



21世纪应用型机电专业规划教材

JINSHU GONGYIXUE

金属工艺学

(冷加工分册) ■ 张玉贤 主编

JINSHU GONGYIXUE



中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE





21 世纪应用型机电专业规划教材

金属工艺学

(冷加工分册)

张玉贤 主编



中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

金属工艺学 (冷加工分册) / 张玉贤主编. — 北京: 中国计量出版社, 2007. 9

21 世纪应用型机电专业规划教材

ISBN 978-7-5026-2688-4

I. 金… II. 张… III. ①金属加工—工艺学—高等学校—教材②冷加工—工艺学—高等学校—教材 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 107288 号

内 容 提 要

本书共八章, 主要内容包括: 金属塑性变形的基本知识, 锻造、金属切削加工的基本知识, 车削加工、钳工常用量具、钳工基本操作知识, 特种加工方法、零件生产过程的基本知识等。章后附有适量的思考题与习题。

本书注重理论知识的同时, 将实习与实验内容合并在一起, 内容精炼、重点突出, 取材新颖, 对传统的教学内容进行了必要的调整和增删。

本书可作为高等院校、高职高专机械类专业以及相关专业的教材, 亦可作为金属加工岗位人员的培训用书。

中国计量出版社 出版

地 址 北京和平里西街甲 2 号 (邮编 100013)

电 话 (010) 64275360

网 址 <http://www.zgjl.com.cn>

发 行 新华书店北京发行所

印 刷 北京市密东印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 17.25

字 数 413 千字

版 次 2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

印 数 1—3 000

定 价 30.00 元

如有印装质量问题, 请与本社联系调换

版权所有 侵权必究

教材编委会

主任 魏天路

委员	赵玉冰	李亚芹	董晓威	王艳凤
	李春玉	于淑芳	张玉贤	李清晨
	李伟	潘楔	黄燕	张耀宇
	孙红旗	刘力强	张洪霞	陈振
	刘明亮	刘建军	李宪芝	朱向东
	杨海	刘新柱	陈永波	杨康
	张连军	霍北仓	李东	战丽红
	阮世鑫	吴云花	张燕梁	陈兴
	王颖	王琳	柳咏芬	

— 本 书 编 委 会 —

主 编 张玉贤

副主编 刘建军 张燕梁 李春玉 李清晨

李 东 战丽红 阮世鑫 李 伟

吴云花

参 编 陈 兴 王 颖 王 琳

主 审 柳咏芬

编写说明

本系列教材是根据 21 世纪对机电专业人才知识、能力、素质培养的需要和新的机电基础教学体系的要求，以综合设计能力、测试分析能力、创新意识和动手能力培养为主线，与理论教学和机电基础综合课程设计实践相互联系、互为依托又独立设课的机电系列教材。

机电一体化技术是计算机、光电子、机械、液压等相结合的综合科学，能将这些技术有机地结合正是本专业的优势所在，自动化生产线、加工中心、数控机床等是机电一体化技术的产物。

按照人事部最新统计预测，“机电一体化”专业技术人才是我国教育市场今后几年急需紧缺的八大最热门专业人才之一；21 世纪内中国将发展成为世界现代制造业加工中心，“机电一体化”技术就是加工制造业为了适应现代生产环境及市场的动态变化，将微电子技术、计算机技术、信息技术、自动控制技术综合应用于制造加工生产全过程的一批高新复合技术群，已形成“机、电、计算机”三分天下的实际格局，是 21 世纪国民经济发展所急需的优势学科方向；是我国开发大西北和振兴东北老工业基地的重大战略决策的重要科技支撑；21 世纪中国将需要一大批掌握先进控制技术，能从事数控机床、加工中心、智能机器人以及其他新型机电一体化技术和产品的设计、安装、调试、操纵、编程与开发的高级复合应用素质型创新技术人才。

从机电技术的发展现状中，我们可以看出目前的机电专业呈现出两大特点：首先是机电专业的技术知识发展迅速。由于激光技术、模糊技术和信息技术的融入，使机电专业的知识领域向周围各领域扩展，形成许多新的边缘科学知识。其次是对专业技术能力的要求不断提高。机电设备的智能化、微型化，要求所有的工作人员从设备机械设计、生产到调试、维

