

高等学校教材

金属工艺学

上册

(第四版)

邓文英 主编

郭晓鹏 副主编

高等教育出版社

责任编辑	杨宪玲
封面设计	王 睢
责任绘图	吴文信
版式设计	周顺银
责任校对	殷 然
责任印制	张小强

内容提要

本书是在邓文英主编《金属工艺学》第三版(1991年)基础上,依据原国家教委高等教育司颁发的“高等工业学校工程材料及机械制造基础课程教学基本要求”,并吸取兄弟院校教学改革经验修订而成的。

本书分上下两册出版。上册包括四篇:金属材料导论、铸造、金属压力加工、焊接;下册一篇:切削加工。本次修订仍坚持“少而精”的原则,突出重点,调整了部分篇章的结构和内容,充实了新工艺、新技术。

本书经教育部“工程材料及机械制造基础课程教学指导小组”审订通过,可作为高等学校机械类专业课程教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学 上册/邓文英主编.—4版.—北京:高等教育出版社,2001
高等学校教材
ISBN 7-04-008762-6

.金... .邓... .金属加工-工艺-高等学校-教材 .TG

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第64955号

金属工艺学 上册(第四版)
邓文英 主编

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市东城区沙滩后街55号 邮政编码 100009
电 话 010-64054588 传 真 010-64014048
网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷

开 本 787×1092 1/16 版 次 1964年10月第1版
印 张 11.25 2000年9月第4版
字 数 260 000 印 次 年 月 第 次印刷
定 价 10.10元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

第四版序

本次修订是在本书第三版(1991年)基础上进行的,修订工作被列入原国家教委“九五”教材建设规划。修订的依据是1995年原国家教委高等教育司颁发的“高等工业学校工程材料及机械制造基础课程教学基本要求”,并吸取了各校教学改革的经验及广大读者对《金属工艺学》(第三版)的意见和建议。

此次修订工作的主要方面如下:

(1) 全面贯彻国家有关的最新标准,包括名词术语、符号、单位等。

(2) 坚持“少而精”的原则,突出重点。如删除了C曲线、合金吸气性、铸铁的熔炼、高合金钢的锻造特点、焊接检验等;简化了自由锻和胎模锻等。

(3) 调整了部分篇章的体系和内容。如将第三版第一篇的第一、二章合为一章;第三篇中自由锻和模型锻合为一章;第四篇中电弧焊的基础知识集中介绍;第五篇中刀具角度的内容集中叙述等。

(4) 重视和充实了新工艺、新技术的内容。如在第四篇中新编入了药芯焊丝;第五篇中增加了计算机集成制造系统、高能束加工等。

(5) 新增、更换和改正了部分插图。

本书由邓文英主编。此次修订由郭晓鹏和宋力宏分别担任上、下册的副主编,主持修订工作。参加修订工作的有郭晓鹏(绪论,第一、二篇)、裴兴华和陈洪勋(第三篇)、邢忠文(第四篇)、宋力宏和张力真(第五篇)。李严参与了第四篇的修订工作。

本书上册由清华大学李家枢教授主审,下册由中国农业大学张政兴教授主审,并于1998年11月在湛江召开的教育部“工程材料及机械制造基础课程教学指导小组”扩大会议上审订通过。

此次修订工作得到课程指导小组的指导和帮助;担任主审的两位教授认真负责地审订了书稿;参加课程指导小组扩大会议的代表提出了宝贵意见和建议。在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平所限,难免存有谬误与不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

1999年11月

第三版序

本书是以 1987 年获国家教委优秀教材二等奖的《金属工艺学》上、下册(邓文英主编 1981 年修订版)为基础,根据教育改革的要求和本课程在教学中存在的问题,参考各校课程改革的有益经验,修订、改编而成的。本书可作为高等工业学校机械类专业用的教材。

本书经修订、改编后,在教学内容和方法上突出了下列三点:

(一) 确立了本课程在学科上属于工艺学范畴的体系。在工业先进国家的高等工科学校中,本课程一般叫做《机械制造方法》、《机械工作法》或《生产工艺学》等,顾名思义,都是属于工艺学范畴的。所以本书内容以论述生产工艺为主,至于材料部分,结合我国国情,以目前使用最广、在我国仍要大力发展的钢铁和一些有色金属为引子,主要讲清制造工艺原理及应用,但不是讲授金属材料学。

