

高等学校教材

金属

工艺学

(第五版)

东南大学工程材料及机

械制造基础教研室 编

骆志斌 主编

非机械类专业用

高等教育出版社

高等学校教材

金属工艺学

非机械类专业用

(第五版)

东南大学工程材料及机械制造基础教研室 编

骆志斌 主编

高等教育出版社

内容提要

本书是在第四版的基础上,总结多年来的教学实践及兄弟院校使用意见后,根据原国家教委批准印发试行的“金工实习教学基本要求(非机械类专业适用)”,结合高等学校非机械类专业金属工艺学课程的教学实际修订而成的。

本书共九章,主要内容有钢铁材料及热处理,铸造,锻压,焊接,切削加工的基础知识,钳工,车削,刨削、铣削和磨削,特种加工等。为了突出以能力培养为主线,提高培养学生分析、解决实际问题的能力,每章末都附有一定量的联系实践的思考题及作业题。为了探索培养学生的创新意识,少数章节还编有思考性较强、实用性较好的作业题。

本书是高等学校非机械类专业的基本教材,也可供近机械类、管理类及高等工业专科学校、高等职业技术学院、职工大学、电视大学、成人教育学院等校的相关专业选用。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学/骆志斌主编;冯铁强,赵敖生编.-5版.-北京:
高等教育出版社,2000.7

高等学校教材 非机械类专业用

ISBN 7-04-008013-3

I. 金… II. ①骆… ②冯… ③赵… III. 金属加工-
工艺-高等学校-教材 IV. TG

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第64449号

金属工艺学(第五版)

东南大学工程材料及机械制造基础教研室 编

骆志斌 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

电 话 010 64054588

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

邮政编码 100009

传 真 010-64014048

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 北京机工印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 9.5

字 数 220 000

插 页 1

版 次 1961年5月第1版

2000年7月第5版

印 次 2000年7月第1次印刷

定 价 8.60元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等
质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

第五版序

本书自1981年第三版和1989年第四版出版以来,深受广大兄弟院校的欢迎。为适应教学改革的需要及培养21世纪人才的要求,本书在第四版的基础上,总结多年来的教学实践及兄弟院校使用意见后,根据1995年5月国家教委批准印发试行的“金工实习教学基本要求(非机械类专业适用)”修订而成的。

这次修订在以下几方面作了较大的修改:

1. 全书的名词术语、计量单位、符号及材料牌号均采用新的国家标准。
2. 在内容组织上注意了实习是以实践教学为主的特点,在加强学生基本技能培养的同时,注重了基本知识的传授,使学生获得必要的机械制造的基本知识。
3. 突出了以工艺为主线,以能力培养为核心的教学思想,在加强工艺方法分析比较的同时,特别注意启迪学生的思维,以培养学生的创新意识、创新能力和分析问题的能力。
4. 理论联系实际,各章都有典型零件工艺示例,并附有联系实际的作业题。思考题也较前版教材多,以利于培养学生分析、归纳及解决实际问题的能力。
5. 增加了数控机床等新内容,陈旧内容作了较多的删改,取材更加合理。

考虑到非机械类专业较多,要求不一,教材内容的处理需要有一定的灵活性,因此除安排一定的时间实习外,还应安排若干专题讲授,各校还可采用多媒体教学等教学手段以保证达到教学基本要求。

本书第一、四章由冯铁强编写,第二、三章由骆志斌编写,第五、六、七、八、九章由赵敖生编写。由骆志斌担任主编。

本书由清华大学傅水根教授、李家枢教授主审,并经教育部工程材料及机械制造基础课程教学指导小组扩大工作会议复审通过。

对在使用和修订教材过程中提出宝贵意见的同志在此表示衷心感谢。

水平有限,恳请各位指正。

编者

1999年5月

第 四 版 序

本书自 1981 年第三版出版以来,受到广大兄弟院校的欢迎。为了进一步提高教材质量,适应教学改革的需要,我们征集了许多院校教师的意见,根据 1987 年 4 月国家教委批准印发的“金工实习教学基本要求”进行了重新修订。

按照非机械类教学基本要求,实习时间为 3~4 周,其中课堂讲授 18~24 学时。这次修订是以冯铁强主编《金属工艺学》上册——实习部分(上册)为基础,将讲课部分融为一体,使内容更趋系统和完整,并在以下几个方面作了较大的修改。

1. 在加强学生基本操作技能培养的同时,注重了基本知识的传授,使学生获得必要的机械制造的基本知识。

2. 在加强工艺方法分析比较的同时,注重了基本原理的阐述,以培养学生思维、理解力和分析问题的能力。

3. 注重理论联系实际,工艺章节大都有典型零件工艺示例,并附有联系实际的作业思考题,逐步训练、培养学生解决生产实际问题的能力。

4. 作业、思考题较前增多,以帮助学生掌握教学基本要求。

5. 全书增添和更新了较多的插图。

6. 全书名词术语、计量单位、符号及部分材料牌号采用新的国家标准。

考虑非机械类专业多、要求不一,教材内容有一定的灵活性,在保证教学基本要求的前提下,各院校在安排时,可结合自己学校的情况来决定。

本书第一、四章由冯铁强副教授编写,第二、三章由骆志斌副教授编写,第五、六、七、八、九、十章由赵敖生副教授编写。原书系冯铁强副教授主编,因出国工作,现改由骆志斌副教授负责主编。本书部分插图由陈天佑、马红霞两同志协助描绘。