修，都具备较高的技能操作水平，才能够胜任工作。

机电专业在坚持专业数量和质量同步发展的同时，也应注重专业人才培养质量的提高，形成创新专业、特色专业、精品专业，适应区域经济和社会发展的需求。在专业建设时，要形成专业群，做到资源的合理配置与优化，逐步完成相应的课程建设。

加强实践教学环节的建设。在实践环节的硬件建设上，保证每一个专业有设备技术先进的实训基地，在校外有稳定的实习基地；在实践环节的软件建设上，建立完善的实践教学管理制度，提升专业教师双师型教师比重，建设一支富有实践经验的指导教师队伍。

优化课程体系。从培养学生的技术应用能力、自我学习能力和实践能力出发，贯彻现代教育思想，遵循理论为技术应用服务的原则，突出专业教育特点，进行有效的课程整合，创新教材建设。教材建设要根据专业人才培养的要求，择用已出版的优秀教材；对于没有合适教材的课程，结合实践教学的条件积极自编、组编、自用专业课程教材。以适应专业课教学模式，由现在的理论教学型向边教学、边实践工学结合型的施教模式转化。

根据上述指导思想，我们组织编写了本系列教材。教材编写过程中，得到了各院校领导及一线教师的大力支持，在此一并表示感谢。

由于稿件编写时间有限，以及编者对知识的把握程度有限，所以，书中难免有所疏漏，敬请广大教师、学生和读者给予批评指正。

教材编委会

2007年7月

前言

• FOREWORD •

本书是根据教育部面向 21 世纪“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”研究项目中应达到的教学基本要求编写的。

本书内容共分八章,包括金属塑性变形的基本知识、锻造、金属切削加工的基本知识、车削加工、钳工常用量具、钳工基本操作知识、特种加工方法、零件生产过程的基本知识等。章后附有适量的复习思考题。

本书编写特点如下:

1. 根据本课程实践性很强的特点,本书注重理论知识的同时将实习与实验内容合并在一起,内容体系不同于以前的同类教材,本教材可以在课堂上讲授也可以在实践中指导。

2. 紧密结合教学基本要求,教材内容精炼、重点突出,取材力求更新,对传统的教学内容进行了必要的调整和增删。

3. 侧重应用理论和应用技术,强调知识的应用性、针对性。

4. 介绍了金属加工的新技术、新工艺及发展趋势。

本书可作为高等院校、高等专科学校、高等职业学院、成人教育学院机械类专业教材,亦可作为开设本课程的其他专业的选用教材,还可供电大、职大、函大等同类专业选用教材。此外,也可作为相关教学改革试点专业的参考书。

本书由黑龙江农垦农业职业技术学院张玉贤副教授担任主编及全书的统稿工作,参加编写的有(按编写顺序)浙江林学院刘建军老师(第一章、第二章)、八一农垦大学张燕梁老师(第三章、第四章)、长春职业学院李春玉老师(第五章)、佳木斯大学李清晨老师和李伟老师(共同编写第六章)、黑龙江农垦农业职业学院

李东、战丽红、阮世鑫、吴云花（共同编写绪论、第七章、第八章），本书统稿过程中对图像的处理工作由陈兴、王颖、王琳三位老师负责。

在整个编写过程中，我们参阅了各种版本同类教材及有关资料、技术标准等，在此恕不一一列举，谨致以衷心的感谢。

由于编者水平有限且时间仓促，书中不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

2007 年 7 月

目 录

• CONTENTS •

绪论	(1)
第一章 金属塑性变形的基本知识	(2)
第一节 金属塑性变形的实质及基本概念	(2)
第二节 塑性变形对金属组织和性能的影响	(4)
第三节 金属的可锻性及其影响因素	(7)
第四节 塑性变形时金属的流动规律	(9)
思考题与习题	(11)
第二章 锻造	(12)
第一节 锻件的加热	(13)
第二节 自由锻造	(16)
第三节 锤上模锻	(24)
第四节 胎模锻造	(31)
第五节 其他模锻方法	(33)
第六节 冲压	(36)
思考题与习题	(48)
第三章 金属切削加工的基本知识	(49)
第一节 金属切削的基本概念	(49)
第二节 切削用量及切削层的几何参数	(55)
第三节 刀具材料	(56)
第四节 切削过程中的物理现象	(63)
第五节 刀具磨损及刀具耐用度	(76)
第六节 车刀的刃磨	(81)
第七节 刀具几何参数的选择	(82)
第八节 切削用量的选择	(89)
思考题与习题	(96)
第四章 车削加工	(97)
第一节 车床及其安装与基准	(97)
第二节 车床作业及附件	(106)

