

高等学校试用教材

机械工程材料与 热加工工艺

陕西机械学院 陈兰芬 主编



机械工业出版社

高等学校试用教材

机械工程材料与热加工工艺

陕西机械学院 陈兰芬 主编



机械工业出版社

前 言

本书是根据1981年12月原第一机械工业部部属院校管理工程专业第三次协作组会议确定的教学大纲，又于1983年4月在杭州召开的机械工业管理工程专业教材编审委员会第二次会议审批后编写的。

为适应管理工程类专业的需要，本书内容按机械工业生产过程安排。从原材料生产、材料性质、热加工工艺和设备、质量控制及它们相互之间关系等技术基础知识作了较系统地、综合地介绍。力求使理论与实际、原理与工艺密切结合。如结合铸造生产工艺介绍铸铁材料，使学生对铸铁材料的性质、生产及应用加深认识；在锻压生产中结合具体塑性成型工艺介绍塑性变形与再结晶，使学生对形变强化原理及其在生产中的应用加深理解。在新材料、新工艺方面也有适当反映，另外还专章介绍了非金属材料的基本性质与应用。本书可作为高等院校管理工程类专业的试用教材，也可供高等院校非机械类专业及有关工程技术人员和管理人员学习参考。

全书共分十二章，其中：绪论、第一、三、四、十章由陕西机械学院陈兰芬同志编写；第二、十一、十二章由吉林工业大学赵文涛同志编写；第五、六、八章由陕西机械学院黄漱梅同志、任润刚同志编写；第七、九章由武汉工学院余寿彭同志编写，全书由陈兰芬同志担任主编。

本书由北方交通大学王绍孔同志担任主审，在审阅中对编写提出了许多宝贵意见。参加审稿会的有：清华大学安志义同志、南京工学院戴枝荣同志、太原机械学院翟云同志、山西矿业学院郭治安同志，对本书提供了许多有益的建议。本书在编写过程中，曾得到许多同志的热忱帮助和支持，谨在此表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，经验不足，时间仓促，虽然作了一些改革性的尝试，但考虑不周，安排不妥，错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

前言	
绪论	1
第一章 机械工程材料性能及应用	3
§ 1-1 机械工程常用材料举例	3
§ 1-2 机械工程材料的主要性能	4
第二章 钢铁生产与质量	11
§ 2-1 钢铁的冶炼	12
§ 2-2 型材加工	22
§ 2-3 钢材的质量	25
§ 2-4 钢的分类和编号	27
第三章 金属与合金的晶体结构	29
§ 3-1 金属的特征	29
§ 3-2 金属的晶体结构	31
§ 3-3 合金的晶体结构	35
§ 3-4 金属的实际晶体结构	40
第四章 金属与合金的结晶	43
§ 4-1 金属的结晶过程	43
§ 4-2 合金的结晶过程——相图	49
第五章 铁碳合金	61
§ 5-1 铁碳合金相图	61
§ 5-2 碳素钢	72
第六章 钢的热处理	77
§ 6-1 钢在加热时的转变	78
§ 6-2 钢在冷却时的转变	81
§ 6-3 钢的退火与正火	94
§ 6-4 钢的淬火与回火	97
§ 6-5 钢的表面热处理	105
§ 6-6 零件热处理的质量控制	115
§ 6-7 热处理常用设备的型号及使用范围	119
第七章 合金钢	122
§ 7-1 合金钢概论	122
§ 7-2 合金结构钢	126
§ 7-3 合金工具钢	145
§ 7-4 常用特殊性能钢	158
§ 7-5 粉末冶金与硬质合金简介	162
第八章 有色金属及其合金	165

