

机械制造技术基础

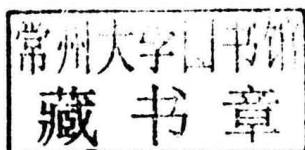


主 编 © 杜运普 黄志东

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

机械制造技术基础

主 编 杜运普 黄志东
副主编 杨 光 杨志强 郎庆阳
参 编 齐晓辉 杨萃颖 孔祥娜



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是为适应创新性应用型人才培养模式而编写的教材。

“机械制造技术基础”是现代机械制造业高级专业技术人才和高级管理人才必修的一门主干专业基础课，它包含了机械制造业中所必需的基础知识、基本理论和基本技能。全书在内容的编排上力求精练，对金属的切削原理与刀具、加工方法与装备、加工工艺与加工质量控制等内容进行整合、优化。本书以切削理论为基础，以制造工艺为主线，兼顾工艺装备知识的掌握，从加工方法的认识完成加工成形的装备，从加工、装配过程的设计到质量的控制，并增加了非传统加工技术与现代制造技术等内容，介绍了具有代表性的三种先进制造技术，并注意反映本学科理论与技术的新发展。

本书既可作为机械设计制造及其自动化或机械工程及自动化宽口径专业的学生学习现代机械制造基础知识的教学用书，也可作为近机类各专业的学生及从事机械设计制造的工程技术人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术基础/杜运普, 黄志东主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2018.3

ISBN 978-7-5682-4650-7

I. ①机… II. ①杜… ②黄… III. ①机械制造工艺—高等学校—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 200254 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 18.5

字 数 / 440 千字

版 次 / 2018 年 3 月第 1 版 2018 年 3 月第 1 次印刷

定 价 / 80.00 元

责任编辑 / 赵 岩

文案编辑 / 赵 轩

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 施胜娟

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

为适应科技、经济与社会的飞速发展和日趋激烈的竞争,适应高等教育改革形势和应用型机械专业人才培养模式及建立新的课程体系的需求,我们按普通高等学校机械设计制造及其自动化专业新编教材的统一规划,在总结了近年来教学改革探索与实践经验的基础上编写了本书。

“机械制造技术基础”是现代机械制造业高级专业技术人才和高级管理人才必修的一门主干专业基础课。它包含了机械制造业中所必需的基础知识、基本理论和基本技能。本书在内容的编排上力求精练,对金属的切削原理与刀具、加工方法与装备、加工工艺与加工质量控制等内容进行整合、优化,主要内容包括金属切削过程及其物理现象、常见机械加工方法及装备、机床夹具设计、工艺规程设计、典型零件机械加工工艺过程分析、机械加工质量及其控制;在此基础上,为适应科学技术的发展,拓宽学生的知识面,本书还介绍了以精密与超精密加工、快速成形制造技术、微细加工技术为代表的先进制造技术。

本书具有内容简明、概念清楚、叙述通俗、便于学习的特点,可作为机械设计制造及其自动化或机械工程及自动化宽口径专业的学生学习现代机械制造基础知识的教学用书,也可作为近机类各专业的学生及从事机械设计制造的工程技术人员的参考用书。为便于知识的理解与掌握,本书除了绪论每章开头都有案例导入,结尾有思考练习题。

本书由杜运普、黄志东担任主编,杨光、杨志强、郎庆阳担任副主编,齐晓辉、杨萃颖、孔祥娜参与了编写。具体编写分工如下:第1章由杜运普编写,第2章由孔祥娜编写,第3章由杨光编写,第4章由杨萃颖编写,第5章由杨志强编写,第6章由齐晓辉编写,第7章由黄志东编写,第8章由郎庆阳编写。本书的主审巩亚东教授为本书的编写提出了宝贵的意见,在此表示感谢。