全书承同济大学钱增新副教授、中南工业大学卢达志副教授审阅,并经国家教委“工程材料及机械制造基础”课程教学指导小组复审通过。

在此对在使用和修订教材过程中提出宝贵意见的同志表示衷心感谢。

水平所限,错误难免,恳请指正。

编 者

1988 年 5 月

责任编辑	刘兴祥
封面设计	李卫青
责任绘图	杜晓丹
版式设计	马静如
责任校对	马桂兰
责任印制	张小强

目 录

绪论	1	§ 6-1 钳工台及台虎钳	79
第一章 钢铁材料及热处理	2	§ 6-2 划线	79
§ 1-1 金属及合金的性能	2	§ 6-3 锯削	84
§ 1-2 铁碳合金及其状态图	6	§ 6-4 锉削	86
§ 1-3 钢的热处理	14	§ 6-5 钻孔、扩孔和铰孔	89
§ 1-4 其他常用金属材料	16	§ 6-6 攻螺纹和套螺纹	94
思考题及作业题	18	§ 6-7 刮削	96
第二章 铸造	19	§ 6-8 装配	97
§ 2-1 砂型铸造	19	§ 6-9 钳工操作示例	99
§ 2-2 特种铸造	28	思考题及作业题	102
§ 2-3 铸造基础知识	31	钳工实习安全技术	102
思考题及作业题	33	第七章 车削	103
铸造实习的安全技术	34	§ 7-1 切削运动、车床及车刀	103
第三章 锻压	35	§ 7-2 车削加工方法	109
§ 3-1 锻造	35	§ 7-3 车削加工示例	115
§ 3-2 冲压	45	§ 7-4 车削加工零件结构工艺性示例	119
§ 3-3 锻压基础知识	50	§ 7-5 数控车床	119
思考题及作业题	53	思考题及作业题	121
锻压实习安全技术	54	机工（车削、刨削、铣削和磨削） 实习安全技术	121
第四章 焊接	55	第八章 刨削、铣削和磨削	122
§ 4-1 手弧焊	55	§ 8-1 刨削	122
§ 4-2 其他焊接方法	59	§ 8-2 铣削	128
§ 4-3 焊接基础知识	63	§ 8-3 磨削	136
思考题及作业题	66	思考题及作业题	139
焊接实习安全技术	67	第九章 特种加工	141
第五章 切削加工的基础知识	68	§ 9-1 电火花加工	141
§ 5-1 金属切削过程	68	§ 9-2 电解加工	142
§ 5-2 零件加工质量和生产率的概念	70	§ 9-3 激光加工	143
§ 5-3 工件材料的切削性能	73	§ 9-4 超声波加工	144
§ 5-4 常用量具	74	思考题及作业题	144
思考题及作业题	78		
第六章 钳工	79		

绪 论

金属工艺学是一门研究以金属材料性质及其加工工艺为主的综合性技术基础课，是高等工科院校非机械类专业一门实践性很强的工程实践必修课。

机械制造在我国工业化建设中发挥了重要的作用，其相关的机械制造学科是我国现代化建设的支柱学科之一，作为高等工科院校的学生必须掌握有关机械制造的基础知识，更好地为祖国“四化”建设服务。

各类机器零件的制造过程，一般分为毛坯制造、零件制造及装配三个阶段。毛坯制造的方法主要有铸造、锻压及焊接等。采用先进的铸造、锻压等方法也可直接制造出机器零件。而机器零件的主要加工方法则是切削加工，它包括机械加工和钳工。将加工好的零件按装配工艺过程组装起来，并经调整、试验便成为合格的产品。不同的工业部门，不同的零件所采用的加工方法是不同的。如动力工业的锅炉、化工容器，造船工业的船体及金属结构的制造等，焊接就占有很重要的地位；在机床、汽车、拖拉机等行业的制造中，铸造就占有很大的比重；在无线电、电子、仪器仪表、电器、轻工等工业部门则广泛采用冲压来制造零件。但是，切削加工几乎是各个工业部门必须采用的加工方法之一，成批大量生产的标准件多采用自动化程度很高的专用机床加工成形。同类零件，因其使用性能、要求不同及其尺寸大小、加工精度、生产批量及条件等不同，其生产方法也不同。如齿轮类零件可由铸造毛坯经切削加工成形；或由锻坯经切削加工成形；或由热轧圆钢经切削加工成形，也可直接用冷轧钢成形等。齿轮的切削加工又有铣齿、滚齿、插齿成形等，还有剃齿、珩齿及磨齿等多种齿轮精加工方法。有时同一加工方法又有多种工艺方案可供选择。

学习本课程的目的是使学生参加生产实践和工艺实践获得必需的机械制造基本理论和基础工艺知识，初步具有工艺分析、工艺实践的能力。在教学过程和工艺实践过程中，一方面要积极引导培养学生的创新意识，并给学生有施展自己才干的空间和时间，有意识地培养学生的创新能力；另一方面更要注意使学生通过参加生产劳动实践在思想素质、文化素质、业务素质及身体心理素质等方面都得到提高。