(二) 本书修订时对教学进程作了灵活安排的考虑。由于我国专业较多,各专业对本课程教学内容的要求有差别,有的甚至相差很大。编者建议可采用有选择的方式进行教学,例如某专业对铸造工艺知识要求不高,则该部分内容可不进行课堂讲授,只在实习中讲一些基本知识就可以了。又如金属材料部分在本书只作为讲授工艺学的引子,如某些专业需要非金属材料知识,可以适当削减本书第一篇的内容,由讲课教师适当补充非金属材料的工艺学内容,或增设非金属材料工艺学选修课程。

(三) 本课程既属工艺学范畴,讲授时与生产实践密切结合最为重要,这也是培养现代工业优秀工程师的重要方法之一。编者认为在进行本课程的教学时,为了与实际生产密切结合既可以在课堂进行,也可以在车间进行,不必拘泥于课堂讲授与车间实习之别。

本书由邓文英(第一篇及绪论)、郭晓鹏(第二篇)、裴兴华(第三篇)、高广安(第四篇)、张力真和宋力宏(第五篇)等执笔改编,由邓文英担任主编。本书上册四篇分别由浙江大学黄振源(第一、二篇)和杭州电子工业学院何发昌(第三、四篇)两同志审阅;下册第五篇则由北京科技大学陈端树和上海交通大学孙以安两同志审阅。并在北京召开的本课程教学指导小组审稿会上定稿。

由于编者理论水平和教学经验所限,本书难免有谬误或欠妥之处,敬希读者和各校教师同行提出批评建议,共同搞好本门课程的教材建设工作,不胜企盼!

编者

1989年7月

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 金属材料导论

第一章 金属材料的主要性能	4	第四节 工业用钢简介	21
第一节 金属材料的力学性能	4	第五节 零件选材的一般原则	25
第二节 金属材料的物理、化学及 工艺性能	8	复习题	26
复习题	9	第三章 钢的热处理	27
第二章 铁碳合金	10	第一节 概述	27
第一节 纯铁的晶体结构及其同素 异晶转变	10	第二节 退火和正火	28
第二节 铁碳合金的基本组织	12	第三节 淬火和回火	30
第三节 铁碳合金状态图	15	第四节 表面淬火和化学热处理	31
		复习题	32

第二篇 铸 造

第一章 铸造工艺基础	34	第四节 综合分析举例	64
第一节 液态合金的充型	34	复习题	67
第二节 铸件的凝固与收缩	36	第四章 特种铸造	70
第三节 铸造内应力、变形和裂纹	39	第一节 熔模铸造	70
第四节 铸件的质量控制	42	第二节 金属型铸造	72
复习题	43	第三节 压力铸造	73
第二章 常用合金铸件的生产	44	第四节 低压铸造	75
第一节 铸铁件生产	44	第五节 离心铸造	76
第二节 铸钢件生产	50	第六节 其它特种铸造方法	77
第三节 铜、铝合金铸件生产	52	第七节 常用铸造方法的比较	80
复习题	54	复习题	80
第三章 砂型铸造	55	第五章 铸件结构设计	82
第一节 造型方法的选择	55	第一节 铸件结构与铸造工艺的关系	82
第二节 浇注位置和分型面的选择	59	第二节 铸件结构与合金铸造性能的关系	84
第三节 工艺参数的选择	63	复习题	88

第三篇 金属压力加工

第一章 金属的塑性变形	91	第二节 塑性变形对金属组织和性能 的影响	92
第一节 金属塑性变形的实质	91		

第三节 金属的可锻性	94	第二节 变形工序	116
复习题	96	第三节 冲模简介	120
第二章 锻造	97	第四节 冲压件的结构工艺性	121
第一节 锻造方法	97	复习题	124
第二节 锻造工艺规程的制订	105	第四章 特种压力加工方法简介	125
第三节 锻件结构的工艺性	109	第一节 精密模锻	125
复习题	111	第二节 零件挤压	125
第三章 板料冲压	114	第三节 零件轧制	127
第一节 分离工序	114	复习题	129
第四篇 焊 接			
第一章 电弧焊	131	第五节 真空电子束焊接	154
第一节 焊接电弧	131	第六节 激光焊接	155
第二节 焊接接头的组织与性能	132	复习题	155
第三节 焊接应力与变形	134	第三章 常用金属材料的焊接	157
第四节 焊条电弧焊	136	第一节 金属材料的焊接性	157
第五节 埋弧焊	139	第二节 碳钢的焊接	158
第六节 气体保护焊	141	第三节 合金结构钢的焊接	159
第七节 等离子弧焊接与切割	144	第四节 铸铁的补焊	160
第八节 微型计算机在电弧焊中的应用 ...	145	第五节 非铁金属及其合金的焊接	161
复习题	146	复习题	162
第二章 其它常用焊接方法	148	第四章 焊接结构设计	163
第一节 电阻焊	148	第一节 焊接结构件材料的选择	163
第二节 摩擦焊	151	第二节 焊接接头的工艺设计	164
第三节 钎焊	151	复习题	169
第四节 电渣焊	153		