由于编者水平及时间有限,书中难免存在不妥之处,恳请广大读者批评指正,提出宝贵意见。

编者

第 1 章 绪论	(1)
1.1 制造业与制造技术	(1)
1.2 机械制造系统与组成	(2)
1.2.1 机械制造系统	(2)
1.2.2 机械制造系统的组成	(3)
1.3 课程的学习要求与学习方法	(3)
思考与习题	(4)
第 2 章 金属切削过程及其物理现象	(5)
2.1 金属切削变形	(5)
2.1.1 切削层的划分	(6)
2.1.2 切屑形成过程及切削变形程度	(6)
2.1.3 前面与切屑间的摩擦	(9)
2.1.4 积屑瘤的形成及其对切削过程的影响	(11)
2.1.5 切屑的类型及控制	(13)
2.1.6 加工表面的形成与加工硬化	(17)
2.2 切削力	(18)
2.2.1 切削力的相关概念	(18)
2.2.2 切削力的计算及经验公式	(21)
2.2.3 影响切削力的主要因素	(22)
2.3 切削热和切削温度	(24)
2.3.1 切削热的产生和传导	(25)
2.3.2 切削温度的分布及其对切削过程的影响	(25)
2.3.3 影响切削温度的因素	(27)
2.4 刀具磨损和刀具寿命	(28)
2.4.1 刀具的磨损形式	(29)

2.4.2	刀具的磨损原因	(30)
2.4.3	刀具的磨损过程及磨钝标准	(31)
2.4.4	刀具耐用度概念及其影响因素	(32)
2.4.5	刀具耐用度的合理选择	(34)
2.5	切削用量的合理选择	(35)
2.5.1	选择切削用量时考虑的因素及选用原则	(35)
2.5.2	选择合理切削用量的方法	(36)
2.5.3	提高切削用量的途径	(37)
2.6	刀具几何参数的合理选择	(38)
2.7	磨削过程及磨削特征	(41)
2.7.1	磨粒特征	(41)
2.7.2	磨屑形成过程	(42)
2.7.3	磨削力和磨削用量	(43)
2.7.4	磨削阶段	(44)
2.7.5	磨削热和磨削温度	(44)
2.7.6	砂轮磨损与耐用度	(45)
	思考与习题	(46)
第3章	常见机械加工方法及装备	(47)
3.1	外圆表面加工方法及装备	(48)
3.1.1	外圆表面的车削加工	(48)
3.1.2	外圆表面的磨削加工	(57)
3.2	孔加工方法及装备	(61)
3.2.1	钻孔	(61)
3.2.2	扩孔	(62)
3.2.3	铰孔	(62)
3.2.4	镗孔	(63)
3.2.5	珩磨孔	(65)
3.2.6	拉孔	(67)
3.3	平面加工方法及装备	(70)
3.3.1	车平面	(70)
3.3.2	刨平面	(70)
3.3.3	铣平面	(71)
3.4	圆柱齿轮齿面加工方法及装备	(76)
3.4.1	概述	(76)
3.4.2	滚齿与插齿	(78)

3.4.3 剃齿	(80)
3.4.4 磨齿	(82)
思考与习题	(84)
第4章 机床夹具设计	(86)
4.1 概述	(87)
4.1.1 机床夹具的组成	(87)
4.1.2 机床夹具的分类	(87)
4.1.3 机床夹具在机械加工中的作用	(88)
4.2 工件在夹具中的定位	(88)
4.2.1 六点定位原理	(88)
4.2.2 典型的定位方式和定位元件	(91)
4.2.3 定位误差的分析与计算	(97)
4.3 工件的夹紧	(108)
4.3.1 夹紧装置的组成及设计原则	(108)
4.3.2 夹紧力的确定	(109)
4.3.3 常用的夹紧装置	(112)
4.4 常用机床夹具	(123)
4.4.1 车床夹具	(123)
4.4.2 铣床夹具	(126)
4.4.3 钻床夹具	(129)
4.4.4 组合夹具	(131)
4.4.5 通用可调夹具与成组夹具	(132)
4.5 机床夹具设计的方法	(134)
4.5.1 机床夹具设计的要求	(134)
4.5.2 机床夹具设计的步骤	(134)
思考与习题	(136)
第5章 工艺规程设计	(141)
5.1 概述	(141)
5.1.1 生产过程与工艺过程	(141)
5.1.2 机械加工工艺规程的制订	(143)
5.2 零件的结构工艺性及毛坯选择	(146)
5.2.1 零件的结构工艺性分析	(146)
5.2.2 毛坯的选择	(147)
5.3 基准及其选择	(149)
5.3.1 基准的分类	(149)