21 世纪即将到来，高科技的飞速发展，新设备、新工艺、新材料的不断出现，计算机技术在各个工业部门的广泛应用，使得机械制造技术正朝着高质量、高生产率及低成本方向迅速发展。少切削、无切削加工工艺的推广应用，也大大地简化了零件的生产过程，对节省金属材料 and 改善零件的力学性能有明显的效果。

本课程是工科各专业的工艺入门课，应坚持以实践教学为主，将知识、能力、素质教育融为一体，以素质教育为核心，以能力培养为主线，鼓励学生勇于实践，仔细观察，勤于思索，善于分析，再配合计算机辅助教学等现代化教学手段，本课程必将为学生学习后续有关课程和从事工程技术工作打下必要而坚实的基础。

第一章 钢铁材料及热处理

现代工业、农业、国防和科学技术都离不开工程材料，虽然近些年来非金属材料发展迅速，但金属材料由于具有良好的物理性能、化学性能、力学性能和工艺性能，因此在这些部门中仍获得广泛的应用。

金属材料及热处理主要研究金属和合金的成分和所经历的热处理过程与其内部组织和性能的相互关系，以及如何改善金属及合金的组织 and 性能。只有掌握这些知识，才能合理地选用材料，以充分发挥它的潜力，延长其使用寿命，并降低成本。此外，为了正确地制定铸造、锻压、焊接、热处理和切削加工等工艺规程，提高产品的质量和产量，也必须学习金属材料的知识。

§ 1-1 金属及合金的性能

金属及合金的性能包括力学、物理、化学和工艺性能。它们是进行设计、选材和制定工艺的依据。

一、力学性能

金属及合金的力学性能是指金属材料在外力作用下表现出来的特性，如强度、塑性、弹性、硬度和冲击韧性等。

1. 强度

强度是金属抵抗永久变形和断裂的能力。常用抗拉强度、屈服点等表征金属材料的性能。抗拉强度和屈服点采用拉伸试验来测定。先将被测金属材料制成标准试棒，如图 1-1a。将它装在拉力试验机上，并缓慢地对试棒施加轴向拉力，随着拉力的增加，试棒渐渐地被拉长，直到拉断为止（图 1-1b）。在整个拉伸过程中，自动记录下每一瞬间的拉力 F 和变形量 ΔL ，并绘出它们之间的关系曲线，通常称为拉伸曲线。图 1-2 为低碳钢的拉伸曲线。

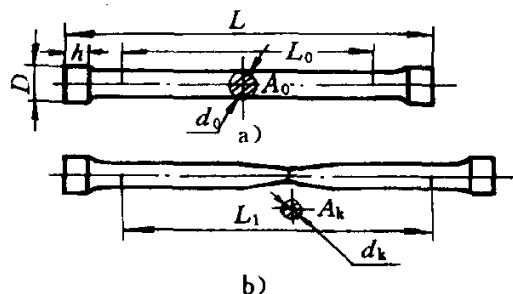


图 1-1 拉伸试棒

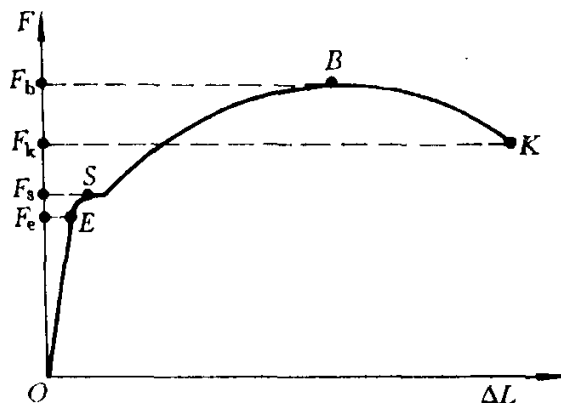


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

在拉伸曲线中, OE 是直线, 即当拉力不超过 F_e 时, 拉力与变形量成正比, 这时试棒产生弹性变形。拉力去除后, 试棒将恢复到原来长度。

当拉力超过 F_e 时, 试棒除产生弹性变形外, 还产生部分塑性变形 (永久变形)。此时若去除拉力, 试棒不完全恢复到原有的长度 (弹性变形部分消失, 塑性变形部分保留)。如继续增加拉力, 达到 F_s 时, 即使拉力不再增加, 试棒仍然继续伸长, 表现在拉伸曲线上 S 点出现一水平线段, 这种现象称为“屈服”。屈服后试棒开始产生明显的塑性变形。应当指出, 拉伸时的屈服现象只出现在具有良好塑性的材料中。

拉力继续增加到最大值 F_b 后, 试棒截面局部开始变细, 产生了缩颈, 如图 1-1b。因为截面变小, 继续变形所需的拉力减小, 变形量增加, 拉力在 F_k 时试棒在缩颈处断裂。

金属强度的指标通常以应力的形式来表示, 应力即单位截面积上的外力, 以 σ 表示

$$\sigma = F / A_0 \quad \text{MPa}$$

式中 F ——外力, N;

A_0 ——试棒原始横截面积, mm^2 。

应力单位 MPa (兆帕) 或 Pa (帕) 是属国际单位制, 目前我国材料手册中有的还应用工程单位制, 即 kgf/mm^2 (公斤力/毫米²), 两者关系为 ($\text{kgf}/\text{mm}^2 \approx 10\text{MPa} = 10^7\text{Pa}$)。