第三节	其他车床简介	(115)
第四节	数控车床简介	(118)
第五节	其他切削加工简介	(119)
思考题与习题		(166)
第五章	钳工常用量具	(167)
第一节	测量概述	(167)
第二节	游标卡尺	(168)
第三节	千分尺	(170)
第四节	百分表	(173)
第五节	万能角度尺	(174)
第六节	量 块	(176)
第七节	塞 尺	(178)
第八节	常用量具的维护和保养	(179)
思考题与习题		(179)
第六章	钳工基本操作知识	(181)
第一节	划 线	(181)
第二节	錾削、锯削与锉削	(188)
第三节	孔加工	(195)
第四节	螺纹加工	(209)
第五节	矫正与弯形	(217)
第六节	铆接、粘接与锡焊	(222)
第七节	刮 削	(227)
第八节	研 磨	(233)
思考题与习题		(239)
第七章	特种加工方法	(242)
第一节	概 述	(242)
第二节	电火花加工	(242)
第三节	电解加工	(245)
第四节	超声波加工	(247)
第五节	激光加工	(248)
思考题与习题		(250)
[实验]	电火花穿孔加工	(251)
第八章	零件生产过程的基本知识	(253)
第一节	概 述	(253)
第二节	机械零件材料的选择	(255)
第三节	机械零件的毛坯种类及其选择	(258)
第四节	工艺路线的拟定	(259)
第五节	典型零件生产工艺过程	(261)
思考题与习题		(265)
参考文献		(266)

绪 论

本课程是研究金属材料及其加工工艺的一门学科。它是机械类专业一门重要的专业基础课。包括锻造、切削加工、钳工加工、制造技术等。

矿石可以制成机械产品,这需要一系列的加工过程,矿石冶炼成铸锭,再通过铸造、压力加工或焊接制成毛坯,然后进行切削加工制成各种零件,再选择适当的热处理装配成产品。选择的材料不同加工工艺也不同,产品的质量、成本也会受到影响。机械技术人员必须具有能全面地、综合地掌握从选材到各种加工工艺的基础知识,金属工艺学就是培养学生获得这些知识的一门技术基础课。

从实践中发展起来的金属工艺学对人类文明的进步起了推动作用。商代就有精美的铜器,春秋时期铸成的铁器已用于农耕,战国时期已有名剑“干将”“莫邪”,唐代开始锡焊、银焊,明朝出现了切削工具,宋应星编写的世界上最早的金属工艺科技文献《天工开物》记载了冶铁、炼钢、铸造、锻造、淬火等加工方法。我国古代在金属工艺学方面的光辉历史,对世界文明和社会进步有举世公认的卓越贡献。

新中国成立以来,金属工艺学的发展更是突飞猛进。钢产量居世界前列,有色金属的生产和加工技术也有了大幅度的提高,研究出具有世界先进水平的稀土镁球墨铸铁、特殊性能合金等新材料,北京亚运村高层建筑和大型体育场馆的建设,是我国建筑技术、建筑材料和大跨度金属结构建筑高水平发展的标志。“一箭多星”的卫星成功发射和核潜艇的问世等举世瞩目的成就都体现了金属材料及加工工艺的作用。

金属工艺学是一门实践性很强的技术学科。学习本课程应具有一定的感性知识,应配有金工实习,使学生具有一定的操作技能。搞好实践性教学环节,是学好本课程的重要条件,因此,本书也编入了一些实践性教学内容。

通过本课程的学习,应达到如下基本要求:

- (1) 熟悉常用金属材料的组织、性能和应用;
- (2) 熟悉常用金属材料的热处理技术;
- (3) 熟悉常用金属材料的加工工艺;
- (4) 了解毛坯制造和零件加工的主要方法、工艺特点和应用;
- (5) 熟悉钳工加工工艺。