5.3.2 定位基准的选择	(151)
5.4 机械加工工艺路线拟订	(154)
5.4.1 表面加工方法的选择	(154)
5.4.2 加工阶段的划分	(156)
5.4.3 工序的划分	(158)
5.4.4 工序顺序的安排	(158)
5.5 加工余量及工序尺寸	(160)
5.5.1 加工余量及其影响因素	(160)
5.5.2 加工余量、工序尺寸及其公差的确定	(162)
5.6 工艺尺寸链	(163)
5.6.1 工艺尺寸链的概念	(163)
5.6.2 工艺尺寸链的计算	(166)
5.7 时间定额与机械加工生产率	(172)
5.7.1 时间定额	(172)
5.7.2 提高机械加工劳动生产率的途径	(173)
5.8 工艺过程方案的技术经济分析	(175)
5.8.1 工艺成本的组成	(175)
5.8.2 工艺方案经济性评定	(176)
5.9 装配工艺及装配尺寸链	(177)
5.9.1 装配工艺	(177)
5.9.2 装配尺寸链	(181)
5.10 装配工艺规程	(186)
5.10.1 装配工艺规程的概念	(186)
5.10.2 制订装配工艺规程的基本原则和原始资料	(186)
5.10.3 制订装配工艺规程的步骤	(187)
思考与习题	(189)
第6章 典型零件机械加工工艺过程分析	(192)
6.1 轴类零件机械加工工艺过程分析	(193)
6.1.1 概述	(193)
6.1.2 卧式车床主轴加工工艺过程分析	(194)
6.2 箱体零件加工	(198)
6.2.1 概述	(198)
6.2.2 孔系加工	(200)
6.2.3 箱体类零件的加工工艺过程	(203)
6.3 圆柱齿轮加工	(205)

6.3.1	概述	(205)
6.3.2	齿轮类零件的工艺分析	(206)
6.3.3	典型齿轮零件加工工艺过程	(208)
6.4	连杆加工	(210)
6.4.1	概述	(210)
6.4.2	连杆的加工工艺过程	(211)
	思考与习题	(214)
第 7 章	机械加工质量及其控制	(215)
7.1	机械加工精度及其影响因素	(215)
7.1.1	机械加工精度	(215)
7.1.2	影响机械加工精度的因素	(216)
7.2	加工误差综合分析	(243)
7.2.1	概述	(243)
7.2.2	加工误差的统计分析——工艺过程的分布图分析方法	(248)
7.2.3	加工误差的统计分析——工艺过程的点图分析方法	(251)
7.3	机械加工表面质量及其影响因素	(254)
7.3.1	加工表面质量的概念	(254)
7.3.2	机械加工表面质量对机器使用性能的影响	(255)
7.3.3	加工表面的表面粗糙度	(257)
7.3.4	加工表面的物理力学性能	(258)
7.4	机械加工过程中的振动	(262)
7.4.1	机械加工过程中的强迫振动	(262)
7.4.2	机械加工过程中的自激振动(颤振)	(262)
7.4.3	控制机械加工中振动的途径	(265)
	思考与习题	(268)
第 8 章	先进制造技术	(271)
8.1	精密与超精密加工技术	(271)
8.1.1	概述	(271)
8.1.2	精密及超精密加工的分类	(272)
8.1.3	精密及超精密加工的发展趋势	(274)
8.2	快速成形制造技术	(274)
8.2.1	概述	(274)
8.2.2	快速成形技术的特点	(275)
8.2.3	光敏树脂液相固化成形技术	(276)
8.2.4	选择性激光烧结技术	(276)

8.2.5 分层实体制造技术	(277)
8.2.6 熔融沉积成形技术	(277)
8.3 微细加工技术	(278)
8.3.1 概述	(278)
8.3.2 微细加工技术的特点	(279)
8.3.3 主要微细加工技术简介	(279)
思考与习题	(282)
参考文献	(283)