常用的强度指标有屈服点和抗拉强度。

(1) 屈服点 (屈服强度) 材料产生屈服时的应力, 以 σ_s 表示

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

式中 F_s ——对应于 S 点的外力, N;

A_0 ——试棒原始横截面积, mm^2 。

有些材料的拉伸曲线没有明显的屈服点, 无法确定开始产生塑性变形时的最小应力值, 因此对这些材料, 规定当试棒产生 0.2% 残余伸长时的应力值作为该材料的条件屈服点, 以 $\sigma_{r0.2}$ 表示。

屈服点是材料力学性能的重要指标之一, 因为机械零件在工作中一般是不允许产生塑性变形的, 所以它是大多数零件设计的依据。

(2) 抗拉强度 (强度极限) 材料在拉断前所能承受的最大应力, 以 σ_b 表示。

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

式中 F_b ——试棒断裂前的最大拉力, N;

A_0 ——试棒原始横截面积, mm^2 。

抗拉强度也是材料的主要力学性能指标之一, 因为它表征材料在拉伸条件下所能承受的最大应力值, 所以也是零件设计和选材时的主要依据之一。

拉伸试验还可用于其他的金属和非金属材料, 如铸铁、黄铜和聚乙烯等, 由于材料的不同, 拉伸曲线的差异很大。

2. 塑性

塑性是指金属材料在外力作用下产生塑性变形而不破坏的能力。常用的塑性指标有断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。

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

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

式中 L_0 ——试棒的原始长度, mm, (图 1-1a);

L_1 ——试棒拉断时的长度, mm, (图 1-1b);

A_0 ——试棒原始横截面积, mm^2 , (图 1-1a);

A_k ——试棒断裂处的横截面积, mm^2 , (图 1-1b)。

δ 和 ψ 的数值越大, 表示材料的塑性越好。工程上一般把 $\delta > 5\%$ 的材料称为塑性材料, 如低碳钢; $\delta < 5\%$ 的材料为脆性材料, 如灰铸铁。良好的塑性能保证压力加工、焊接的顺利进行, 又能保证零件工作时的安全可靠。

3. 硬度

材料抵抗局部变形, 特别是塑性变形、压痕或划痕的能力称为硬度。硬度值的物理意义随其试验方法的不同而不同。工程上常用的有布氏硬度和洛氏硬度。

(1) 布氏硬度 布氏硬度试验是用一定的载荷 F , 将直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球, 在一定压力作用下, 压入被测材料的表面 (图 1-3), 保持一定的时间后卸去载荷, 以载荷与压痕面积的比值作为布氏硬度值, 用 HBS 或 HBW 表示, 如 180HBS、350HBW 等, 其单位为 kgf/mm^2 , 但一般都不标出。由于 F 和 D 都是定值, 所以一般是先测得压痕直径 d , 根据 d 查表确定材料的布氏硬度值。布氏硬度值越大, 材料越硬。

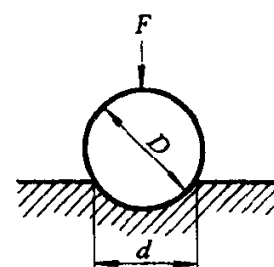


图 1-3 布氏硬度试验

用布氏硬度试验测材料的硬度值, 其测试数据比较准确, 但不能测太薄的试样和硬度较高的材料。

(2) 洛氏硬度 洛氏硬度试验是用一定的载荷将顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588 mm 的淬火钢球压入被测试样表面, 根据压痕的深度确定它的硬度值。洛氏硬度值可从洛氏硬度计刻度盘上直接读出。

用洛氏硬度计可以测量从软到硬的各种不同材料, 这是因为它采用了不同的压头和载荷, 组成各种不同的洛氏硬度标尺, 如 HRA、HRB、HRC 等。一般生产中以 HRC (用 120° 金刚石圆锥体作压头, 载荷为 1500 N) 用得最多, 硬度值的标注方法与布氏硬度相同, 硬度值的有效范围为 20~70HRC。

洛氏硬度法的优点: 测量简单、迅速, 并可测薄的试样和硬的材料, 但不如用布氏硬度法准确。当 $\text{HBS} > 220$ 时, $\text{HRC}/\text{HBS} \approx 1/10$ 。

硬度也是材料重要的力学性能指标, 硬度和强度一样, 都反映了材料对塑性变形的抗力, 硬度试验方法较简单, 又不损坏零件, 故在生产实践中往往通过测定材料的硬度来估算其强度指标 σ_b 。硬度还影响到材料的耐磨性, 在一般情况下, 硬度高时其耐磨性能也较好。

4. 冲击韧性

冲击韧性是指材料抵抗冲击载荷的能力。

不少机器零件, 如冲床的连杆、锻锤的锤头、火车挂钩、冲模等, 在工作时要承受冲击载荷, 如果仍用静载荷作用下的强度极限指标来进行设计计算, 就不能保证这些零件工作时的安