绪 论

金属工艺学是一门传授有关制造金属零件工艺方法的综合性技术基础课。它主要传授各种工艺方法本身的规律性及其在机械制造中的应用和相互联系；金属零件的加工工艺过程和结构工艺性；常用金属材料性能对加工工艺的影响；工艺方法的综合比较等。

制造金属零件的基本工艺方法有下列几种：铸造、压力加工、焊接、切削加工和热处理等。在机械制造过程中，通常是先用铸造、压力加工或焊接等方法制成毛坯，再进行切削加工，然后得到所需的零件。当然，铸造、压力加工、焊接等工艺方法有时也可直接生产出零件。此外，为了改善零件的某些性能，常要经过热处理或其它处理，最后将制成的零件经过装配、调试，合格后才成为机器或其它产品。

金属工艺学是一门综合性技术基础课，它指明了本学科的特点和发展趋势。任何学科要发展，就要吸收和运用其它学科的成果、技术方法或新的研究工具，也就是说，要进行某种程度的综合。从传统的学科分类来看，本学科包括冷热加工的各种工艺，本身的综合性已较强，这就更有利于把各有关学科的最新成就加以应用。“综合就是创造”。例如，全自动机床，它包含普通机床及微机自控机床的某些组成部分，以及机械手系统、刀具磨损补偿和自动换刀系统、机械故障报警及维修诊断系统等，这就是机和电综合所形成的新产品。没有综合就不可能制造出这样高质量的新机器。

现代科学技术的发展更新了机械制造的观念，传统的机械制造过程有了改变，生产中的工艺也不同了。从当前工业发达国家的情况来看，机械制造工艺具有如下的发展趋势：

首先是生产的工艺基础变了。最主要的变化是在直接生产的环节中，采用物化知识的职能来代替人，使人从直接参加生产劳动变为主要负责控制生产。

其次是在采用先进工艺和高效专用设备的条件下，使工艺专业化。如日本铸造专业化生产的铸件已占全国产量的 95%，其它工业发达国家最低也占 60% 以上。

第三是机械加工技术柔性化。要完成多品种、小批量零件的加工，工艺人员为了获得最佳组合，不仅要掌握工艺技术和管埋技术，还要掌握大量的信息和计算机技术。

随着科学技术和生产力的不断发展，金属工艺学的内容构成也有所发展。应当指出，本课程的发展必然是有关学科的相互渗透和综合，而不是兼收并蓄、包罗万象、内容越来越庞杂。它仍属工艺学范畴。

金属工艺学是机械类各专业必修的技术基础课。在教学过程中，和其它课程一样，都要完成传授知识、训练技能和培养能力这三方面的任务。但要指出，知识、技能和能力是三个不同的概念，而且从掌握知识到形成能力不是直接的，要以技能为中介。譬如，领会了球墨铸铁的熔炼和球化原理，只是属于知识范畴，唯有通过实践，顺利地生产出各种合格的球墨铸铁件，才有可能形成生产球墨铸铁的能力。

金属工艺学是实践性很强的技术基础课，它有利于对学生进进行技能训练，有利于培养学生具有更高的实际能力和开拓精神。

有人把技能仅仅理解为能动手操作工具和设备，或者能够进行实验，这样的理解是不够的。其实，技能训练除操作技能外，还有工程实践和工程意识训练。应该把书本学习和实践学习结合起来，明确地把技能训练作为教学计划的有机组成部分，这样才符合我国培养高质量人才的需要。

第一篇 金属材料导论

金属材料是现代制造机械最主要材料。在各种机床、矿山机械、冶金设备、动力设备、农业机械、石油化工和交通运输机械中，金属制品占 80% ~ 90%。金属材料之所以获得如此广泛的应用，主要是由于它具有制造机器所需要的物理、化学和力学性能；并且可用较简便的工艺方法加工成适用的机械零件，亦即具有所需的工艺性能。

机械制造中所用的金属材料以合金为主，很少使用纯金属，原因是合金比纯金属具有更好的力学性能和工艺性能，且价格低廉。合金是以一种金属为基础，加入其它金属或非金属，经过熔炼或烧结制成的具有金属特性的材料。最常用的合金是以铁为基础的铁碳合金，如碳素钢、合金钢、灰铸铁等；还有以铜或铝为基础的黄铜、青铜、硅铝明等。