§ 8-1	铝及其合金	165
§ 8-2	铜及其合金	172
§ 8-3	滑动轴承合金	182
第九章	铸造	185
§ 9-1	砂型铸造	186
§ 9-2	合金的铸造性能	201
§ 9-3	常用铸造合金	211
§ 9-4	铸件工艺图及结构工艺性	231
§ 9-5	特种铸造	240
第十章	锻压	248
§ 10-1	金属塑性成形	248
§ 10-2	金属的加热	262
§ 10-3	锻造	264
§ 10-4	板料冲压	289
§ 10-5	压力加工新工艺简介	296
第十一章	焊接	301
§ 11-1	金属熔化焊的基本知识	302
§ 11-2	电弧焊	309
§ 11-3	其他焊接方法	321
§ 11-4	常用金属材料的焊接	329
§ 11-5	焊接质量及检验	335
§ 11-6	金属的切割	338
第十二章	非金属材料	342
§ 12-1	概述	342
§ 12-2	高分子材料的基本知识	343
§ 12-3	工程塑料	349
§ 12-4	橡胶	356
§ 12-5	复合材料	359
附录	363
附录一	硬度试验规范	363
附录二	硬度对照表	364
附录三	钢的热处理工艺的代号与技术条件的表示方法(GC423-62)	366
附录四	国内外常用钢号对照表	366
附录五	常用金属材料的涂色标记	368
附录六	金属材料价格参考表(计划价)	370
参考文献	371

绪 论

随着科学技术和工业生产的飞速发展，对企业管理人材在数量上和质量上都提出了更高的要求。越是现代化的大生产，就越需要相应地培养掌握现代科学技术和科学管理方法，并具有较强的综合判断能力和组织能力的高级管理人材。这不仅关系到企业本身的生存和发展，而且对建设四个现代化的伟大事业也是一项刻不容缓的大事。

机械工业由于其生产过程的复杂性及产品的多样性，就更需要运用科学的管理方法和手段，从技术与经济相结合的角度，进行计划、组织、指挥、协调与控制，使人力、物力、财力和技术等资源得到充分而合理的运用，以获得最佳的技术经济效果，达到增加品种、提高产品质量、降低成本的要求。而现代机械工业管理的各个方面在生产管理、技术管理、物资管理和财务成本管理等无一不和生产技术的发展和应用有着密切的联系。尤其是现代科学管理，已把企业管理与专业技术、数学方法紧密地结合起来，有效地组织生产，并对新产品开发和生产技术准备等工作进行分析，从而不断提高经济效果。因此，对管理工程专业的学生要求，除掌握本专业外，还必须具备较宽广的生产技术方面的基础知识。

《机械工程材料与热加工工艺》是一门研究钢铁生产、金属学基础、热处理、机械工程材料、毛坯生产工艺等综合性的技术基础课程。其主要任务是论述有关钢铁生产与质量；常用金属材料的成分、组织、性能之间的关系及其变化规律；改善和提高材料性能的各种热处理方法；铸造、压力加工、焊接等加工工艺特点及其各种加工常用设备的工作原理和大体结构；工程中常用的非金属材料等方面的基础知识。学生在学习本课程后，对原材料生产及产品设计、制造工艺等生产过程及其相互间关系有较全面的、系统的、综合性的认识。实践表明，在生产过程中，合理的选用材料及热加工工艺；科学的制订加工工艺规范；妥善安排工艺路线，对提高产品质量、延长使用寿命，节省材料、缩短生产周期、降低成本等方面都起着重大作用。而这些又正是《机械工程材料与热加工工艺》这门课程所要研究的主要内容，也是管理专业学生在学习期间获得热加工方面知识不可缺少的一门课程。由此可见，这门课程在培养机械工程管理人材及专业技术人材方面占有重要的地位。

近二十年来新材料、新工艺、新设备以及现代检测手段的不断出现及应用，推动着现代工业和科学技术的发展。例如，钢材强韧化热处理新工艺的应用，在发挥材质性能潜力方面取得明显的效果。少切削、无切削新工艺的应用正在改变着某些传统产品的面貌。高分子材料如工程塑料及复合材料等的应用已取代了某些金属材料。所有这些都取得了明显的技术经济效果。因此，对于从事现代企业管理人员来说，还应重视不断吸收新知识，以便扩大视野，丰富知识，更好地进行技术经济论证，为推动机械工业的发展做出新的贡献。

为适应管理工程专业的需要，本课程按机械工业生产过程安排内容，力求理论与实践、工艺与原理密切结合，以利于培养学生综合分析问题和解决一般工程实际问题的初步能力。课程内容包括有机械工程材料性能及应用，钢铁生产与质量，金属学基础，热处理，机械工程材料，热加工工艺六个方面。其基本要求如下：

