前角、较大的背吃刀量、较高的切削速度通常可将崩碎切屑转化为挤裂切屑。

② 切屑变形的变化规律。要获得较理想的切削过程,关键在于减小变形和摩擦。影响它们的因素有:

a) 工件材料。工件材料强度越高, ϕ 增大,切屑变形越小,如图 1.1-23 所示。

b) 刀具前角 γ_o 。 γ_o 越大,切屑变形越小(图 1.1-24)。由式 $\phi = \frac{\pi}{4} - (\beta - \gamma_o) = \frac{\pi}{4} - \omega$ 可知, γ_o 增大, ω 减小, ϕ 增大。虽然 β 也随 γ_o 增大而增大,但不如 γ_o 增大得多,结果 ω 仍减小,因此最终使 ϕ 增大,从而使切屑变形减小。

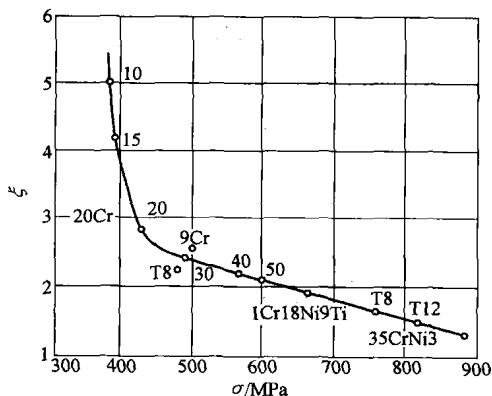


图 1.1-23 工件材料强度对切屑变形的影响

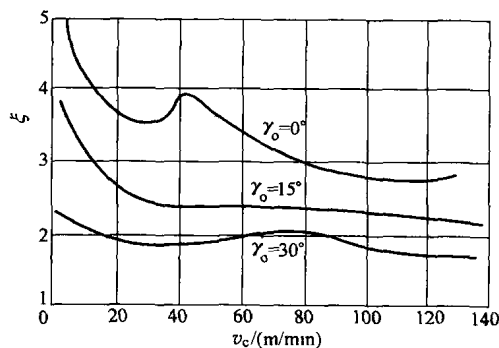


图 1.1-24 γ_o 对 ξ 的影响

注: 工件材料为 20Cr; 刀具材料为高速工具钢;
切削用量 $h_D = 0.31 \sim 0.36\text{mm}$, $b_D = 0.8 \sim 0.9\text{mm}$ 。

c) 切削速度 v_c 。如图 1.1-24 所示,在无积屑瘤的速度范围内, v_c 越大, ξ 越小。这是因为塑性变形的传播速度较弹性变形慢。如图 1.1-25 所示,低速时,始剪切面为 OA ,速度增高时,金属流动速度大于塑性变形速度,即 OA 线尚未显著变形就已流到 OA' 线上,使第一变形区后移, ϕ 增大。

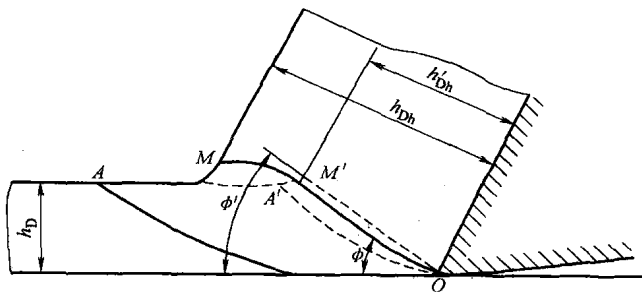


图 1.1-25 v_c 对 ϕ 的影响

d) 切削厚度 h_D 。图 1.1-26 所示为 v_c 、 f 对 ξ 的影响。可见在无积屑瘤的情况下, f 越大 (h_D 越大), ξ 越小;在有积屑瘤的情况下, v_c 主要通过积屑瘤所形成的实际前角来影响切