用来制造机械设备的金属及合金，应具有优良的力学性能和工艺性能、较好的化学稳定性和所需的物理性能。因此，在设计零件时，必须首先熟悉金属及合金的各种主要性能，方能依据零件的技术要求合理地选用所需的金属材料。

本篇主要介绍金属材料的基础知识，为学习本课程中铸造、压力加工和焊接等加工工艺奠定必要的基础。

第一章 金属材料的主要性能

第一节 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能又称机械性能，是材料在力的作用下所表现出来的性能。力学性能对金属材料的使用性能和工艺性能有着非常重要的影响。金属材料的主要力学性能有：强度、塑性、硬度、韧性、疲劳强度等。

一、强度与塑性

金属材料的强度和塑性是通过拉伸试验测定出来的。

拉伸试验是在拉伸试验机上进行的。试验之前，先将被测金属材料制成图 1-1 所示的标准试样(参见 GB 6397—86《金属拉伸试样》)，图中 d_0 为试样直径， l_0 为测定塑性用的标距长度。试验时，在试样两端缓慢地施加轴向拉伸载荷，使试样承受轴向静拉力。随着载荷不断增加，试样被逐步拉长，直到拉断。在拉伸过程中，试验机将自动记录每一瞬间的载荷 F 和伸长量 l ，并绘出拉伸曲线。

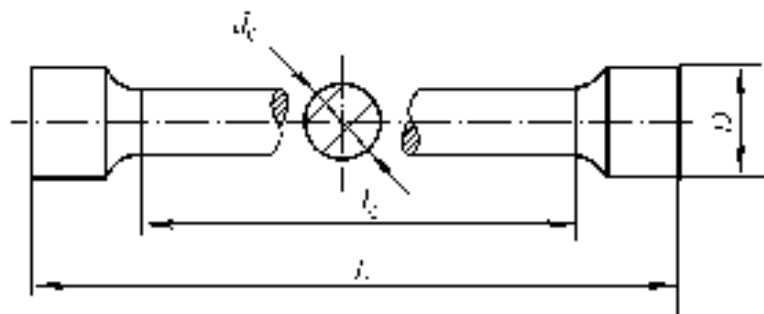


图 1-1 拉伸试样

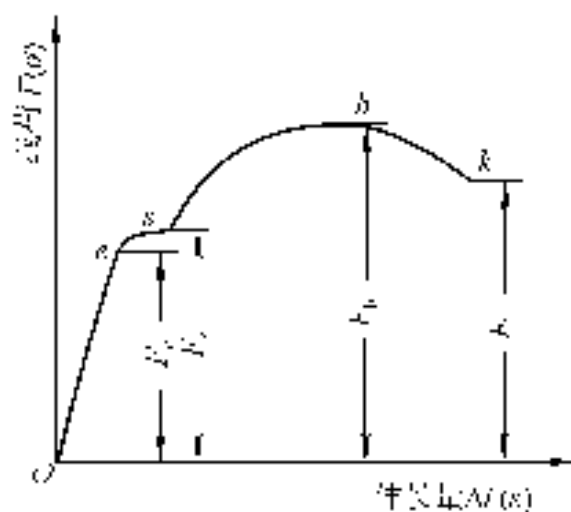


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

图 1-2 所示为低碳钢的拉伸曲线。由图可见，在开始的 Oe 阶段，载荷 F 与伸长量 l 为线性关系，并且，去除载荷，试样将恢复到原始长度。在此阶段试样的变形称为弹性变形。载荷超过 F_e 之后，试样除发生弹性变形外还将发生塑性变形。此时，载荷去除后试样不能恢复到原始长度，这是由于其中的塑性变形已不能恢复，形成了永久变形的缘故。当载荷增大到 F_s 之后，拉伸图上出现了水平线段，这表示载荷虽未增加，但试样继续发生塑性变形而伸长，这种现象称为“屈服”， s 点称为屈服点。当载荷超过 F_b 以后，试样上某部分开始变细，出现了“缩颈”，由于其截面缩小，使继续变形所需载荷下降。载荷到达 F_k 时，试样在缩颈处断裂。

为使曲线能够直接反映出材料的力学性能，可用应力——试样单位横截面上的拉力， $\frac{4F}{d_0^2}$ 代替载

荷 F ，以应变——试样单位长度上的伸长量， $\frac{l}{l_0}$ 取代伸长量 l 。由此绘成的曲线，称作应力-应变曲线。 σ - ϵ 曲线和 F - l 曲线形状相同，仅是坐标的含义不同。