1.1 制造业与制造技术

制造是人类主要的生产活动之一。它是指人类按照所需目的,运用主观掌握的知识和技能,通过手工或可以利用的客观的物质工具与设备,采用有效的方法,将原材料转化为有使用价值的物质产品并投放市场的全过程。这是广义制造的概念。它主要包括3方面的内容:产品设计、材料选择及产品制造。材料只有经过各种加工成为产品,才能体现其功能和价值。

但在某些情况下,制造及制造过程被理解为从原材料或半成品经加工或装配后形成最终产品的具体操作过程,包括毛坯制作、零件加工、检验、装配、包装、运输等。这是狭义制造的概念,主要考虑企业内部生产过程中的物质流,而较少涉及生产过程中的信息流。

制造业是将制造资源通过制造过程转化为可应用产品的工业总称。制造业即从事制造活动的行业,它不仅为人们物质文化生活提供各种产品,也为工业、农业、国防建设、交通运输等各部门提供技术装备。由此可见,制造业是一个国家经济发展的重要支柱,是一个国家经济的命脉,其整体能力和发展水平标志着一个国家的经济实力、国防实力、科技水平和人民生活水平,也决定着一个国家,特别是发展中国家实现现代化和民族复兴的进程。制造业也是一个国家的立国之本,没有强大的制造业,一个国家将无法实现经济快速、健康、稳定的发展,人民的生活水平也难以提高。

机械制造业是为用户创造和提供机械产品的行业,它包括机械产品的开发、设计、制造生产、流通和售后服务全过程。机械制造业的产品是用制造方法获得的各种具有机械功能的产品。机械制造业是制造业的最主要组成部分,也是制造业的核心。

制造技术是完成制造活动所施行的一切技术手段的总和。这些手段包括运用一定的知识、技能,操纵可以利用的物质、工具,采取各种有效的方法等。制造技术是制造企业的技术支柱,是制造企业持续发展的根本动力。制造技术的水平和实力反映一个国家制造业的生产力水平,同时制造技术也是国际产品革新、生产发展、经济竞争的重要手段。

与制造概念相对应,对于制造技术的理解也有广义和狭义之分。广义理解制造技术涉及生产活动的各个方面和生产的的全过程,制造技术被认为是一个从产品概念到最终产品的集成活动,是一个功能体系和信息处理系统。在新的生产模式中,广义理解制造技术得到广泛认同和采纳。

狭义理解制造技术则重点放在加工和装配工艺上,即从原材料或半成品经加工和装配后

形成最终产品的过程及在此过程中所施行的一切手段的总和。狭义理解制造技术主要是从专业和技术角度出发，研究如何使物料形态按照预期的方向发生变化及如何使这种变化更加有效。

机械制造技术是指在机械制造领域中机械设计、机械加工工艺、基础设施及其相关技术的技术水准。其中机械加工工艺是机械制造技术的核心。机械制造技术支撑着机械制造业的发展，机械制造技术水平的提高与进步不仅决定了相关产业的质量、效率和竞争力的高低，而且成为传统产业借以实现产业升级的基础和根本手段。

1.2 机械制造系统与组成

1.2.1 机械制造系统

在传统的机械制造过程中把由机床、夹具、刀具、工件组成的系统称为机械加工工艺系统。随着机械制造技术、计算机技术、信息技术等的发展，为了能更有效地对机械制造过程进行控制，大幅度地提高加工质量和加工效率，人们在机械加工工艺系统的基础上提出了机械制造系统的概念。由为完成机械制造过程将所涉及的硬件（原材料、辅料、设备、工具、能源等）、软件（制造理论、工艺、技术、信息和管理等）和人员（技术人员、操作工人、管理人员等）组成在一起，通过制造过程将制造资源（原材料、能源等）转变为产品（包括半成品）的有机整体的系统，称为机械制造系统。

