

■ 高等学校教材

金属工艺学

(热加工部分)

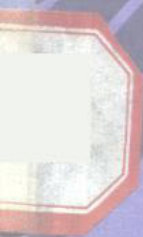
■ 陈寿祖 郭晓鹏 主编

■ 高等教育出版社

金属工艺学(热加工部分)

陈寿祖 郭晓鹏 主编

第1版



1

简 介

本书系根据1980年5月《高等工业学校金属工艺学(机械类)教学大纲(草案)》及1984年4月《金属工艺学教学大纲(机械类)补充说明》,结合金工教改经验编写而成。

全书分“机械制造常用材料”和“毛坯生产”两篇,共14章。“常用材料”篇相当传统教材中的“金属性质”,主要为各种热加工工艺奠定基础。“毛坯生产”篇的深广度与即将颁布的《工程材料与机械制造基础课程教学基本要求》中有关“热加工工艺基础”部分基本适应。

本书图例较为新颖,复习题较为丰富,并编入了部分自学资料,以培养学生的自学能力。

本书经国家教委金属工艺学课程教学指导小组审定,可作为高等工科院校机械类各专业教材,也可供职工大学机械类各专业和工程技术人员参考。

高等学校教材 金 属 工 艺 学 (热加工部分)

陈寿祖 郭晓鹏 主编

*

高等教育出版社出版
新华书店上海发行所发行
上海市中华印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 16.25 字数 372,000

1987年10月第1版 1987年10月第1次印刷

印数 00001—5,750

ISBN 7-04-000184-5/TH·7

书号 15010-0913 定价 2.75元

前 言

本教材以1980年5月原教育部机械基础教材编审委员会金属工艺学编审小组审订的《高等工业学校金属工艺学(机械类)教学大纲(草案)》以及1984年4月公布的《金属工艺学教学大纲(机械类)补充说明》为依据,汲取了国外同类教材的某些优点,并结合近年国内高等工科院校金工教改经验编写而成。

本书包括“机械制造常用材料”与“毛坯生产”两篇。前者,相当于传统教材中的“金属性质”;它主要为学习“毛坯生产”奠定必要的基础,这对于“工程材料”目前尚难于提前进行的院校来说,仍然是非常必要的。“毛坯生产”篇内容的深广度与即将颁布的《工程材料与机械制造基础课程教学基本要求》中有关“热加工工艺基础”部分基本适应。因此,本书可作为高等工科院校机械类各专业教材,也可供职工大学机械类各专业和工程技术人员参考。

为了突出课程主线,本书删略了一些传统的繁琐枝节内容,注意了与金工实习的分工与配合。全书以基本加工方法的分析为重点,强调机器制造过程的整体概念与经济性,并注重入门方法训练。全书内容通过讲授、实验、课堂讨论、自学与习题五个环节贯彻,其中以讲授与课堂讨论为重点。与有些教材相比,本书的图、表、示例绝大部分作了更新,并采用新国标,所用符号按ISO规定,计量单位采用我国的法定计量单位。

书中各章都安排了一定数量的思考性复习题,其中有些习题不能从书中直接找到现成答案,希望在教师引导下展开一些课内、外讨论。某些解题条件,要求学生在合理范围内进行选择或假设。这些都有利于提高学生分析问题与解决问题的能力,并激发他们的学习兴趣。

本书除包括大纲要求的内容外,还特意安排了部分课外阅读资料(书中注有*号的章节),以培养学生的自学能力。编者认为这些内容是当今工程技术人员必不可少的材料与工艺基础知识,故作了必要的补充。例如:在“绪论”中安排了“机械制造基本过程”与“机械制造的经济性原则”两节,目的是使学生将实习中得到的零散感性知识系统化起来,并初步建立起经济观点;在第四章中增加了“钢铁的冶炼”与“钢的成材”等自学内容,介绍了钢铁中硫、磷的来源与脱硫、脱磷、脱氧原理,并从中引出了碱性法、酸性法、镇静钢、沸腾钢等概念;“粉末冶金”(第五章)与“工程塑料”(第六章)介绍了这两种日益重要的工程材料的选用与制品的结构工艺性;“金属制品的无损检验”(第十三章)介绍了常用可靠性检验方法的原理与应用。在锻压、焊接等部分也都安排了适量的自学内容,以补充教学大纲规定的不足。值得特别指出的是,本书还增编了“毛坯选择”(第十四章)一章。这一章是对全书金属材料与毛坯生产各章内容的归纳。该章通过一些实例,说明了各类毛坯的特点与选用原则,并讨论了影响毛坯成本与质量的一些重要因素,希望通过课堂讨论,学生能把材料与热加工各章内容融会贯穿起来。本书以“三个面向”的精神为指导,内容除联系我国四化建设的生产实际外,也有意介绍了一些工艺新发展;而且,为了便于教师在课堂引用与学生进一步阅读国外资料,在书末附录中还分类列出了本课

程所用一些技术名词的中、英文对照表,以供参考。

本书由陈寿祖、郭晓鹏主编,参加编写人员及分工是:陈寿祖(前言、绪论、第五、六、十三、十四章及附录);郭晓鹏(第一、二、三、四、七、八章);李庆吉(第九、十章);李振明(第十一、十二章)。

本书由徐允长、张树魁、黄振源三同志担任审阅。经金属工艺学课程教学指导小组审定。在编审过程中,审阅人对本书提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢!