1. 强度

强度是金属材料在力的作用下，抵抗塑性变形和断裂的能力。强度有多种判据，工程上以屈服点和抗拉强度最为常用。

(1) 屈服点 它是指拉伸试样产生屈服现象时的应力。它可按下列式计算：

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (\text{M Pa})$$

式中： F_s ——试样发生屈服时所承受的最大载荷，N；

A_0 ——试样原始截面积， mm^2 。

对于许多没有明显屈服现象的金属材料，工程上规定以试样产生 0.2% 塑性变形时的应力，作为该材料的屈服点，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

(2) 抗拉强度 指金属材料在拉断前所能承受的最大应力，以 σ_b 表示。它可按下列式计算：

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (\text{M Pa})$$

式中： F_b ——试样在拉断前所承受的最大载荷，N；

A_0 ——试样原始截面积， mm^2 。

屈服点 σ_s 和抗拉强度 σ_b 在选择、评定金属材料及设计机械零件时具有重要意义。由于机器零件或构件工作时，通常不允许发生塑性变形，因此多以 σ_s 作为强度设计的依据。对于脆性材料，因断裂前基本不发生塑性变形，故无屈服点可言，在强度计算时，则以 σ_b 为依据。

2. 塑性

塑性是指金属材料产生塑性变形而不被破坏的能力，通常以伸长率 δ 来表示：

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中： l_0 ——试样原始标距长度， mm ；

l_1 ——试样拉断后的标距长度， mm 。

必须指出，伸长率的数值与试样尺寸有关，因而试验时应对所选定的试样尺寸作出规定，以便进行比较。如 $l_0 = 10d_0$ 时，用 δ_{10} 或 $\delta_{10\%}$ 表示； $l_0 = 5d_0$ 时，用 δ_5 表示。

金属材料的塑性也可用断面收缩率 ψ 表示：

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中： A_0 ——试样的原始截面积， mm^2 ；

A_1 ——试样拉断后，断口处截面积， mm^2 。

δ 和 ψ 值愈大，材料的塑性愈好。良好的塑性不仅是金属材料进行轧制、锻造、冲压、焊接的必要条件，而且在使用时万一超载，由于产生塑性变形，能够避免突然断裂。

二、硬度

金属材料抵抗局部变形，特别是塑性变形、压痕的能力，称为硬度。硬度是衡量金属软硬

的判据。硬度直接影响到材料的耐磨性及切削加工性，因为机械制造中的刀具、量具、模具及工件的耐磨表面都应具有足够高的硬度，才能保证其使用性能和寿命。若所加工的金属坯料的硬度过高时，则给切削加工带来困难。显然，硬度也是重要的力学性能指标，应用十分广泛。

金属材料的硬度是在硬度计上测定的。常用的有布氏硬度法和洛氏硬度法，有时还采用维氏硬度法。

1. 布氏硬度(HB)

布氏硬度的测试原理如图 1- 3 所示。以直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球为压头，在载荷 F 的静压力下，将压头压入被测材料的表面(图 1- 3a);停留若干秒后，卸去载荷(图 1- 3b)。然后，采用带刻度的专用放大镜测出压痕直径 d ，并依据 d 的数值从专门的硬度表格中查出相应的 HB 值。

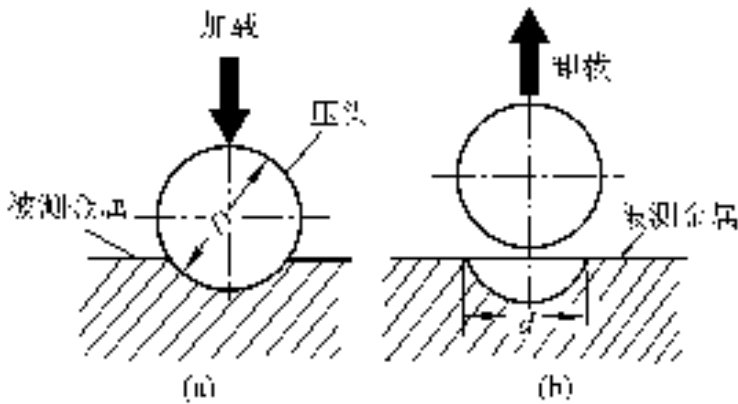


图 1- 3 布氏硬度法

布氏硬度计的压头直径有 10 mm、5 mm、2.5 mm 三种，而载荷有 30 000 N、7 500 N、1 870 N 等数种，供不同材料和不同厚度试样测试时选用。其中常用的压头直径为 10 mm，载荷为 30 000 N。