广义的机械制造系统是一个输入制造资源、输出产品的输入/输出系统，其结构由硬件、软件和人员组成，并包括了市场分析、产品策划、开发，涉及生产组织准备、原材料准备和储存、毛坯制造、零件加工及其装配、质量检验及许多其他与之相关的各个环节的生产全过程，其典型系统如图 1-1 所示。

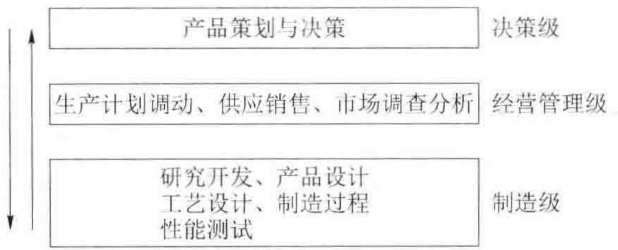


图 1-1 典型机械制造系统

上述广义的机械制造系统仅指机械产品的宏观尺度制造，与微观加工制造系统（即微观尺度的加工制造机理、方法和需要的制造系统）有本质区别，因此微观加工制造系统不在本节讨论范围内。

根据考察研究的对象不同，一个公司、一个工厂、一个车间群，甚至一台机床，都可以看成不同层次的机械制造系统。例如，一台机床的机械制造系统是单级系统，包括多台机床的机械制造系统是多级系统。

单级机械制造系统是最小的机械制造系统，是多级系统的基本组成单元，也可以称为机

械制造单元。机械制造单元的基本组成包括工艺设备、工艺装备和制造过程。

机械制造系统也像其他系统一样，具有集合性、相关性、环境适应性、动态特性、反馈特性和随机特性等。在对待和解决机械制造系统的问题时，必须应用系统科学与工程的观点和方法。

1.2.2 机械制造系统的组成

根据实际生产需要，机械制造系统有不同的复杂程度，但无论是复杂的还是简单的机械制造系统，在运行过程中，无时无刻不伴随着物料流、信息流和能量流的运动。从系统工程的观点看，产品的制造过程就是物料转变（物料流）、能量转化（能量流）和信息传递（信息流）的过程，如图 1-2 所示。所以人们把物料流、能量流和信息流称为机械制造系统的三要素。

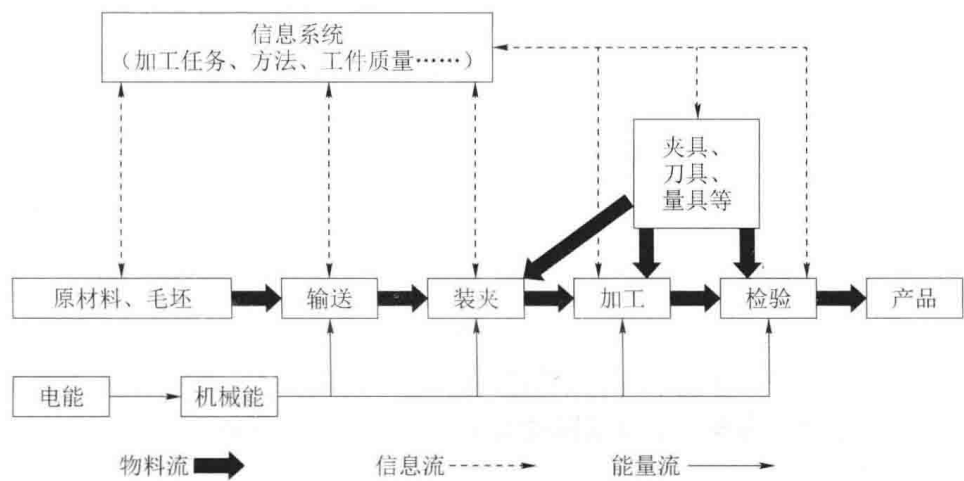


图 1-2 机械制造系统的组成

原材料、毛坯、加工中的半成品、零部件及产品整机形成了物料流；产品的装配图、零部件图，各种工艺文件、CAD 软件、CAM 软件，产品的订单、生产调度计划等形成了制造系统的信息流；电能、机械能、热能等形成了能量流。物料流是制造系统的本质，在物料流动的过程中，原材料变成了产品。能量流为物料流提供了动力，电能驱动电动机，再驱动各种机械运动，实现加工和运输；热能用来加热金属进行铸造、锻造、热处理等。信息流则控制物料如何运动，控制能量如何做功。在整个制造过程中，人和设备是制造活动的支撑条件，所有的制造活动都受各种条件和环境的约束。