(1) 机械工程材料性能及应用 了解机械工业产品常用材料及热加工方法与性能之间

的关系。了解金属材料的强度、塑性、硬度、冲击韧性等主要机械性能指标及其测试方法。

(2) 钢铁生产与质量 了解钢铁冶炼方法及影响钢材质量的因素,以便使学生对原材料的来源与冶金质量的控制有初步的认识。

(3) 金属学基础 了解金属和合金的组织结构、结晶过程及二元合金相图的基本理论,从而掌握金属和合金的成分、组织、性能之间的关系及其变化规律。它是学习本门课程后续内容的理论基础。

(4) 热处理 了解常用钢铁材料热处理的基本原理和工艺方法,掌握各类热处理方法的目的、应用及其在零件加工过程中的地位与作用,以便能根据零件的技术要求正确选定热处理工艺方法和合理安排工艺路线。

(5) 机械工程材料 掌握常用的碳钢、合金钢、铸铁、铝合金、铜合金及轴承合金等金属材料(其中以钢铁为主)的成分、组织、性能和用途的基本知识,以便能合理选用金属材料。对常用工程塑料、橡胶、复合材料等非金属材料的性能及应用等基本知识作一般了解。

(6) 热加工工艺 掌握铸造、锻压、焊接等主要加工方法的实质、工艺特点、设备能力及工作原理、零件结构工艺性等方面的基本知识,以便能合理选择毛坯生产方法。

由于这门课程是一门综合性和工艺性较强的技术基础课。学生学习本课程必须在有关知识的基础上进行,并需要与有关课程相互配合。因此要求在学习本课程前,学生应学完化学、物理、工程制图、材料力学等课程。并应经过热加工方面的教学实习,对主要热加工工艺过程和设备应有一定的感性认识。另外如有条件应安排到外厂去进行生产实习,以便进一步补充、扩大学生的技术知识面。

第一章 机械工程材料性能及应用

§ 1-1 机械工程常用材料举例

机械工程各类产品大部分是由品种繁多、性能各异的金属材料和非金属材料并通过适当加工成型所制成的零部件构成的。零部件的工作条件与受力情况不同，其所用材料和具备的性能也各不相同。因此，设计和制造机械零部件时必须依据该零部件的工作特性，提出确切可靠的技术要求，以保证零部件的质量。零部件质量的好坏直接影响到整台机械的正常工作与使用寿命。而材料及热处理对零部件质量的提高又有密切的关系。现以一般拖拉机的柴油发动机为例，说明其材料的使用和热处理强化的简况。