布氏硬度法因压痕面积较大、其硬度值比较稳定，故测试数据重复性好，准确度较洛氏硬度法高。缺点是测量费时，且因压痕较大，不适于成品检验。由于测试过硬的材料可导致钢球的变形，因此布氏硬度通常用于 HB 值小于 450 的材料，如灰铸铁、非铁合金及较软的钢材。必须看到，新型布氏硬度计设计有硬质合金球压头，从而可用于测试淬火钢等较硬金属的硬度，使布氏硬度法的适用范围扩大。

为了区别不同压头测出的硬度值，将钢球压头测出的硬度值标以符号 HBS，而将硬质合金球压头测出的硬度值标以 HBW。

2. 洛氏硬度(HR)

洛氏硬度的测试原理

洛氏硬度的测试原理是以顶角为 120 度金刚石圆锥体(或 1.588 mm 淬火钢球)为压头，在规定的载荷下，垂直地压入被测金属表面，卸载后依据压入深度 h ，由刻度盘上的指针直接指示出 HR 值(图 1- 4)。

为使洛氏硬度计能够测试从软到硬各种材料的硬度，其压头及载荷可以变更，而刻度盘上也有三个不同的硬度标尺。表 1- 1 列出了各个硬度标尺的压头、总载荷及其适用材料。其中，HRC 在生产中应用最广。

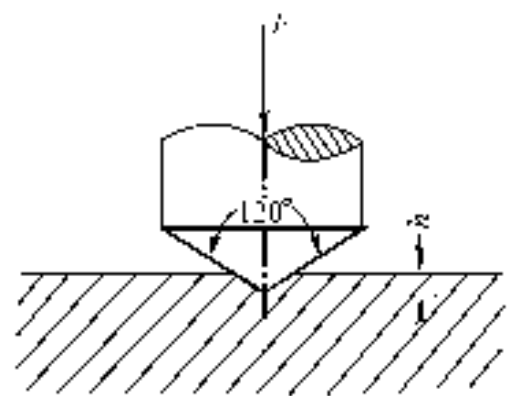


图 1- 4 洛氏硬度的测定

表 1- 1 洛氏硬度的测试规范

标尺	压头	总载荷/N	适用测试材料	有效值
HRA	120 度金刚石圆锥体	600	硬质合金、表面淬火钢	70~85
HRB	1.588 mm 淬火钢球	1 000	退火钢、非铁合金	25~100
HRC	120 度金刚石圆锥体	1 500	一般淬火钢件	20~67

洛氏硬度测试简单、迅速，因压痕小，可用于成品检验。它的缺点是测得的硬度值重复性较差，这对存有偏析或组织不均匀的被测金属尤为明显，为此，必须在不同部位测量数次。

硬度试验设备简单，测试迅速，不损坏被测零件。同时，硬度和强度间有一定换算关系(可参阅有关手册)，故在零件图的技术条件中，通常标注出硬度要求。

三、韧性

金属材料断裂前吸收的变形能量称作韧性。韧性的常用指标为冲击韧度。

冲击韧度通常采用摆锤式冲击试验机测定。测定时，一般是将带缺口的标准冲击试样(参见GB/T 229—94)放在试验机上，然后用摆锤将其一次冲断，并以试样缺口处单位截面积上所吸收的冲击功表示其冲击韧度，即

$$a_k = \frac{A_k}{A} \quad (\text{J/cm}^2)$$

式中： a_k ——冲击韧度(冲击值)；

A_k ——冲断试样所消耗的冲击功，J；

A ——试样缺口处的截面积， cm^2 。

对于脆性材料(如铸铁、淬火钢等)的冲击试验，试样一般不开缺口，因为开缺口的试样冲击值过低，难以比较不同材料冲击性能的差异。

冲击值的大小与很多因素有关。它不仅受试样形状、表面粗糙度、内部组织的影响，还与试验时的环境温度有关。因此，冲击值一般作为选择材料的参考，不直接用于强度计算。

必须指出，承受冲击载荷的机器零件，很少是在大能量下一次冲击而破坏的，而大多是受到小能量多次重复冲击而破坏的，如连杆、曲轴、齿轮等。因此，在大能量、一次冲断条件下来测定冲击韧度，虽然方法简便，但对大多数在工作中承受小能量重复冲击的机件来说就不一定适合。不过试验研究表明：在冲击载荷不太大的情况下，金属材料承受多次重复冲击的能力，主要取决于强度，而不要求过高的冲击韧度。例如，用球墨铸铁制造的曲轴，只要强度足够，其冲击韧度达 $8 \sim 15 \text{ J/cm}^2$ 时，就能获得满意的使用性能。