1.3 课程的学习要求与学习方法

本课程主要介绍了机械产品的生产过程及生产活动的组织、机械加工过程及其系统。它从培养学生综合素质和应用能力出发，以机械制造工艺过程为主线，将基本理论、基础知识与工程应用有机地结合在一起，系统地介绍了金属切削过程及其物理现象、机械加工方法及装备、机床夹具设计、工艺规程设计、典型零件机械加工工艺过程分析、机械加工质量及其

控制、先进制造技术等。

通过本课程的学习,学生应能对机械产品制造过程有一个总体的了解,掌握机械制造技术的基本理论、基本知识和基本技能,为后续课程学习打下良好的基础。

对本课程学习的基本要求如下:

(1) 以金属切削理论为基础,初步掌握金属切削过程的基本规律和机械加工的基本知识,并具有根据具体情况合理选择加工方法(机床、刀具、切削加工参数、切削液等)的初步能力。

(2) 以制造工艺为主线,以产品质量、加工效率与经济性三者的优化为目标,了解和掌握机械加工工艺过程、机械加工精度和质量,以及装配过程的基本原理和基本知识,初步具备制订机械加工工艺规程的能力。

(3) 了解和能够选用常用工艺装备(主要指通用机床、刀具、夹具),并具有初步设计工艺装备(主要指夹具)的能力,具备应用机械制造基本知识分析和计算实际工程问题的能力。

(4) 了解当今先进制造技术和制造模式的发展概况,初步具备对制造系统、生产模式选择决策的能力。

本课程是综合性、实践性很强的课程。它涉及毛坯制造、金属材料、热处理、机械设计、公差与配合等方面的知识,因此必须及时复习先修课程的有关内容,学会综合运用。金属切削理论和机械制造工艺,以及机床、刀具、夹具等知识具有很强的实践性,与生产实际联系密切,只有具备较多的实践知识,才能在学习时理解得深入透彻。因此在学习时必须重视实践教学环节,即通过实验、实习及工厂调研、课程设计来加深对课程内容的理解。只有采用理论与实践相结合的方法,才能掌握机械制造的理论与实践知识,提高分析和解决机械制造过程中实际问题的能力,为今后从事工程技术工作打下坚实的基础。

思考与习题

1. 什么是制造?什么是制造业?什么是制造技术?什么是机械制造技术?
2. 什么是机械制造系统?它包括哪些内容?
3. 什么是机械制造系统三要素?
4. 机械制造技术的学习涉及哪些层面的知识?
5. 如何学好机械制造技术这门课程?

金属切削过程及其物理现象



生活中我们常见到许多切削形式，如木料切削、食品切削等（图 2-1）。

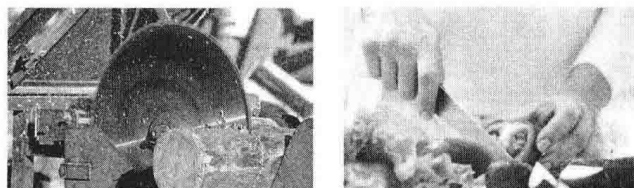


图 2-1 生活中常见的切削形式

金属的切削过程就是利用刀具和工件之间的切削运动，从毛坯或半成品的表面去除多余的金属材料，形成所要加工的表面和切屑的过程（图 2-2）。金属的切削加工也被称为冷加工。