本课程的学习内容强调理论联系实际,注重应用理论和实践技术,注重各种能力的培养。章后附有适量的习题与思考题,是巩固、复习所学知识的手段,应充分重视。



第一章 金属塑性变形的基本知识

第一节 金属塑性变形的实质及基本概念

一、弹性变形与塑性变形

金属受到外力作用后,就改变原来的形状和尺寸,这种现象叫变形。

金属受外力作用产生的变形,如果当外力去除后变形也随之消失,恢复原来的形状和尺寸,这种变形称为弹性变形;如果当外力去除后并不消失而保留下来,这种变形称为塑性变形。金属和合金是既能产生弹性变形又能产生塑性变形的弹塑性物质。单晶体的变形过程如图1—1所示。

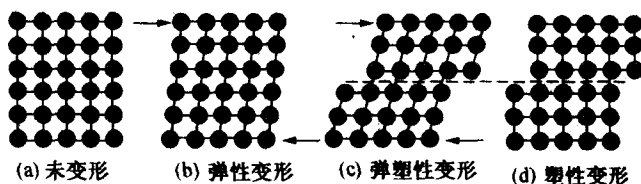


图1—1 单晶体变形过程

弹性变形是因外力在金属晶体内部作用,增高原子的位能,使原子离开了自己原来的平衡位置。这时晶体内部仅仅是改变了晶格内原子之间的距离(即晶格常数的改变)。当外力去除后,原子即自行回复到原来的稳定位置,因而变形也随着消失。弹性变形时物体的密度和体积均发生变化,并且其应力和应变成直线关系。

金属的弹性变形只能在一定的范围内进行。当应力超过金属的流动极限(σ_s)以后变形就不能恢复原状而开始塑性变形。塑性变形不仅改变了物体的形状和尺寸,而且也改变了物体本身所具有的机械物理和化学性能。

金属的塑性变形是依靠原子相对移动至新的稳定位置来实现的。移动的距离往往越过了晶格中原子间的距离[如图1—1(c)所示]。在产生塑性变形的同时伴随有弹性变形发生,只不过当外力去除后弹性变形随之消失而已。

二、单晶体与多晶体的塑性变形

我们知道金属都是由许多单晶体组成的。要了解金属变形的实质,首先要了解单晶体的变形过程。

实验研究结果表明,单晶体的塑性变形主要由滑移和双晶两种变形方式完成。但究竟以哪一种方式进行,则取决于金属的本质和塑性变形时的外界条件。必须指出,某些金属在一定条件下产生塑性变形时可能同时按照几种机构进行。

1. 滑移

单晶体在外力作用下, 由于内部产生切应力使晶体的个别部分产生相对的移动, 这种移动称为滑移。由滑移而引起的变形称为滑移变形(如图 1—2 所示)。通常滑移发生在具有一定方向的结晶平面上, 此平面称为滑移平面。一般滑移平面是原子密度最大的平面, 而且滑移方向也是原子密度最大的方向。

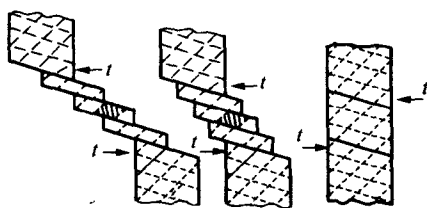


图 1—2 滑移变形

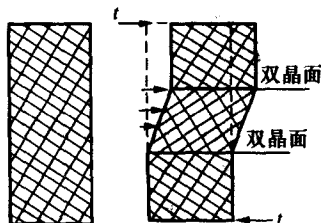


图 1—3 双晶变形

2. 双晶

在切应力作用下, 晶体的一部分原子晶格相对于另一部分原子晶格发生转动。其结果使变形部分与未变形部分呈对称的位置(如图 1—3 所示)。

显然, 多晶体的塑性变形也是由滑移和双晶变形所构成。此外, 在多晶体内部还有晶粒与晶粒之间的相互转动或移动, 即晶间变形。多晶体塑性变形如图 1—4 所示。由此可知, 多晶体的塑性变形是由两部分组成的, 即晶粒本身的变形以及晶粒之间的晶间变形, 其中, 主要是单晶体本身的变形。而晶间变形很微小, 因为当晶间互相移动时会使晶界受到破坏, 大大降低多晶体的结合强度, 从而导致金属本身的破坏。