全性，必须同时考虑材料的韧性。目前工程上通常用摆锤冲击试验来测量材料的冲击韧性，其原理如图 1-4c 所示。先将被测材料制成一定形状和尺寸的试样（图 1-4a），安放在冲击试验机上（图 1-4b），把具有一定重量的摆锤提到 H_1 高度，此时摆锤位能为 gH_1 ，然后让其自由下落，冲断试样，冲断试样后摆锤剩余的能量为 gH_2 ，摆锤冲断试样所消耗的位能称为冲击吸收功，用符号 A_{KV} 表示，单位为 J，即 $A_{KV} = g(H_1 - H_2)$ J。

A_{KV} 值愈大，材料的韧性愈好，但影响 A_{KV} 值的因素很多，因此 A_{KV} 值只作为设计选材时参考。

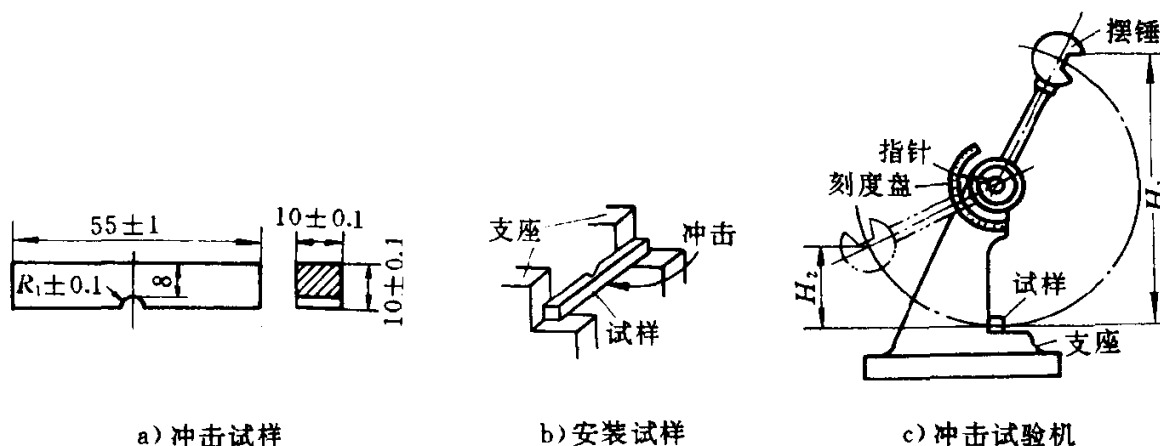


图 1-4 摆锤冲击试验示意

5. 疲劳强度

疲劳强度是指材料在多次（ 10^7 次或更高次数）交变载荷作用下而不引起断裂的最大应力。当应力循环对称时，以 σ_{-1} 表示。

有些零件如轴、弹簧等，在工作过程中受到方向、大小反复变化的交变应力的作用，这样会在远小于强度极限 σ_b ，甚至小于屈服点 σ_s 的条件下断裂，这种破坏称疲劳断裂。无论是塑性材料还是脆性材料，发生疲劳断裂时都不产生明显的塑性变形，因此具有很大的危险性。据统计，零件断裂事故中绝大多数是由疲劳断裂造成的，因此，提高零件的疲劳强度对延长零件的使用寿命有很大意义。

材料的疲劳强度与它的内在质量、表面状况、承载的性质及结构形状等因素有关。在实际生产中往往通过降低零件的表面粗糙度和采取各种表面强化的方法如喷丸处理、表面淬火等来提高材料的疲劳强度。

二、物理性能和化学性能

金属材料的物理性能是指密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性和磁性等。化学性能主要是指耐腐蚀性。

由于机器零件的用途不同，对其物理性能的要求也不同。例如飞机、汽车等交通工具，为了减轻自重需要，采用密度小的材料；熔点高的合金可用来制造耐热零件；制造散热器、热交换器等要选用导热性好的材料；制造电机、无线电元件、电真空器件则需考虑到材料的导电性和磁性等。

金属材料对周围介质，如大气、水汽及各种电介质侵蚀的抵抗能力叫做耐蚀性。每年因腐

蚀而损失的材料十分严重，因此必须采取防腐蚀措施。除将制成的金属零件表面进行复盖层处理（如油漆、电镀等）保护外，也可在钢中加入合金元素制成不锈钢以提高材料的耐蚀性。

三、工艺性能

工艺性能是指金属材料适应加工工艺要求的能力。按照工艺方法的不同有铸造性能、锻压性能、焊接性能、切削加工性能等。它们往往是由材料的物理性能、化学性能、力学性能综合决定的。例如灰铸铁具有良好的铸造性能和切削加工性能，但其塑性极差，不能进行锻压，焊接性能也较差，因而常用来铸造形状复杂的铸件。

§ 1-2 铁碳合金及其状态图

在机械制造各部门中，应用最广泛的材料是碳钢和铸铁。因它们的资源丰富、冶炼简便、价格低廉，并具有良好的力学性能和工艺性能，因而在工业上占有重要的地位。

一、碳钢

碳钢^①(碳素钢)主要是由铁和碳两种元素组成的合金。其含碳量即 w_C 低于 2.11%，除铁和碳外，尚含有少量的硅、锰、硫、磷杂质，对钢的性能有一定的影响。

1. 碳及杂质对碳钢性能的影响

(1) 碳 碳是钢中的主要元素，对碳钢的性能影响也最大。一般来说，含碳量升高，强度和硬度也升高，而塑性和韧性则降低，但当含碳量超过 0.9% 时，强度也开始降低，如图 1-5 所示。