还需指出，冲击值对组织缺陷很敏感，它能反映出材料品质、宏观缺陷和显微组织等方面的变化，因此，冲击试验是生产上用来检验冶炼、热加工、热处理等工艺质量的有效方法。

四、疲劳强度

机械上的许多零件，如曲轴、齿轮、连杆、弹簧等是在周期性或非周期性动载荷(称为疲劳载荷)的作用下工作的。这些承受疲劳载荷的零件发生断裂时，其应力往往大大低于该材料的强度极限，这种断裂称作疲劳断裂。

金属材料所承受的疲劳应力()与其断裂前的应力循环次数(N)，具有图1-5所示的疲劳曲线关系。当应力下降到某值之后，疲劳曲线成为水平线，这表示该材料可经受无数次应力循环而仍不发生疲劳断裂，这个应力值称为疲劳极限或疲劳强度，亦即金属材料在无数次循环载荷作用下不致引起断裂的最大应力。当应力按正弦曲线对称循环时，疲劳强度以符号 σ_{-1} 表示。

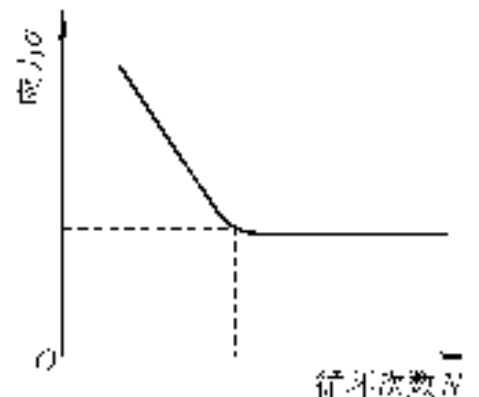


图 1-5 疲劳曲线

由于实际测试时不可能做到无数次应力循环，故规定各种金属材料应有一定的应力循环基数。如钢材以 10^7 为基数，即钢材的应力循环次数达到 10^7 仍不发生疲劳断裂，就认为不会再发生疲劳断裂了。对于非铁合金和某些超高强度钢，则常取 10^8 为基数。

产生疲劳断裂的原因，一般认为是由于材料含有杂质、表面划痕及其它能引起应力集中的缺陷，导致产生微裂纹。这种微裂纹随应力循环次数的增加而逐渐扩展，致使零件有效截面逐步缩减，直至不能承受所加载荷而突然断裂。

为了提高零件的疲劳强度，除应改善其结构形状、减少应力集中外，还可采取表面强化的方法，如提高零件的表面质量、喷丸处理、表面热处理等。同时，应控制材料的内部质量，避免气孔、夹杂等缺陷。

第二节 金属材料的物理、化学及工艺性能

一、物理性能

金属材料的物理性能主要有密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性和磁性等。由于机器零件的用途不同，对其物理性能的要求也有所不同。例如，飞机零件常选用密度小的铝、镁、钛合金来制造；设计电机、电器零件时，常要考虑金属材料的导电性等。

金属材料的物理性能有时对加工工艺也有一定的影响。例如，高速钢的导热性较差，锻造时应采用低的速度来加热升温，否则容易产生裂纹；而材料的导热性对切削刀具的温升有重大影响。又如，锡基轴承合金、铸铁和铸钢的熔点不同，故所选的熔炼设备、铸型材料等均有很大的不同。

二、化学性能

金属材料的化学性能主要是指在常温或高温时，抵抗各种介质侵蚀的能力，如耐酸性、耐碱性、抗氧化性等。

对于在腐蚀介质中或在高温下工作的机器零件，由于比在空气中或室温时的腐蚀更为强烈，故在设计这类零件时应特别注意金属材料的化学性能，并采用化学稳定性良好的合金。如化工设备、医疗用具等常采用不锈钢来制造，而内燃机排气阀和电站设备的一些零件则常选用耐热钢来制造。

三、工艺性能

工艺性能是金属材料物理、化学性能和力学性能在加工过程中的综合反映，是指是否易于进行冷、热加工的性能。按工艺方法的不同，可分为铸造性、可锻性、焊接性和切削加工性等。

在设计零件和选择工艺方法时，都要考虑金属材料的工艺性能。例如，灰铸铁的铸造性能优良，是其广泛用来制造铸件的重要原因，但它的可锻性极差，不能进行锻造，其焊接性也较差。又如，低碳钢的焊接性优良，而高碳钢则很差，因此焊接结构广泛采用低碳钢。