由于编者水平有限,在教改中探索的一些经验也不成熟,书中难免存在错误或欠妥之处,敬祈读者指正。

编 者

一九八六年十二月

目 录

前言	iii
绪论	1
§ 0-1 机械制造基本过程	1
§ 0-2 机械制造的经济性原则	3
第一篇 机械制造常用材料	6
第一章 金属材料的机械性能	6
§ 1-1 弹性、强度与塑性	6
§ 1-2 硬度	9
*§ 1-3 其它机械性能	10
第二章 铁碳合金状态图	13
§ 2-1 金属的结晶及其同素异晶转变	13
§ 2-2 铁碳合金的基本组织	16
§ 2-3 铁碳合金状态图	18
第三章 钢的热处理	27
§ 3-1 钢的退火和正火	27
§ 3-2 钢的淬火和回火	29
*§ 3-3 钢的表面热处理简介	32
第四章 金属材料	35
§ 4-1 工业用钢	35
§ 4-2 铸铁	47
*§ 4-3 有色合金	56
*第五章 粉末冶金	61
§ 5-1 特点与应用	61
§ 5-2 粉末冶金的主要工序	62
§ 5-3 粉冶制品的结构工艺性	65
*第六章 工程塑料	69
§ 6-1 工程塑料的选用	70
§ 6-2 塑料制品的加工方法	73
§ 6-3 塑料制品的结构工艺性	76
第二篇 毛坯生产	80
第七章 铸造工艺基础	80
§ 7-1 砂型铸造基本工艺	80
§ 7-2 铸造工艺方案的确定	87

§ 7-3 合金的铸造性能及其对铸件质量的影响	98
*§ 7-4 合金铸件的熔铸特点	106
§ 7-5 铸件的结构工艺性	110
第八章 特种铸造	124
§ 8-1 金属型铸造	124
§ 8-2 压力铸造	125
§ 8-3 低压铸造	123
§ 8-4 熔模铸造	129
§ 8-5 离心铸造	132
*§ 8-6 壳型铸造	133
第九章 锻造	136
§ 9-1 金属的塑性变形	136
§ 9-2 自由锻造	144
§ 9-3 模型锻造	152
第十章 冲压	168
§ 10-1 冲压设备	168
§ 10-2 冲裁	169
§ 10-3 弯曲	170
§ 10-4 拉深	172
*§ 10-5 其它冲压成形方法	177
*§ 10-6 冲模	178
§ 10-7 挤压	179
第十一章 常用焊接方法	184
§ 11-1 手弧焊	184
§ 11-2 埋弧自动焊	190
§ 11-3 二氧化碳气体保护焊	192
§ 11-4 氩弧焊	193
§ 11-5 等离子弧焊接与切割	194
§ 11-6 电阻焊	196
*§ 11-7 摩擦焊	199
*§ 11-8 其它焊接方法	200
第十二章 焊接结构	204

§12-1 影响焊接结构质量的因素	204	§13-3 超声波探伤	231
§12-2 常用结构材料的焊接	211	§13-4 渗透探伤	232
§12-3 焊接结构设计	217	第十四章 毛坯选择	234
*第十三章 金属制品的无损检验	228	§14-1 不同毛坯的特点	234
§13-1 致密性检验	228	§14-2 影响毛坯成本与质量的因素	240
§13-2 磁性探伤	229	附录 技术名词中、英文对照表	247

绪 论

“金属工艺学”是一门以研究制造金属机件加工工艺为主的综合性技术科学, 它涉及机械制造从材料到热、冷加工各方面。所以, 我国高等工科院校中的不少专业将它列为必修的技术基础课。为便于理解各种加工方法的工艺特点及其相互关系, 有必要先对机械制造的全过程作一概括介绍, 然后再说明有关机械制造经济性的几条基本原则, 作为全书内容的导言。

§ 0-1 机械制造基本过程

机械制造过程包括以下几个主要环节:

一、产品设计

设计者从市场需要出发, 不仅应考虑产品的使用功能, 而且为了满足用户心理, 便于销售, 还应考虑产品的艺术性(如外形美观), 并由此决定全机的总体布置。整体方案确定之后, 便可具体设计全机的各零、部件。此时, 应根据零件在全机中所起的作用(功能)与工作条件, 综合考虑所要求的机械性能、理化性能、工艺性能以及成本等因素, 从而选择最合适的材料, 并定出零件的结构、形状、尺寸细节, 以及精度与粗糙度等要求, 然后绘出图纸。零件的结构应设计得既能满足功能要求, 又容易加工成形。这样的零件才称为具有良好的结构工艺性。