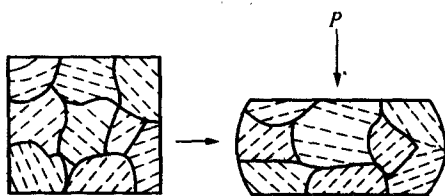


图 1—4 多晶体变形示意图

三、加工硬化、恢复和再结晶

金属进行塑性变形时随着变形程度的增加, 强度提高, 硬度上升, 而塑性和冲击韧性下降的现象称为加工硬化。

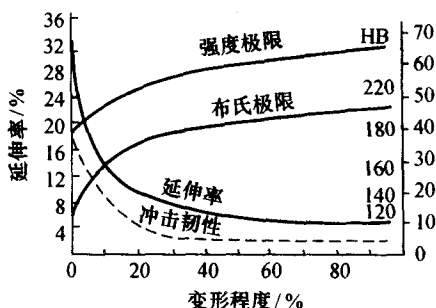


图 1—5 常温下塑性变形对低碳钢机械性能的影响

钢在常温下进行塑性变形时产生加工硬化是由于晶格与晶粒发生扭曲, 形成内应力, 使原子处于高位能状态的缘故。因此, 要使金属继续变形就需要更大的外力。同时, 由于产生了碎晶阻碍晶内各部分之间的滑移和晶间转动的继续进行, 增加了变形的困难。图 1—5 为常温下塑性变形对低碳钢机械性能的影响。

从图 1—5 中可以看出, 加工硬化随变形程度的增加而增加。加工硬化并不是一个稳定的现象。它可以用热处理的方法消除。对于纯金属加热到该金属绝对熔化温度的 0.25~0.30 倍时, 由于少量地增加了原子振动的动能, 因而有利于原子恢复到原来的平衡



位置,大大消除了晶格歪扭和因之而产生的内应力,结果部分地消除加工硬化,这一过程称为恢复。此时的温度称为恢复温度。一般碳钢的恢复温度为 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 。但是,在此温度下,不能改变晶粒的形状和晶粒变形时所形成的方向性,它也不能使晶粒及晶间物质破坏的现象恢复,因而机械性能变化不大。

当温度继续升高至约为该金属绝对熔化温度的 0.4 倍时,金属原子由于获得更高的能量而开始以某些碎晶或质点为晶核形成新的晶粒,从而全部消除了加工硬化现象。这个过程叫再结晶。此时的温度称为再结晶温度。

$$T=0.4T_1$$

式中: T ——金属的绝对再结晶温度;

T_1 ——金属的绝对熔化温度。

在再结晶温度下,原子获得了足够的能量向着再结晶核心聚集,形成新的具有正常晶格结构的晶粒。随着温度的上升或时间的延长,这种新的晶粒继续长大。

综上所述,经过塑性变形的金属,加热时组织与性能随温度的变化可以分为三个阶段,即恢复、再结晶和晶粒长大(如图 1—6 所示)。

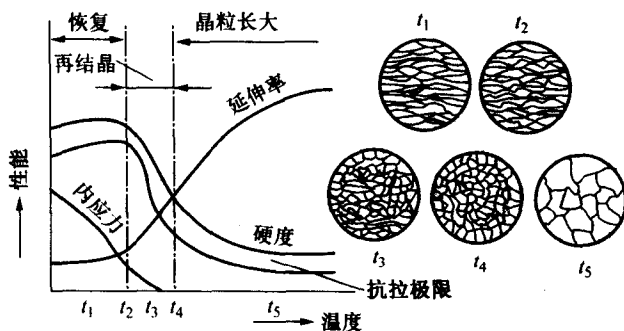


图 1—6 塑性变形后纯铁加热组织的变化

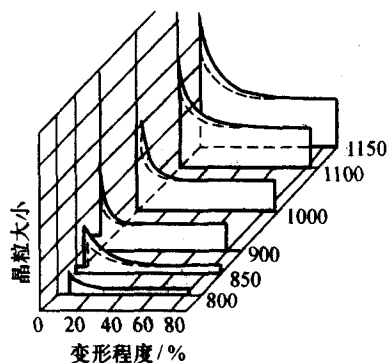


图 1—7 40 号钢再结晶图

再结晶核心的生成以及晶粒的长大决定于再结晶金属的塑性变形程度及变形温度。晶粒大小、变形程度和变形温度之间的关系以再结晶图来表示。它是制定热变形工艺的主要依据之一。如图 1—7 所示为 40 号钢再结晶图。