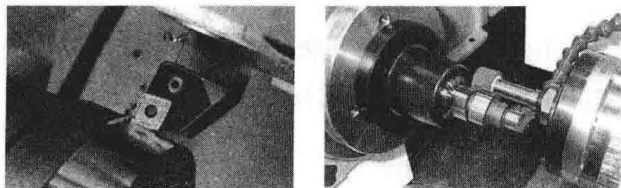


图 2-2 金属切削

金属切削过程中的被切削材料为金属，具有强度大、硬度高的特点，使得刀具与被切削材料之间总是存在弹塑性压力与抗力的作用。而金属切削过程产生的切削变形、加工硬化、切削热、刀具磨损等物理现象对研究金属切削加工过程及其物理现象，以及对于改进加工技术、提高生产效率、降低成本等都有重要意义。

2.1 金属切削变形

刀具对工件的切削加工，实际上是切削层金属材料受到刀具切削刃前面强烈推挤作用产生塑性变形，进而从工件上脱离下来形成切屑。

2.1.1 切削层的划分

切削层金属在切削过程中的变形是非常复杂的。切削层金属在刀具的挤压作用下，会发生弹性变形和塑性变形，根据切削层金属受力与变形特点的不同，可把切削刃作用范围内的切削层大致划分为3个变形区，如图2-3所示。

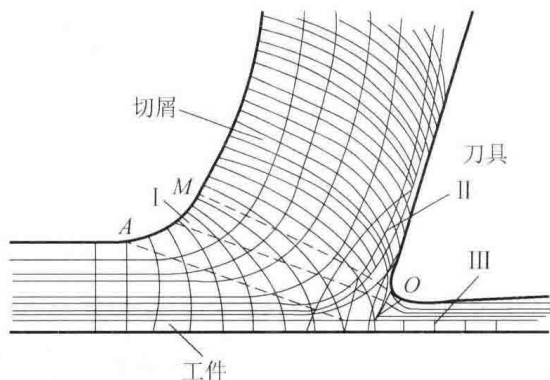


图 2-3 金属切削过程中滑移线和流线示意图

1) 第 I 变形区（剪裁区）

由靠近切削刃的滑移线 OA 处开始发生塑性变形，到滑移线 OM 处的剪切滑移基本完成，曲线 OA 、 OM 所围的塑性变形区域（称为第 I 变形区）是切削过程中产生的变形的主要区域，将消耗大部分功率且产生大量的切割热。

实验证明，在一般切削速度范围内，第 I 变形区的宽度仅为 $0.02 \sim 0.25 \text{ mm}$ 。切削速度越高，宽度越小，故可近似地用滑移线 OM 来代替这个剪切区域，即把 OM 称为剪切面。这种单一剪切面切削模型虽不能完全反映塑性变形的本质，但简单实用，因而在切削理论研究和实践中广泛应用。

2) 第 II 变形区（摩擦区）

第 I 变形区的剪切变形不是切屑形成过程的全部变形。切屑从 OM 处开始同材料基体相分离，切屑在沿刀具前面流出的过程中，继续受到前面的挤压和摩擦，使切屑底层的金属产生进一步滑移变形，完成这一变形的区域即为第 II 变形区。第 II 变形区位于刀具与切屑接触区，基本上和前面相平行。

3) 第 III 变形区（挤压区）

加工表面受到切削刃钝圆部分和主后面的挤压、摩擦和工件回弹，会产生以加工硬化和残余应力为特征的滑移变形。这一部分变形也是比较密集的，构成了第 III 变形区。

以上金属切削过程的 3 个变形区都集中在切削刃附近，因此该处的应力比较集中、复杂，而切削层就在该处与工件本体材料相分离，绝大部分变成切屑，很小一部分留在已加工的表面上。必须指出，3 个变形区既相互联系，又相互影响。例如，前面上的摩擦力大时，切屑流出不通畅，挤压变形就会加剧，以致第 I 变形区的剪切滑移受到影响而增大，同时，第 III 变形区也会受到延伸及加工表面下的第 I 变形区影响。

2.1.2 切屑形成过程及切削变形程度

1. 切屑形成过程

金属切削过程中的变形，主要发生在切削层金属转变为切屑时，即第 I、II 变形区的变形。

切削层金属在外力作用下，在靠近切削刃处产生变形，如图 2-4 所示。随着与刀刃的接近，变形增大，产生塑性变形，金属内部晶格产生畸变和滑移。为清楚地了解切削过程，现追踪切削层上一点 P ，以此来观察切屑的变形及其形成过程。