含碳量对钢的工艺性能也有很大影响。一般来说，含碳量低的碳钢其焊接性能和锻压性能较好，反之则差。

(2) 硅 硅在钢中是一种有益元素，它能消除氧的不良影响，并能适当提高钢的强度、硬度和弹性，而使塑性和韧性有所下降。但由于碳钢中含硅量很少 ($<0.4\%$)，故对钢的性能影响也不大。

(3) 锰 锰作为杂质时，其含量常在 0.4%~0.8% 之间，它能使钢的强度、硬度增加，还能减少氧和硫对钢的危害，它也是钢中的有益元素，因含量较少，故对钢性能的影响并不大。

(4) 硫 硫是由矿石、燃料带入钢中的元素，它不溶于铁，而与铁化合生成 FeS 。 FeS 与 Fe 形成共晶体，其熔点为 985℃，当钢材在 1000~1200℃ 左右轧制或锻造时，由于共晶体熔化而使钢材沿晶粒边界开裂，这种现象称为热脆。因此钢中的含硫量必须严格控制。

(5) 磷 磷在钢中能使钢的强度、硬度增加，但塑性、韧性显著下降。特别是在室温下影响

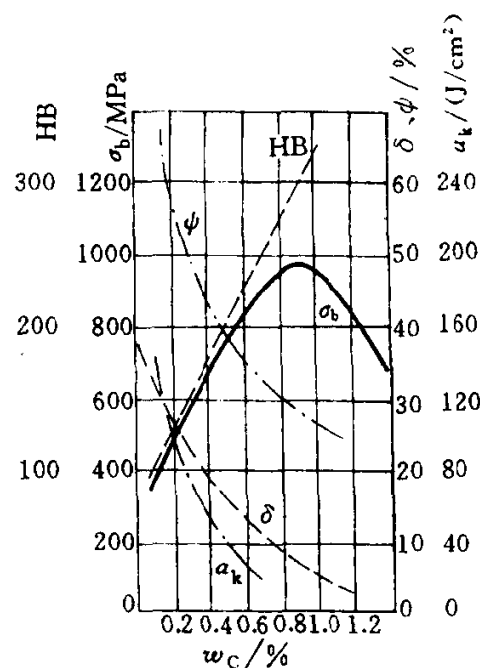


图 1-5 钢中含碳量对力学性能的影响

^① 按 GB/T 13304—91 钢分类，非合金钢也就是俗称的碳素钢（简称碳钢），考虑到行业习惯用法，本书中仍用碳钢。

更严重，这种现象称为冷脆。因此钢的含磷量也必须加以限制。

2. 碳钢的分类、编号、性能和用途

(1) 碳钢的分类

碳钢的分类方法很多，主要有以下三种：

a. 按钢中含碳量不同分类

低碳钢 $w_C < 0.25\%$ 的钢；

中碳钢 $w_C = 0.25\% \sim 0.60\%$ 的钢；

高碳钢 $w_C > 0.60\%$ 的钢。

b. 按钢的质量（主要根据钢中含杂质硫、磷的多少）分类

普通质量碳钢 $w_S \geq 0.045\%$ 、 $w_P \geq 0.045\%$ ；

优质碳钢 S、P 含量比普通质量碳钢少，一般 $w_{S,P} \leq 0.035\%$ ；

特殊优质碳钢 $w_S \leq 0.020\%$ 、 $w_P \leq 0.020\%$ 。

c. 按用途不同分类

碳素结构钢 主要用于制造各种工程构件（如桥梁、船舶、建筑等用钢）和机器零件（如齿轮、轴、螺栓、弹簧、滚动轴承等）。这类钢一般属于低碳钢和中碳钢。

碳素工具钢 主要用于各种刀具、量具和模具。这类钢属于高碳钢。

(2) 碳钢的牌号

a. 碳素结构钢 这类钢的牌号根据国家标准（GB 700—88）规定，如表 1-1 所示。

表 1-1 碳素结构钢的牌号及化学成分

牌 号	等 级	化 学 成 分/%					脱氧方法
		C	Mn	Si	S	P	
				不大于			
Q195	—	0.06~0.12	0.25~0.50	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
Q215	A	0.09~0.15	0.25~0.55	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
	B				0.045		
Q235	A	0.14~0.22	0.30~0.65 ^①	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
	B	0.12~0.20	0.30~0.70 ^①		0.045		
	C	≤0.18	0.35~0.80		0.040	0.040	Z
	D	≤0.17			0.035	0.035	TZ
Q255	A	0.18~0.28	0.40~0.70	0.30	0.050	0.045	Z
	B				0.045		
Q275	—	0.28~0.38	0.50~0.80	0.35	0.050	0.045	Z