第二节 塑性变形对金属组织和性能的影响

根据金属塑性变形后的组织状况可以把金属变形分为冷变形、温变形和热变形三种。

冷变形:在塑性变形后得到的只有硬化组织而无再结晶组织的变形。如冷挤压、冷冲压、冷轧等。

温变形:变形结束时再结晶进行得不完全,并且存在以硬化组织为主的变形。如温挤压、半热锻等。

热变形:在变形结束时金属只有再结晶而无硬化痕迹的变形。如热锻、热轧等。

一、冷变形对金属组织和性能的影响

金属的冷变形是指该金属在再结晶温度以下进行的变形。如钢在常温下进行的变形是属

于冷变形,而锌和铅则不然。

金属经冷变形后,其晶粒沿最大变形方向被拉长;晶粒与晶格发生了扭曲产生内应力;同时,由于产生碎晶,使继续变形困难。其结果使强度、硬度升高,延伸率和冲击韧性下降,并且使机械性能各向异性。

金属冷变形有许多优点:可获得尺寸精度和表面粗糙度较小的零件,从而减少甚至无需进行切削加工即可应用;可以提高硬度值 1.5~2.0 倍,因而对于不能采用热处理方法强化的材料,它是提高机械性能的主要方法;冷变形时无需加热,避免材料表面氧化和脱碳;此外冷变形还可以提高材料的利用率。但是,冷变形金属材料变形抗力大,对模具要求较高,所需锻压设备的吨位也较大。

二、热变形对金属组织和性能的影响

热变形是一种在再结晶温度以上进行的变形。在变形过程中,由于再结晶速度大于加工硬化速度,因此,在加工过程中金属变形抗力低而塑性始终良好,利于各种锻压生产。所以热变形在锻压生产中应用最广,如轧制、锻造等。

锻压生产最原始的坯料是金属的铸锭。铸锭在浇注过程中由于冷却条件的不同而形成不均匀的组织,其内部存在偏析、气孔、缩孔、疏松、非金属夹杂物等缺陷。将它加热锻压后,由于塑性变形和再结晶,改变了原有粗大铸造组织,并使气孔、疏松等缺陷锻合,使金属组织更加致密。从而提高了机械性能,强度指标 σ_b 和 σ_s 比原来提高 1.5~2.0 倍以上,塑性和韧性指标 δ 和 a_K 等提高的就更多。

此外,铸锭中的塑性夹杂物随着金属变形沿主要伸长方向呈带状分布;而脆性夹杂物则被打碎,顺着主要伸长方向呈碎粒状或链状分布。所以热变形后的金属组织是有一定的方向性的。这种杂质的定向分布常称为纤维组织。图 1—8 为铸钢锭热变形前后的组织。

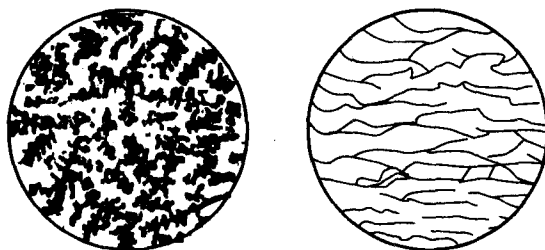


图 1—8 铸钢热变形前后的组织

热变形对金属组织和性能的影响决定于热变形的程度。热变形程度的大小可以用锻

造比 Y 来表示。例如,拔长时的锻造比按下式进行计算。

$$Y = \frac{F_0}{F}$$

式中: F_0 ——拔长前坯料横截面积;

F ——拔长后坯料的最大横截面积。

当锻造比 Y 值越大时,则表示金属的变形程度越大;此时金属组织的改善和性能的提高也越显著。但随着变形程度的增加,金属纤维组织也越明显,材料在纵向(平行纤维方向)和横向(垂直纤维方向)的机械性能差别就越大。如图 1—9 所示为碳素结构钢采用不同锻造比进行拔