二、工艺准备

根据工厂计划部门下达的生产任务书中规定的批量要求以及图纸规定的技术要求, 由工厂负责工艺的科室(组)决定零件中哪些属于外购的标准件(如各种标准的螺母、螺栓、垫圈、滚珠轴承); 哪些是委托外厂加工的协作件; 哪些是本厂加工的零件。对于本厂加工的零件, 应从整体经济效益出发, 兼顾产品的成本与质量, 选择最合适的制成工件形状的方法(如铸、锻、冲压工艺), 改变工件尺寸与精度的方法(如切削加工)、改变工件性能的方法(如热处理)、改变零件表面质量的方法(如电镀、发蓝等表面处理), 以及零件或材料之间的连接方法(如焊接、粘结)等等, 并订出有关的工艺规程与工艺卡。工厂负责工艺的科室(组)还要设计出各工序所用的专用模具、夹具、刀具和量具(它们统称为工艺装备, 简称“工装”), 交本厂工具车间生产。一些标准的刀具、量具则为外购件。

三、毛坯生产

产品的各零件大多由毛坯或坯料加工而成。毛坯的外形与零件近似, 其需要加工部分的外部尺寸大于零件的相应尺寸, 而孔腔尺寸则小于零件的相应尺寸。毛坯尺寸与零件尺寸之差即为毛坯的加工余量。常用的毛坯有铸件、锻件、冲压件等。某些箱体、支架、立柱也可用型材(如工字钢、角钢、槽钢)或钢板焊接而成, 或用铸钢件、锻件与型钢拼焊而成。某些尺寸不大的轴类、销类、套类零件常直接用棒料切削加工而成。

近年非金属材料(如工程塑料)在机器制造业中应用越来越广。它们多具有耐蚀、绝缘、质

轻、价廉、美观等优点,在不少场合可代替金属材料使用。塑料毛坯通常用模压、注塑、浇铸、挤压、吹塑等方法成形。

四、切削加工

绝大部分零件必须经过切削加工才能获得符合要求的精度与表面光洁的成品。零件可能包含有外圆面、平面、孔、沟槽、螺纹或其它成形面,所以毛坯或坯料经常要经过若干道切削工序,例如:车、铣、刨、钻、铰、镗、攻丝与磨削等工序,才能成为成品零件。由于工艺的需要,这些工序又可分为粗加工、半精加工与精加工。根据批量不同,零件可以安排在通用机床或高生产率的专用机床上加工。

为了发挥材料的性能潜力,或为了适应某些工序的需要,人们常要对材料性能加以调整,需要在某些工序之前(或后)对零件进行热处理。所谓热处理是指将金属材料在固态下加热到不同温度,不同的保温时间,并以不同冷却速度和冷却方法,以获得不同组织,从而获得所要求性能的一种工艺。热处理之后零件可能有少量变形或表面氧化,所以精加工(如磨削)常常安排在最终热处理之后进行。

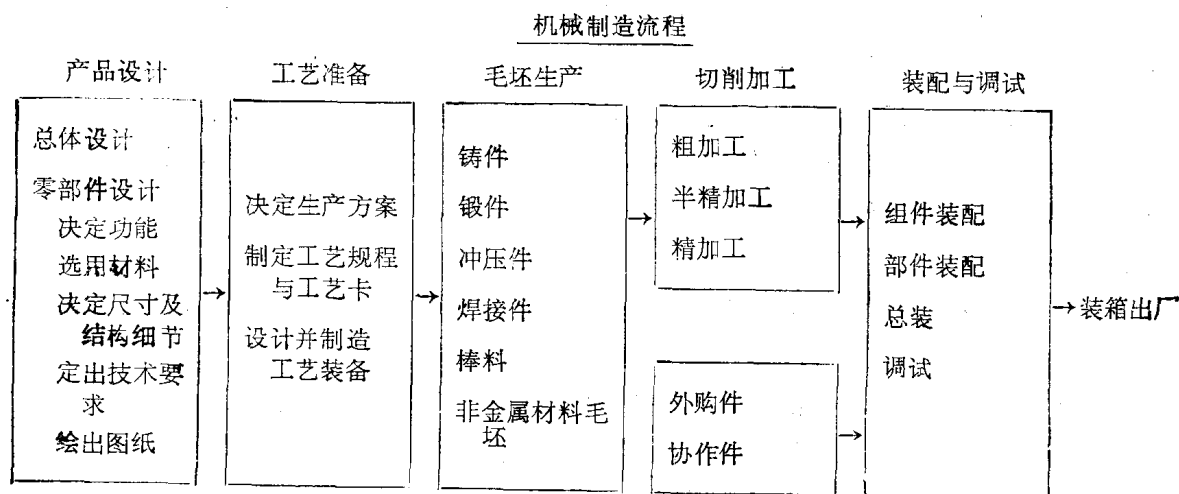
有些零件出于防蚀或美观等原因,还要进行表面处理,如发蓝、电镀等;机器上某些外露的非加工表面则常要涂刷油漆。

五、装配与调试

加工完毕并检验合格的各零件,先装配成组件。如车床主轴箱的某根传动轴组件,即由轴、齿轮、键等组装而成。组件及一些有关零件再装配成部件,如上述的主轴箱即为车床的一个部件,它由若干根传动轴组件与轴承、离合器、箱体、箱盖、紧固件、密封件等装成。最后,各部件(如主轴箱、尾座、床身、送进箱、丝杆等)总装成整台车床。整机质量不但与零件材质及加工质量有关,在很大程度上还与装配质量有关;而且,在总制造工时中,装配工时常占有较大比重。所以,装配是机械制造过程中一道非常重要的工序。