注：① Q235A、B 级沸腾钢锰含量上限为 0.60%。本表摘自 GB 700—88。

其牌号表示方法及符号、代号的意义：

牌号 碳素结构钢的牌号是以钢材厚度（或直径）不大于 16 mm 钢的屈服点（ σ_s ）数值表示的，并且还有质量等级和脱氧方法的细划分，如表 1-1 所示。

符号、代号的意义

Q——钢的屈服点“屈”字汉语拼音首位字母；

A、B、C、D——分别为质量等级；

F——沸腾钢“沸”字汉语拼音首位字母；

b——半镇静钢“半”字的首位字母，小写b用以与质量等级B级相区别；

Z——镇静钢“镇”字的首位字母；

TZ——特殊镇静钢“特镇”两字的首位字母。

在牌号组成表示方法中，“Z”与“TZ”代号予以省略。

牌号表示方法 碳素结构钢牌号表示方法是由屈服点字母、屈服点数值、质量等级符号、脱氧方法等四个部分按顺序组成。

例如：Q235—A·F即表示屈服点数值为235 MPa的A级沸腾钢。

碳钢通过对含碳量的增减和采用不同的热处理方法，可以获得不同的力学性能，能满足很多产品上的要求，加之碳钢便于获得，容易加工，价格便宜，故得到广泛的应用，如表1-2所示。

表 1-2 碳素结构钢的应用

牌 号	应 用 举 例
Q195、Q215A、Q215B	薄板、钢丝、焊接钢管、钢钉、钢丝网、炉撑、烟囱、屋面板、地脚螺栓等。
Q235A、Q235B、Q235C、Q235D	薄板、钢筋、钢结构用各种型条钢、中厚板、铆钉；某些机械零件，常用化工容器外壳、法兰，机车车辆等。
Q255A、Q255B	钢结构用各种型条钢和钢板，某些机械零件。

b. 优质碳素结构钢 这类钢在供应时必须既保证化学成分，又要保证力学性能。使用时一般均需热处理以提高其力学性能。此类钢常用来制造比较重要的零件。

优质碳素结构钢的牌号以两位数字表示，数字代表该钢平均含碳量的万分数，例如钢号45，其平均含碳量为0.45%的优质碳素结构钢。

优质碳素结构钢的牌号、含碳量和力学性能如表1-3所示。

表 1-3 优质碳素结构钢的成分和力学性能

牌 号	C/%	力 学 性 能				
		σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	ψ /%	退火后硬度 HBS
10	0.07~0.14	335	205	31	55	—
15	0.12~0.19	375	225	27	55	—
20	0.17~0.24	410	245	25	55	—
25	0.22~0.30	450	275	23	50	—
30	0.27~0.35	490	295	21	50	—
35	0.32~0.40	530	315	20	45	—
40	0.37~0.45	570	335	19	45	187
45	0.42~0.50	600	355	16	40	197
50	0.47~0.55	630	375	14	40	207
55	0.52~0.60	645	380	13	35	217
60	0.57~0.65	675	400	12	35	229
65	0.62~0.70	695	410	10	30	229
70	0.67~0.75	715	420	9	30	229

注：本表摘自GB 699—88。

10~25 号钢由于含碳量低，故强度不高，但塑性和韧性好，并且有良好的焊接性能，常用作承载不大、韧性要求高的零件，还常做冲压件、焊接件。

30~55 号钢经热处理后具有较高的强度和韧性，在机器结构中受力的齿轮、轴、键、重要的螺钉等，根据其受力情况和使用条件不同，广泛选用这类钢来制造。

60 号以上的钢经热处理后具有高的强度、硬度和好的弹性，因此，主要用来制造弹簧。

c. 碳素工具钢 这类钢用来制造低速的切削刀具、量具和冲压或冷拉模具。因此，必须具有高的硬度和耐磨性，这只有在含碳量足够高的钢经淬火后才能获得，故碳素工具钢都是高碳钢。

碳素工具钢的牌号由汉语拼音字母“T”和数字组成，数字表示平均含碳量的千分之几。例如 T7 表示平均含碳量为 0.7% 的碳素工具钢。高级优质碳素工具钢在牌号后面再附以字母“A”，如 T12A，即表示平均含碳量为 1.2% 的高级优质碳素工具钢。

碳素工具钢的牌号、成分、用途见表 1-4。

表 1-4 碳素工具钢的牌号、成份、硬度及用途

钢 号	化学成份/%			硬 度		用 途
	碳	硅	锰	供应状态 HB (不大于)	淬火后 HRC (不小于)	
T7 T7A	0.65~0.74	≤0.35	≤0.40	187	62	要求高韧性但硬度要求不很高的工具：凿子、锤子、锻模、手钳、螺丝刀、木工工具等。
T8 T8A	0.75~0.84	≤0.35	≤0.40	187	62	要求有足够的韧性和较高硬度的工具：中心冲、剪刀、锻造工具、风动工具等。
T9 T9A	0.85~0.94	≤0.35	≤0.40	192	62	用于略具韧性，但要求高硬度的工具：冲头，中心冲等。
T10 T10A	0.95~1.04	≤0.35	≤0.40	197	62	不受剧烈冲击，要求刀刃上有足够韧性的工具：丝锥、板牙、铰刀等。
T11 T11A	1.05~1.14	≤0.35	≤0.40	207	62	同 T10
T12 T12A	1.15~1.24	≤0.35	≤0.40	207	62	不受冲击而要求很高硬度的工具：锯条、锉刀、量具等。
T13 T13A	1.25~1.35	≤0.35	≤0.40	217	62	制造刮刀、拉丝模、锉刀、剃刀等。