图1-1为柴油发动机。柴油发动机是拖拉机的动力来源，它通过进气、压缩、作功和排气四个工作行程，将活塞的往复运动转变为曲轴的旋转运动，从而把热能转化为机械能。

活塞在气缸内作往复运动时，经受高温、高压燃气的作用，要求制造活塞的材料应具有良好的导热性、耐磨性、耐蚀性，而且还要求有较小的摩擦系数。目前一般常采用铸造铝合金。

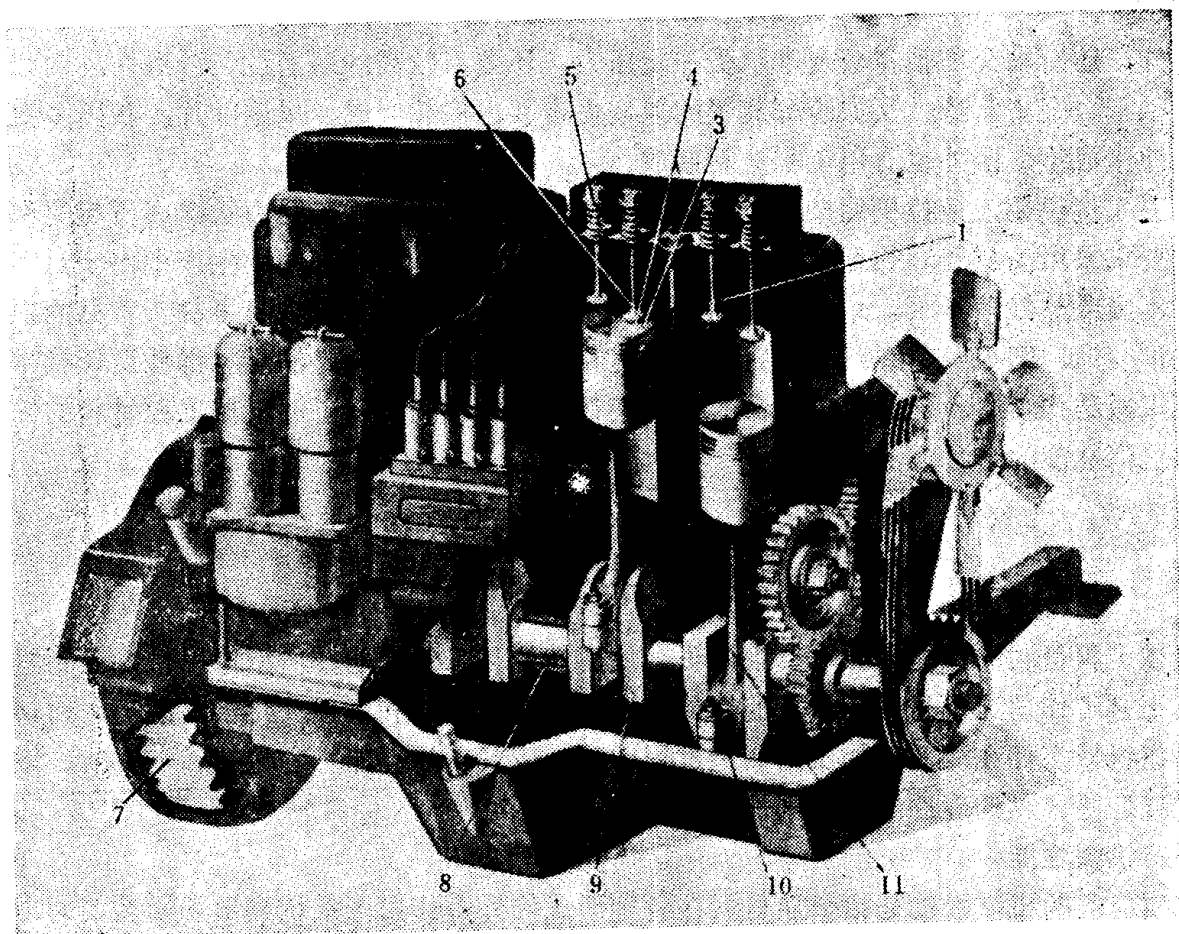


图1-1 柴油发动机

- 1—进气阀 2—气缸体 3—活塞 4—活塞环 5—弹簧 6—排气阀 7—齿轮 8—轴瓦
9—曲轴 10—连杆螺栓 11—连杆

曲轴是柴油发动机中形状特殊、尺寸较大、受力情况复杂的重要零件。它在工作中主要承受交变的弯曲、扭转和冲击载荷。其轴颈除担负较大载荷外，还承受较严重的磨损。所以要求曲轴的材料应具有较高的强度和韧性，并且其轴颈部位要求具有良好的耐磨性。目前我国常采用中碳结构钢经模锻制成或用球墨铸铁铸造制成，并经适当的热处理提高其轴体强韧性和轴颈表面耐磨性。

与活塞和曲轴相连接的连杆，在工作中主要承受冲击性的交变拉伸压缩和弯曲载荷，因此，要求连杆的材料应具有较高的强度、刚度与韧性。一般常采用中碳合金结构钢经模锻制成，并经热处理提高其强韧性。

齿轮的作用主要是传递动力，改变运动速度和方向。在工作中，两齿面相接触承受交变接触应力与磨损；齿根则受交变弯曲应力，同时还有由于交变应力作用而产生的冲击载荷。因此，要求齿轮的材料应具有较高的接触疲劳强度和抗弯强度，还要有足够的冲击韧性和良好的耐磨性。对一般受载不太大，速度不太高的传动齿轮，常采用中碳结构钢锻造而成，并经热处理提高其强韧性和表面耐磨性。

发动机的气缸体形状复杂，用其它加工方法难以制造，所以要用灰口铸铁经铸造生产制成。

进、排气阀弹簧要求在较高的温度下仍保持有高的弹性，因此采用合金弹簧钢制成。

发动机上有些零部件的工作条件比较特殊，因而对性能有特殊要求。如进、排气阀要在高温下工作，要求具有高的耐高温强度、耐热性和耐蚀性，应采用具有特殊性能的耐热钢来制造。此外，还有轴瓦和轴衬套要求承受一定压力，还要有较高的耐磨性与减磨性，因此采用青铜或轴承合金来制造。又如冷却装置的风扇皮带要用橡胶制成。风扇叶片，我国多数采用低碳钢冲压成型，国外也有用工程塑料制成。