总装完成之后,还要对整机进行调试。只有在检验、试车合格之后,整机才能装箱出厂。

上述的机械制造全过程可归纳成下列框图。



将上述机械制造流程框图与本书目录对照,读者不难看出本书所要阐述的内容,正是将来

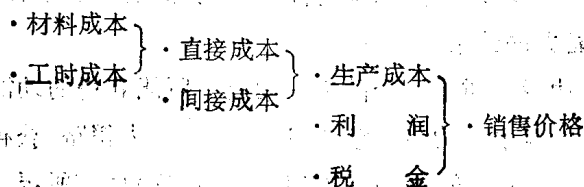
从事产品设计与制造的工程技术人员所必不可少的、基本的材料与工艺知识,所以,学好本课程的重要性与必要性,也就不言而喻。

§ 0-2 机械制造的经济性原则

机械制造业的发展同整个国民经济的发展一样,必须贯彻多、快、好、省的方针,即必须争取以最低成本,尽快地生产出满足社会需要的优质产品。只有这样的产品才能在市场上具有竞争能力,才能为企业赢得利润并为我国的四化建设积累资金。这是我们组织生产的基本原则。以下分三项说明。

一、产品的成本结构

产品的成本结构以及与销售价格及利润之间的关系可表示如下:



材料成本是指直接用于该产品的材料(如钢材、生铁、造型材料等)的成本。工时成本包括生产毛坯与切削加工的工时费用,它们和材料成本一起构成直接成本。其它凡不属于直接制造产品的成本,统称为间接成本,包括管理、维修、厂房与设备的折旧、运输以及推销费用等。所谓折旧费是指厂房及设备在预定期限的使用过程中,通过损耗而逐年转移为产品成本的那部分原始投资。全部间接成本要由每件产品分担,所以,产量愈少,这部分分摊的间接成本就愈高。直接成本与间接成本之和即为生产成本。生产成本加上每件产品的利润与税金,就决定了产品的销售价格。市场上不同厂家生产的同类产品大致上有一平均价格,因此,要使企业赢得利润,在保证产品质量的前提下,应当千方百计地设法降低生产成本。

二、影响产品成本的因素

1. 由上可知,产品的总成本是几项成本之和。但其中各项成本又并非彼此孤立,而是相互制约、相互影响的。例如:有时为降低材料成本,改用了一种价廉但工艺性能较差的材料,此时,材料成本虽有可能降低,但工时成本却可能增加很多。又如,更新设备,表面看来间接成本(折旧费)增加了,但如果更新设备后的生产率能大为提高,工时成本将显著降低,则总成本不仅不会上升,反而可以下降。因此,不应单纯追求某一项成本的降低,或担心某一项成本的增加,重要的是着眼全局,综合衡量,力求生产总成本的降低。

2. 机械制造业的一个显著特点是设备与工艺装备的投资大,折旧费在生产总成本中占有相当比重,所以合理选用设备与工艺是一重要问题。专用机床或自动化机床的生产率虽高,但价格一般较贵。产量小时,它们的利用率很低,这样,工时成本的降低,抵销不了折旧费在总成本中的增加,所以并不经济。相反,批量大时,若仍沿用原来的通用机床,虽然可节省设备投资,但工时成本所占的比重增加,因此也不合算。此外,零件的结构也会影响加工方法、工艺装备与加工设备的选择,因而某些零件的结构与加工方法对单件、小批生产来说可能是合理的,

但对大批量生产的产品来说,却未必相宜;反之亦然。所以,在处理具体生产技术问题时(例如在决定零件结构、加工方法与选用设备时),必须具有辩证的观点,重要的是应当结合批量考虑。

3. 在正常生产情况下,产量与销售量应相等,并高于某一最低额,只有这样,产品才没有积压,企业才能获得利润。若销售额小于这一最低值,销售所得的收入抵销不了成本开支,企业就会出现亏损。在竞争剧烈的市场上想以提高售价的办法来争取利润,往往是行不通的,因为售价高了将失去市场。获得利润的正当途径只能从降低成本与扩大销售量来考虑。而降低成本主要依靠减少能源与材料消耗,依靠减少非生产性开支(降低间接成本),或者依靠改良刀具与工艺装备来降低工时成本。显然,这一切又都取决于企业管理水平。任何一种先进的技术装备与生产工艺,只有在科学的管理制度下才能发挥其应有的作用。唯有良好的管理制度才能调动全厂职工的生产积极性,才能保证提高工效与降低消耗,从而达到降低成本的目的。

三、影响产品竞争能力的因素

1. 提高产品的使用功能与质量。产品每一元成本所能获得的功能与质量愈高,它的技术经济性就愈好,在市场上的竞争能力也就愈大,这样才能扩大销路,获得更多利润。因此,组织生产时,不能单纯从降低成本(售价)考虑,有时成本(售价)虽有所提高,但产品的功能与质量提高得更多时,产品仍具有良好的竞争能力。我们在具体选择零件的材料与加工工艺时,必须考虑这一因素。