在点 P 向切削刃逼近过程中，应力较小，产生弹性。随着点 P 继续向切削刃靠拢，应力逐渐增大。当应力增大至材料屈服极限时（点 P 处于点 1， $\tau_1 = \tau_s$ ），则点 P 在向前移动的同时，还将沿 OA 面剪切滑移，其合成运动将使点 P 从点 1 移动到点 2 位置，2-2' 的距离为滑移量，由于塑形变形过程中的强化现象，使不断流动中的点 P 应力继续增加，流动方向也因变形中的滑移而不断改变，当点 P 的流动方向与前面平行时，点 P 经点 3 到达点 4，不再产生剪切滑移，其基本变形到此结束。这时的剪切应力达到最大值， $\tau_4 = \tau_{\max}$ ，切削层金属成为切屑。

应力值 $\tau = \tau_s$ 的等应力线 OA 称为始滑移线，切削层金属到达 OA 线时开始产生塑性滑移。应力值 $\tau = \tau_{\max}$ 的等应力线 OM 称为终滑移线，切削层金属到达 OM 线时滑移终止。切屑的形成是在 OA 与 OM 之间的第 I 变形区内完成的，其主要特征是滑移线的剪切变形，以及随之产生的表面加工硬化。

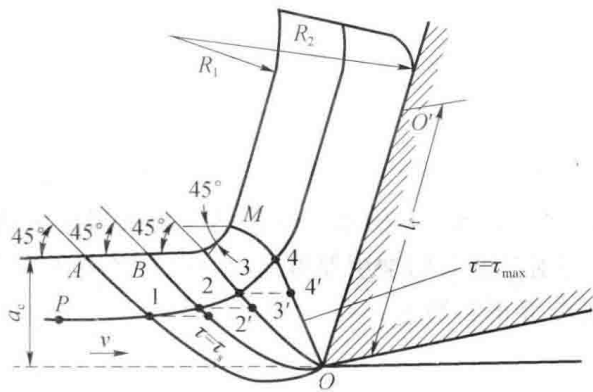


图 2-4 第 I 变形区的剪切变形

沿滑移线的剪切变形，从金属晶体结构的角度来看，就是沿晶格中晶面的滑移。滑移的情况可用图 2-5 所示的模型来说明。金属原材料的晶粒 [图 2-5 (a)] 受到切应力作用时，晶格内的晶面就发生滑移，而使晶粒呈椭圆状 [图 2-5 (b)]。最终圆形的直径 AB 就变成椭圆的长轴 $A''B''$ ，即金属纤维化的方向 [图 2-5 (c)]。

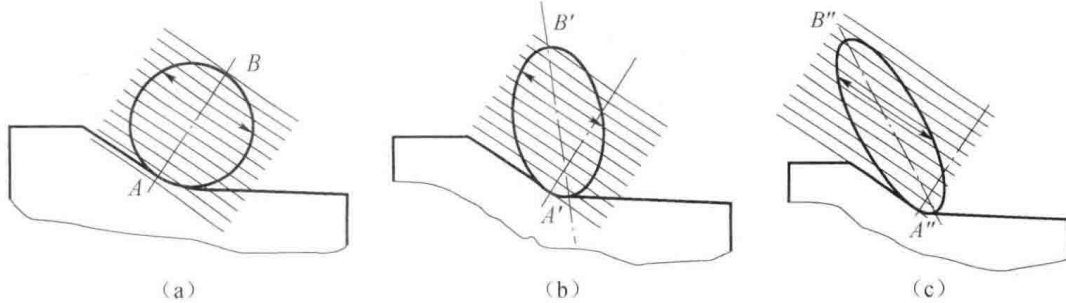


图 2-5 晶粒滑移示意图

由此可见，晶粒伸长的方向即金属纤维化的方向，它与滑移方向即剪切面 OM 的方向是不重合的，两者间成一夹角 φ ，如图 2-6 所示。同时，把剪切面 OM 和切削速度之间的夹角称