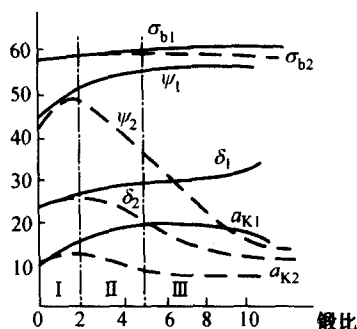
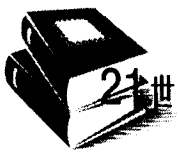


图 1—9 锻造比对机械性能的影响
1—纵向; 2—横向



长后的机械性能曲线。

由于锻造比可以大致地反映出钢锭内部组织的变化情况，因此，锻造比的选取对于用钢锭锻造的大型锻件有一定的实际意义。对于用钢坯锻造的锻件，由于钢坯在轧制时已有很大的变形程度，所以就不必考虑锻造比了。

在锻压过程中，不可避免的会形成纤维组织造成机械性能的各向异性。因此，为了获得最好的机械性能的零件，无论在设计或在拟定工艺过程时必须注意，使工件的最大正应力的方向和纤维方向重合，最大切应力的方向和纤维方向垂直，并使纤维分布能与零件的轮廓尽量相符而不被切断。

例如，图 1—10 表示用 3 种不同方法生产齿轮时，纤维组织对齿轮寿命的影响。图 1—10(a) 是轧制的棒料直接用切削加工方法制造的齿轮，作用在齿轮上的圆周力方向与纤维方向是不合适的，其寿命不高。图 1—10(b) 是采用扁钢加工成的齿轮，作用在齿 1 上的圆周力方向与纤维方向垂直，工作条件较好。而作用在齿 2 上的圆周力方向与纤维方向平行，工作条件不利。所以这种齿轮强度不均匀，影响齿轮的寿命。图 1—10(c) 是采用棒料进行锻粗后，再经切削加工制成的齿轮。此时纤维组织被弯曲了而呈放射状，工作时圆周力的方向完全与纤维方向垂直，工作状况较好，齿轮寿命也较高。图 1—10(d) 是采用无切屑冷轧或热轧方法制造的齿轮，其纤维组织方向不但和圆周力方向垂直，而且使纤维分布更符合齿形轮廓，这种齿轮的寿命最高。

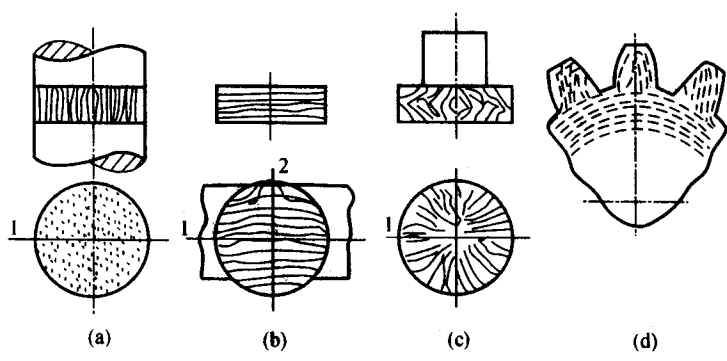


图 1—10 采用各种不同加工方法时齿轮纤维组织的分布

又如高速柴油机曲轴是受弯曲扭转复合应力和动载荷的零件。现在实现了曲轴“全纤维锻造”。它是先将两侧拐颈部分锻粗并错移弯曲拐柄（如图 1—11 所示）。这样可以提高疲劳强度 30% 左右。

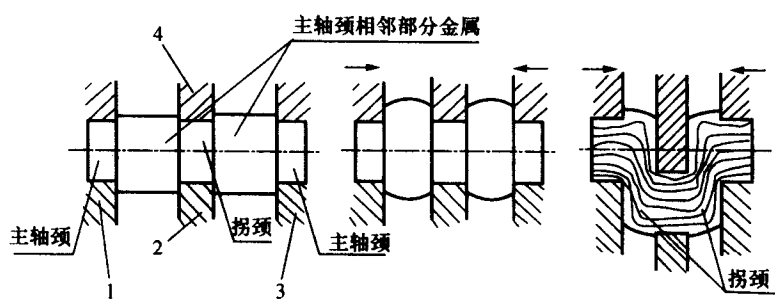


图 1—11 曲轴“全纤维锻造”过程及纤维分布

1—左模块；2—下冲头；3—右模块；4—上冲头