2. 及时掌握市场信息。在生产条件未变的情况下,产品的技术经济性优势只是相对的。当其他企业向市场投放性能更好、质量更佳的产品时,本厂产品原来的技术经济优势就相对地下降了。所以,应当经常作市场调查,不断改善原来的设计与工艺,更新产品,不能故步自封。

3. 要提高效率,加强时间观念。对企业来说,时间就是金钱,效率就是生命。为了迅速占有市场,应当尽量缩短设计、试制与工艺准备周期,力争产品早日投放市场。

以上这些基本原则很重要,本书以后的章节在具体分析不同工艺的优劣时,常要运用这些观点。

复 习 题

(1) 解释下列名词

毛坯	加工余量	生产成本	型材	直接成本
工艺装备	折旧	间接成本	技术经济性	

(2) 在你熟悉的日用品或实习中接触过的产品中,请就铸件、锻件、冲压件、焊接件各举三例。

(3) 用框图形式列出一种你所熟悉的零件或实习产品的生产流程。

(4) 何谓零件的结构工艺性?在你见过的器物或零件中,对好、坏结构工艺性各举一例,并绘简图说明。

(5) 在决定零件的结构与加工方法时,为什么要结合产品的批量考虑?试举例说明。

(6) 市场上有同一功能的三种电子手表: a) 价格 8 元,保用 1 年; b) 价格 10 元,保用 2 年; c) 价格 12 元,保用 3 年。请问这三种电子表中,哪一种最受用户欢迎?为什么?

(7) 某五金工厂生产小工具,年销售额 5000 件,每件售价 12 元。该厂为此所花的材料成本是 16000 元,工时成本是 30000 元,间接成本是 30000 元。年终结算时该厂发现亏损,问亏损了多少?

面对这种情况,有下列四种解决方案可供选择:

- 1) 增加售价。问每件售价提高多少,才不亏本?
- 2) 降低成本。问每件成本降至多少,才不亏本?
- 3) 维持原来售价,扩大销售量。问年销售额要多少,才不亏本?
- 4) 停止生产。问停止生产是节约了,还是继续亏损?数值多少?

若你是该厂厂长,你决定采取哪种方案?准备采取哪些措施来实现你的方案?

第 1 章 绪论

1.1 绪论

1.1.1 绪论

1.1.2 绪论

1.1.3 绪论

1.2 绪论

1.3 绪论

1.4 绪论

1.5 绪论

1.6 绪论

1.7 绪论

1.8 绪论

1.9 绪论

1.10 绪论

1.11 绪论

1.12 绪论

1.13 绪论

第一篇 机械制造常用材料

第一章 金属材料的机械性能

金属材料，特别是钢铁，是国民经济各个部门应用最广的材料，主要用于制造各种金属结构、机器零件、工具和轻工业品等。它所以获得广泛的应用，是由于它具有许多优良的性能。为了合理地选用金属材料，充分发挥金属材料的潜力，降低产品成本，了解金属材料的性能是十分重要的。

金属材料的性能包括以下几个方面：

- (1) 机械性能 它是指金属材料在受力条件下所表现出来的性能。
- (2) 物理性能 它是指金属材料的比重、熔点、导电性、导热性和磁性等。
- (3) 化学性能 它是指金属材料的耐酸性、耐碱性、抗氧化性等。
- (4) 工艺性能 它是指金属材料是否易于进行冷、热加工的性能，如铸造性、锻造性、焊接性、切削加工性等，它们实质上是材料机械与理化性能在成形与加工过程中的一些综合反映。

对于机械制造工业来说，除了一些具有耐腐蚀、耐热等特殊要求的机械零件外，在设计 and 选材时，大多以机械性能作为主要依据。本章仅介绍金属材料的主要机械性能。

金属材料的机械性能，也称为力学性能。零件的受力情况有静载荷、动载荷和交变载荷之分。用于衡量在静载荷作用下的机械性能指标有强度、塑性和硬度等；在动载荷作用下的机械性能指标有冲击韧性等；在交变载荷作用下的机械性能指标有疲劳强度等。

§ 1-1 弹性、强度与塑性

金属的弹性、强度与塑性是通过拉伸试验测定出来的。

为进行拉伸试验，必须先将金属材料制成图 1-1 a 所示的标准试棒。试验时，将试棒装夹在拉力试验机上，在试棒两端缓慢地施加载荷，使试棒承受轴向拉力，试棒在不断增加的载荷下被逐渐拉长，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 和变形量（伸长量） ΔL ，并绘出拉伸曲线。

图 1-2 所示为低碳钢的拉伸曲线。由图可见，当外力小于 F_e 时，试棒的变形是弹性变形，即外力去除后，试棒将恢复到原始长度；外力超过 F_e 后，试棒除发生弹性变形外，还发生部分塑性变形，此时，外力去除后试棒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。当外力增大到 F_s 以后，拉伸图上出现了水平线段，表示外力虽未增