各种工艺性能将在以后有关章节中分别介绍。

复 习 题

- (1) 什么是应力？什么是应变？
- (2) 缩颈现象发生在拉伸图上哪一点？如果没有出现缩颈现象，是否表示该试样没发生塑性变形？
- (3) 将钟表发条拉直是弹性变形还是塑性变形？怎样判别它的变形性质？
- (4) 布氏和洛氏硬度法各有什么优缺点？下列情况应采用哪种硬度法来检查其硬度？
库存钢材 硬质合金刀头
锻 件 台虎钳钳口
- (5) 下列符号所表示的力学性能指标的名称和含义是什么？

σ_b σ_s $r_{0.2}$ σ_{-1} a_k HRC HBS HBW

第二章 铁 碳 合 金

钢和铸铁是制造机器设备的主要金属材料，它们都是以铁、碳为主组成的合金，即铁碳合金。其中，铁的含量大于 95%，是最基本的组元。因此，欲了解钢和铸铁的本质，首先要了解纯铁的晶体结构。

第一节 纯铁的晶体结构及其同素异晶转变

一、金属的结晶

金属在固态下一般都是晶体，即原子在空间呈规律性排列；而在液态下，金属原子的排列并不规则。因此，金属的结晶就是金属液体转变为晶体的过程，亦即金属原子由无序到有序的排列过程。

纯金属的结晶是在一定的温度下进行的，它的结晶过程可用冷却曲线(图 1- 6)来表示。冷却曲线是用热分析法测定出来的。从图 1- 6 可以看出，曲线上有一水平线段，这就是实际结晶温度，因为结晶时放出的结晶潜热使温度不再下降，所以该线段是水平的。从图中还可看出，实际结晶温度低于理论结晶温度(平衡结晶温度)，这种现象叫作“过冷”。理论结晶温度与实际结晶温度之差，称作过冷度。过冷度的大小与冷却速度密切相关。冷却速度愈快，实际结晶温度就愈低，过冷度就愈大；反之，冷却速度愈慢，过冷度愈小。

液态金属的结晶过程是遵循“晶核不断形成和长大”这个结晶基本规律进行的。图 1- 7 为金属结晶过程示意图。开始时，液体中先出现的一些极小晶体，称作晶核。在这些晶核中，有些是依靠原子自发地聚集在一起，按金属晶体固有规律排列而成的，这些晶核称为自发晶核。金属的冷却速度愈快，自发晶核愈多。另外，液体中有时有些高熔点杂质形成的微小固体质点，其中某些质点也可起晶核

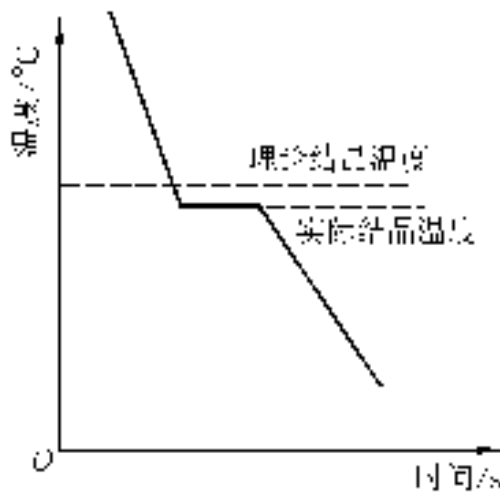


图 1- 6 纯金属的冷却曲线

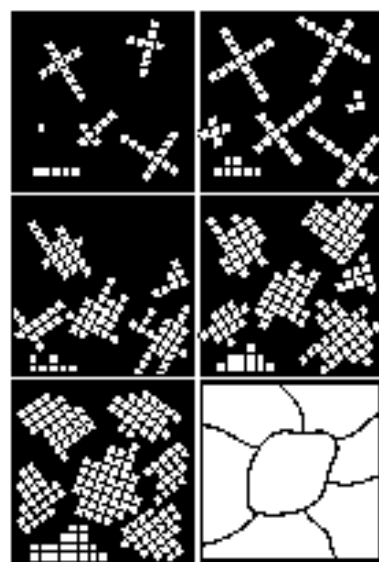


图 1- 7 结晶过程示意图

作用，这种晶核叫作外来晶核或非自发晶核。在晶核出现之后，液态金属的原子就以它为中心，按一定几何形状不断地排列起来形成晶体。晶体沿着各个方向生长的速度是不均匀的，通常按照一次晶轴、二次晶轴……呈树枝状长大。在原有晶体长大的同时，在剩余液体中又陆续出现新的晶核，这些晶核也同样长大成晶体。这样就使液体愈来愈少。当晶体长大到与相邻的晶体互相接触时，这个方向的长大便停止了。当全部晶体都彼此相遇、液体耗尽时，结晶过程即告结束。