以上实例说明，拖拉机的柴油发动机其零部件由于工作条件与受力状况或所起的作用不同，故要求采用的材料，热处理和热加工方法也各不相同。实践证明，生产中由于对零部件的选材不当或热处理不妥，结果在使用中发生早期损坏，甚至造成人身事故。常见的损坏形式有过量变形、磨损及断裂。因此合理的选材和正确进行热处理是满足零部件设计技术要求并达到机械结构紧凑，延长使用寿命的重要条件。为此我们必须了解机械工程材料的性能及改善和提高性能的各种方法。

§ 1-2 机械工程材料的主要性能

机械工程材料的性能大致可分为两类：使用性能和工艺性能。所谓使用性能是指机械零部件在正常工作情况下材料应具备的性能。它包括机械性能和物理、化学性能等。所谓工艺性能是指机械零件在冷、热加工的制造过程中材料应具备的性能。它包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能和切削加工性能等。

一、机械性能

金属材料的机械性能是指金属材料在各种形式的外力作用下抵抗变形和断裂的能力。衡量金属材料机械性能的主要指标有强度、塑性、刚度、硬度、冲击韧性、疲劳强度等。

(一) 强度

工程中通常所说的强度是指材料在常温、静载下抵抗产生塑性变形或断裂的能力。表示

金属材料强度的指标有屈服强度和抗拉强度，它们由拉伸试验测定。

将金属材料按国家标准制成如图 1-2 所示的标准拉伸试样，在材料试验机上进行拉伸试验。试验结果可以画出以绝对伸长量 Δl 为横坐标，以拉力 P 为纵坐标的拉伸图。如把 Δl 除以标距长 l_0 ， P 除以试件原横截面面积 F_0 ，即得应力应变图。

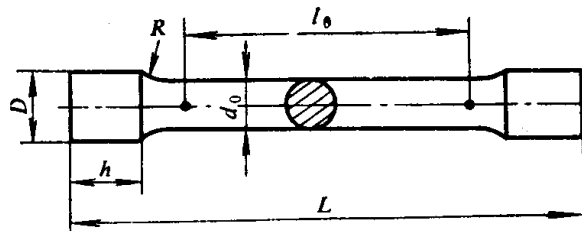


图1-2 标准拉伸试样示意图

图 1-3 所示为典型的低碳钢拉伸时的应力应变图。

由图可见，试件从受力开始直至被拉断大体上可分为四个阶段。在 oa 范围内是弹性阶段，应力与应变成线性关系，试件只产生弹性变形。 bc 是屈服阶段或称流动阶段，其特点是试件所承受的载荷几乎不变，但却产生了不断增加的塑性变形。与 b 点相对应的应力称为屈服强度，用 σ_s 表示

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \text{ (Pa)}$$

式中 P_s 是测力指针第一次回转后的最小载荷。 F_0 是试件原横截面

面积。Pa 称为帕[斯卡]，简称帕，是国际单位制 (SI) 中的应力单位。1 帕 = 1 牛[顿]/米² (N/m²)，由于此单位较小，所以常用兆帕 (MPa) 来作为应力的单位，1 兆帕 = 百万牛[顿]/米² (MN/m²)。它与工程单位制的关系为：1MN/m² \approx 0.1kgf/mm²。

屈服强度表征了材料抵抗产生微量塑性变形的能力。

cd 是强化阶段，在此阶段内，欲使试件继续变形则必须加大载荷。 d 点是应力应变曲线的最高点，与该点相对应的应力称为抗拉强度或强度极限，用 σ_b 表示。

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \text{ (Pa)}$$

式中 P_b 是试件在断裂前的最大拉力。抗拉强度表征了材料抵抗断裂的能力。

de 称为局部变形阶段。当载荷增加到 d 点时，试件出现局部变细的颈缩现象，因为截面变小，载荷也就下降，至 e 点时试件被拉断。

屈服强度 σ_s 和抗拉强度 σ_b 是材料的重要的机械性能指标，它是零部件强度设计的主要依据。因为在一般情况下，既不允许零件产生塑性变形，更不允许发生断裂。

有些金属材料在应力应变图中没有明显的屈服阶段，它的屈服强度很难测定。通常规定产生 0.2% 塑性变形时的应力作为名义屈服强度，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