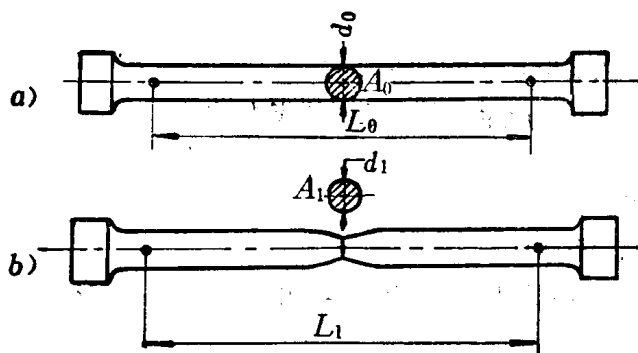


图 1-1 拉伸试棒

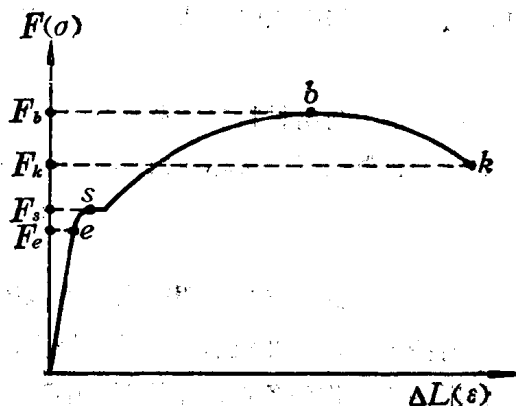


图 1-2 拉伸曲线

加, 但试棒继续产生塑性变形而伸长, 这种现象称为“屈服”, s 点称为屈服点。尔后, 随外力增大, 塑性变形将明显增大。当外力增加到 F_b 后, 试棒某部分开始变细, 出现了“缩颈”(图 1-1.b), 由于其截面缩小, 使继续变形所需要的外力下降。到达 F_k 时, 试棒在缩颈处断裂。

为了使曲线能直接反应出材料的机械性能, 可将纵坐标的载荷改用应力 σ 表示, 横坐标的变形量用应变 ε 表示。

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (\text{MPa} \textcircled{1})$$

式中 F ——载荷(N)②;

A_0 ——试棒原始截面积(mm^2)。

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

式中 ΔL ——变形量(mm);

L_0 ——试棒的标距长度(mm)。

这时图 1-2 的拉伸曲线, 称为应力-应变曲线。

一、弹性

金属材料的弹性是指它受载时产生变形、卸载后又能恢复原状的能力。

(1) 弹性极限 它是金属材料保持弹性变形的最大应力, 以 σ_e 表示。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0} \quad (\text{MPa})$$

式中 F_e ——弹性极限载荷(N)。

弹簧必须采用 σ_e 高的材料来制造。金属材料的 σ_e 可通过热处理和加工硬化方法来提高。

(2) 弹性模量 金属材料在弹性范围内, 应力与应变的比值称弹性模量(E), 即 $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ 。

由于机器零件或金属构件工作时, 大多处于弹性变形状态, 因此, 对于要求弹性变形小的

① Pa(帕)和 MPa(兆帕)是我国法定计量制应力的单位。Pa = $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$, MPa = $10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$, 而我国材料手册现仍采用工程单位制, kg f/mm²。二者关系是: 1 kg f/mm² = 9.81 MPa。为简便计, 本书以下按 1 kg f/mm² ≈ 10 MPa 换算。

② N(牛顿, 简称牛)是法定计量制力的单位。1 kg f = 9.81 N。本书以下按 1 kg f ≈ 10 N 换算。

机件,如曲轴、精密机床主轴、镗杆等,应选用弹性模量高的材料。

二、强度

强度是指金属材料在载荷作用下,抵抗塑性变形和断裂的能力。

(1) 屈服强度 又称屈服极限,是金属材料开始产生屈服现象时的应力,以 σ_s 表示。

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

式中 F_s ——试棒产生屈服现象时所承受的载荷(N)。

有些金属材料并没有明显的屈服点,对于这些材料,工程上规定,以试棒产生0.2%塑性变形时的应力作为条件屈服极限,用符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。

(2) 抗拉强度 又称强度极限,是试棒拉断前所能承受的最大应力,用符号 σ_b 表示。

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

式中 F_b ——试棒拉断前的最大载荷(N)。

σ_s 和 σ_b 是设计机器零件和选择、评定金属材料的重要指标。由于机器零件和构件在工作时通常不允许发生塑性变形,因此,多以 σ_s 作为强度设计的基本依据。对于脆性材料,因拉断之前基本不发生塑性变形,故无屈服强度可言,在强度设计时,则以 σ_b 为依据。

在工程上不仅希望金属材料具有高的 σ_s ,并且具有适当的屈强比(σ_s/σ_b)。屈强比愈小,零件的可靠性愈高,万一超载,也能由于塑性变形而不致突然破坏。但是,如果比值太低,则材料强度的有效利用率过低,因此,一般仍希望屈强比高一些。

材料的强度指标还有抗压强度(σ_c)、抗弯强度(σ_{bb})等,它们与 σ_b 通常有着一定的比例关系。

三、塑性

塑性是指金属材料在外力作用下,产生永久变形而不破坏的能力,通常用延伸率 δ 来表示。即:

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L_0 ——试棒原始标距长度(mm);

L_1 ——试棒拉断后的标距长度(mm)。

必须看到,延伸率的数值与试棒尺寸有关,因而试验时要对试棒尺寸作出规定,以便对试验结果进行比较。如 $L_0 = 10 d_0$ 时,用 δ_{10} 或 δ 表示; $L_0 = 5 d_0$ 时,用 δ_5 表示。