注：本表摘自 GB 1298—86。

二、纯铁的晶体结构和结晶过程

为了更好地分析铁碳合金的本质问题，先从纯铁开始，再研究铁和碳的相互作用，以便掌握铁碳合金的成分、组织和性能的相互关系，建立起对碳钢的内部组织及其变化规律的概念。

1. 金属的晶体结构

在显微镜下观察金属的金相试样时,可以看到它是由许多外形不规则的小颗粒所组成的,这些小颗粒统称为晶粒,而晶粒之间的交界处称为晶界,如图 1-11 左下角金相图所示为工业纯铁(含碳量为 0.02% 以下的铁碳合金)的显微组织。

通过 X-射线对纯铁晶粒内部结构的分析,发现晶粒内部的原子是按一定的规律排列的,这种内部原子作规则排列的物质称为晶体,如图 1-6a 所示。

为了描绘晶体内原子在空间排列的方式,用假想的直线将原子的中心连接起来,就构成了空间格子,简称晶格,如图 1-6b 所示。一种晶格反映出一定的排列规律。组成晶格的最基本单元称为晶胞,如图 1-6c 所示。

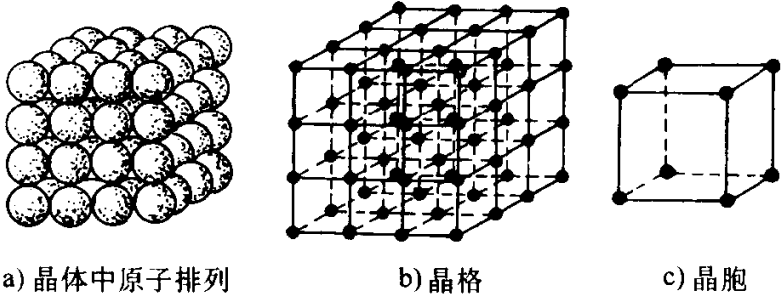


图 1-6 晶格与晶胞示意图

常见的金属晶胞结构有体心立方晶格和面心立方晶格如图 1-7 所示。例如,纯铁在室温时,具有体心立方晶格,在 912℃~1394℃ 时具有面心立方晶格。

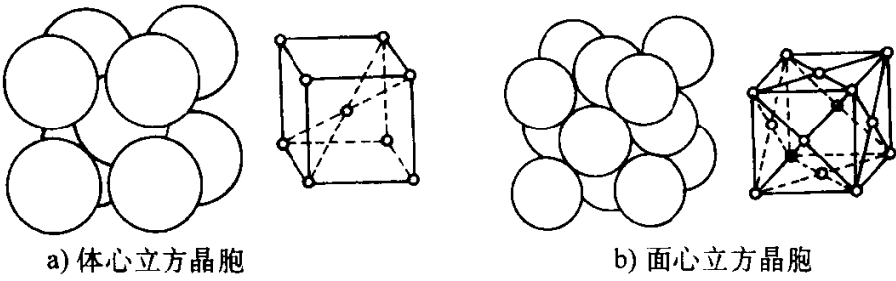


图 1-7 晶胞的形式

2. 纯铁的结晶过程和同素异构转变

一切物质由液态转变为固态晶体的过程称为结晶。结晶的实质,就是原子从不规则排列过渡到规则排列的过程。

(1) 纯铁的结晶过程

纯铁的结晶是在一个恒定温度下进行的。它的结晶过程可以用冷却曲线来表示,如图 1-8 所示。它是以横坐标轴表示时间,纵坐标轴表示温度。冷却曲线一般常用热分析法来测定。

液态纯铁缓慢冷却时,当温度下降到 1538℃ 时便开始结晶,由于放出结晶潜热补偿了热量的散失,所以温度保持不变。此时冷却曲线呈现水平线,此线对应的温度为纯铁的结晶温度。当

冷却速度无限缓慢时所测得的纯铁结晶温度称为理论结晶温度(用 T_0 表示)。在实际生产中,由于冷却速度较快,纯铁实际结晶的温度(用 T_n 表示)总是低于理论结晶的温度,如图 1-8b 所示,这种现象称为过冷。理论结晶温度 T_0 与实际结晶温度 T_n 之差称为过冷度(用 ΔT 表示),即 $\Delta T = T_0 - T_n$ 。冷却速度越快,过冷度就越大,实际结晶温度越低。液态纯铁在结晶温度时,

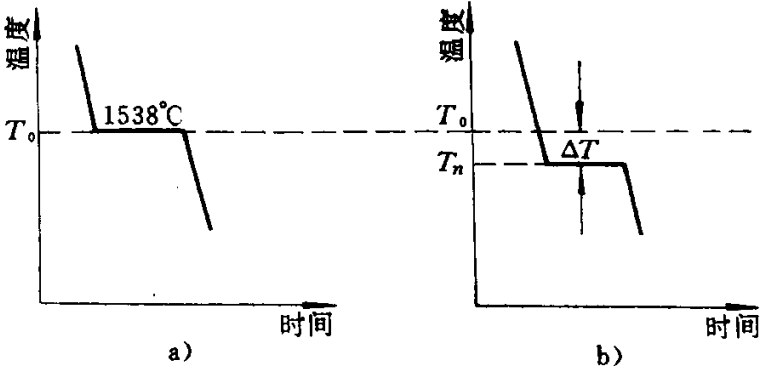


图 1-8 纯铁凝固时的冷却曲线