金属材料的塑性,也可用截面收缩率 ψ 来表示。即:

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

式中 A_0 ——试棒原始截面积(mm^2);

A_1 ——试棒拉断后,断口处截面积(mm^2)。

δ 和 ψ 值愈大,则塑性愈好。良好的塑性是金属材料进行轧制、锻造、冲压、电阻焊、摩擦焊等工艺的必要条件。

§ 1-2 硬 度

硬度通常是指金属材料抵抗更硬物压入其表面的能力。硬度也是机械性能中的重要指标,它直接影响到材料的耐磨性及切削加工性。因为机械制造中所用的刀具、量具、模具及工件上某些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;但硬度过高的毛坯或坯料,又将给切削加工带来困难。

硬度的测定通常是在硬度计上进行的。由于硬度的测定简便易行,又不损坏工件;因此,广泛用于热处理工件及原材料质量的检验。

最常用于测量金属硬度的是布氏硬度法和洛氏硬度法。

一、布氏硬度

布氏硬度的测定原理如图 1-3 所示。它是以直径 D 的淬火钢球(或硬质合金球)为压头,以规定的载荷 F 将压头垂直地压入被测金属表面,停留一定时间后卸载,于是形成了直径 d 的压痕;然后,在放大镜下测量压痕直径,并根据所测直径查表,即可求得硬度值。显然,金属材料愈软,压痕直径愈大,布氏硬度值就愈低;反之,布氏硬度值就愈高。

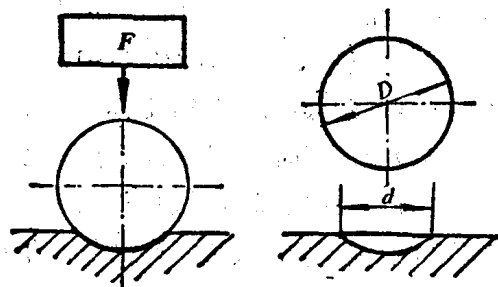


图 1-3 布氏硬度的测定

布氏硬度的单位为 kg f/mm^2 ,但习惯上不予标注。按照 GB 231—84《金属布氏硬度试验方法》,用钢球为压头所测出的硬度值,以 HBS 表示;用硬质合金球为压头所测出的硬度值,以 HBW 表示。HBS 适用于测量退火、正火、调质钢及铸铁、有色合金等硬度小于 450 的较软金属;HBW 适用于测量硬度在 450~650 间的淬硬钢材。鉴于试验条件(载荷大小、压头直径、停留时间等)对测出的硬度值有一定影响,因此,必须标注出试验条件。例如,150 HBS 10/1000/30,表示钢球直径 10 mm,载荷 1000 kg,停留时间 30'' 时,测出的硬度值为 150。为简便计,测量黑色金属的停留时间可不予标注。

布氏硬度法的优点是测定结果较准确,缺点是测量费时,且压痕较大,不适于成品的检验。目前的布氏硬度计一般均以钢球为压头,因此,主要用于测量较软的金属材料。

二、洛氏硬度

洛氏硬度也是以规定的载荷将坚硬的压头、垂直地压入被测金属表面来测定金属的硬度,但它是根据压痕的深度、而不是根据压痕的直径来计算硬度。实际上,洛氏硬度值,可从硬度计刻度盘上指针直接反映出来,无需另行测量压痕的深度。洛氏硬度以符号 HR 表示。

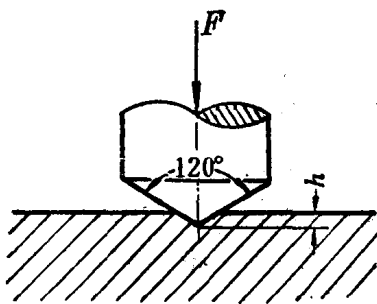


图 1-4 洛氏硬度的测定

洛氏硬度常用顶角为 120° 金刚石圆锥体作为压头(图 1-4),载荷为 150 kg,其硬度值用符号 HRC 表示。HRC 的数值愈大,硬度愈高,它的许可应用范围是 HRC 20~67,

表 1-1 一些钢件的硬度值

名 称	HRC	名 称	HRC
金属切削刀具,如锉刀、锯条、钻头,高速钢车刀	60~65	一般机床齿轮、主轴的耐磨部分	45~58
剪刀刃口部分	50~65	冷冲模	58~64
扳手、螺丝刀工作部分,弹簧	43~48		

主要用于测量较硬材料,如淬火钢材等。表 1-1 所示为一些钢件的洛氏硬度值。

如欲测定更硬材料或者测定薄层硬度(如硬质合金、渗碳或氮化钢件),可将载荷减少到 60 kg,测出的硬度以 HRA 表示,它的许可应用范围是 HRA 70~85。

洛氏硬度计还可测定较软材料(如供应状态的钢材、黄铜、青铜、铝合金等)的硬度。此时,压头改用直径为 1.588 mm($\phi 1/16$ 英寸)的淬火钢球,载荷为 100 kg,测出的硬度用 HRB 表示,它的许可应用范围是 HRB 25~100。

洛氏硬度法操作迅速、简便,可直接读出硬度值,且压痕较小,几乎不损伤工件表面,故可用于成品检验。同时,可测的硬度范围比布氏法宽。因此,在热处理质量检验中广为应用。

由于硬度反映了金属材料在局部范围内对塑性变形的抗力,因此,在通常情况下,硬度愈高、强度也愈高。实验得知,碳钢与合金结构钢的硬度与抗拉强度间有一定换算关系,下列经验数据可供参考:

低碳钢 $\sigma_b \approx 3.6 \times \text{HBS}$

高碳钢 $\sigma_b \approx 3.4 \times \text{HBS}$

调质合金钢 $\sigma_b \approx 3.25 \times \text{HBS}$

*§ 1-3 其它机械性能

金属材料的机械性能,还包括有冲击韧性和疲劳强度等,现简介如下:

一、冲击韧性

一些机件,如空气锤锤杆、火车挂钩、锻模等是在冲击载荷下工作的,此时若仍按静载荷作用下的机械性能指标进行设计计算,就不能保证机件工作时的安全可靠。因此,必须考虑其冲击韧性。

金属材料抵抗冲击载荷的能力,称为冲击韧性,简称韧性。

冲击韧性通常采用摆锤式冲击试验机来测定。试验时,将带缺口的冲击试样 2 放在试验机的支座 3 上(图 1-5),然后用摆锤 1 将试样一次冲断。冲击韧性

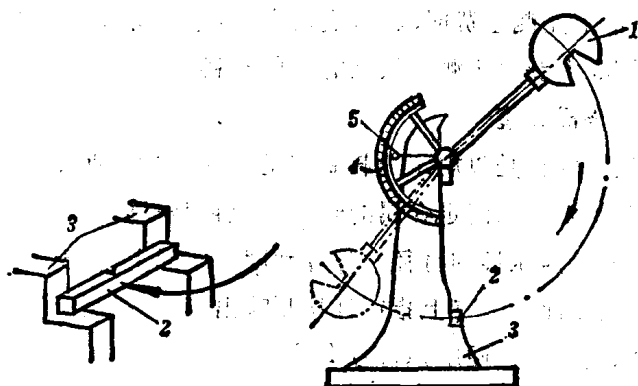


图 1-5 冲击试验简图

1. 摆锤; 2. 试样; 3. 支座; 4. 表盘; 5. 指针

a_{KU} 可按下式求出:

$$a_{KU} = \frac{A_{KU}}{A} \quad (\text{J/cm}^2)$$

式中 A_{KU} ——冲断试样所消耗的冲击功($\text{J}^{\text{①}}$);

A ——试样缺口处截面积(cm^2)。

必须看到,上述冲击值 a_{KU} ,是大能量、一次冲断试样所得出的数据,但许多承受冲击载荷的机器零件(如曲轴、连杆等),是经小能量多次重复冲击而破坏。在这种情况下,用 a_{KU} 值来衡量材料的冲击抗力,不符合实际工作情况,所以,有人建议用“多次重复冲击试验”来测定其“多冲抗力”。试验证明,在多次小能量冲击条件下,其冲击抗力主要取决于材料的强度,而不要求过高的 a_{KU} 值。

二、疲劳强度

在机器设备中,有些工件(如机床主轴、发动机曲轴、连杆、齿轮、滚动轴承、弹簧等)是在重复或交变应力下工作的。所谓重复或交变应力,是指应力的大小或方向都随时间呈周期性变化。在这种应力的长期作用下,工件会在远远低于强度极限 σ_b 、甚至低于屈服极限 σ_s 的应力下断裂,这种断裂称为疲劳断裂。

疲劳强度又称疲劳极限,是指金属材料在无数次重复或交变应力作用下,不致发生断裂所能承受的最大应力。当其应力呈循环对称时,疲劳强度以符号 σ_{-1} 表示。在机械设计时,若使材料实际承受的应力低于疲劳强度,则可安全运转,防止突然出现的疲劳断裂。

产生疲劳断裂的主要原因是材料存有内部缺陷、表面划痕及截面突然改变等因素,使这些部位的实际应力比平均应力增大很多,这种现象称为“应力集中”。这些过大的应力使材料产生微裂纹,而在长期交变应力作用下,这些微裂纹又有可能逐步扩展,使工件实际负载的截面逐渐缩减。当截面缩减到某一极限时,由于实际应力超过了材料的强度极限 σ_b ,于是发生突然破坏。

为提高材料的疲劳强度,除在设计时改善零件结构、防止应力集中外,还应使零件的加工表面尽可能光洁或进行表面强化处理(如渗碳、氮化、高频淬火、滚压或喷砂等)。

复 习 题

(1) 填表 1-2 说明下列机械性能指标及其含义。

表 1-2

项 目	名 称	单 位	含 义
σ_b			
σ_s			
$\sigma_{0.2}$			

① 在国际制中,功的单位是焦耳,以“J”或“焦”来表示。 $\text{J} = \text{N} \cdot \text{m}$ 。为简化计,本书以下按 $1 \text{ kg f} \cdot \text{m} \approx 10 \text{ J}$ 换算。