如果在强化阶段内的某一点（如图 1-3 中的 f 点）卸载，试件的应力应变曲线将沿着与 oa 平行的直线返回到 o_1 点。这表明 $\overline{o_1o_2}$ 所代表的弹性应变消失，而 $\overline{oo_1}$ 所代表的塑性应变则残留在试件中，残留下来的应变常称为残余应变。若对有了残余应变的试件再重新加载，则

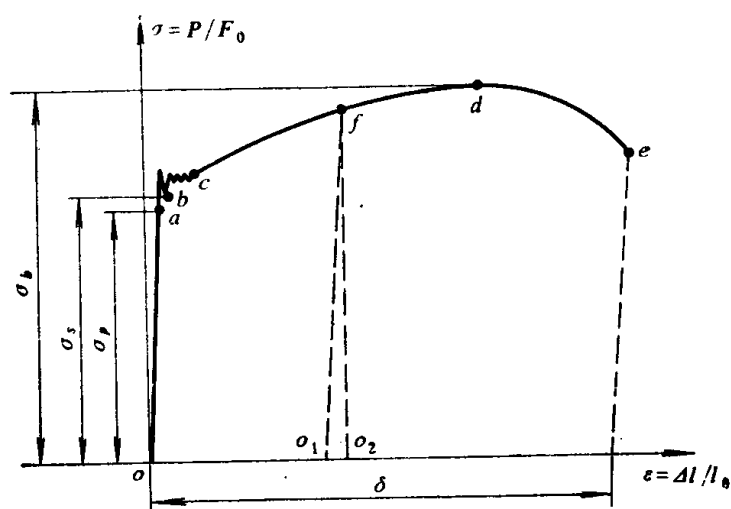


图1-3 低碳钢拉伸时的应力应变图

应力应变曲线沿着方才的卸载直线 o_1f 上升到 f 点后仍沿 fde 曲线进行。可以看到，此时的屈服强度有所提高，而断裂后的残余应变比原来有所减小。这种在常温下经过塑性变形后材料强度提高，塑性降低的现象，称为“冷作硬化”或“加工硬化”。在工程上常利用加工硬化来提高某些构件，例如自行车链条，钢缆绳等的强度。

(二) 塑性

断裂前金属材料发生塑性变形的能力称为塑性。通常用延伸率 δ 作为材料的塑性指标。

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

式中 l_0 ——试件拉伸前的标距

l ——试件拉断后的标距长度

金属材料的塑性还可用断面收缩率 ψ 来表示。即

$$\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} \times 100\%$$

式中 F_0 ——试件原横截面面积

F ——试件拉断后断口处的截面积

δ 或 ψ 愈大，则材料的塑性愈好。良好的塑性是金属材料进行压力加工的必要条件。

(三) 刚度

材料在受力时抵抗产生弹性变形的能力称为刚度。通常用材料在弹性范围内，应力应变的比值即弹性模量 E 来作为衡量材料刚度的指标。 E 愈大，刚度愈大。即在一定的应力作用下产生的弹性变形愈小。

弹性模量 E 的大小，同材料的原子之间其作用力的强弱有密切关系。但 E 值对金属及合金的显微组织的变化是不敏感的。所以热处理和少量的合金化可以使钢的强度成倍的增加，但其弹性模量却基本保持不变。

(四) 硬度

硬度是指金属材料抵抗外物压入的能力。硬度愈高，表面金属材料抵抗局部塑性变形的能力愈大。在一般情况下，硬度高时耐磨性能较好，硬度与强度之间存在着一定的内在关系。其试验方法较简单，又无损于零件，故在生产实践中往往通过简便的硬度测定来估计其强度指标。

常用的硬度指标有：布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等。

1. 布氏硬度

布氏硬度测定原理：用一定直径的淬火钢球，在一定的静载荷作用下，垂直压入试件表面，根据所加载荷的大小和所得压痕表面积来计算压痕表面积上的平均应力值。此平均应力值即定义为布氏硬度值，并以 HB 表示。（图 1-4）即

$$HB = \frac{P}{F_{\text{压痕}}} = \frac{P}{\pi D h} \quad (\text{kgf/mm}^2)$$

式中 P ——所加载荷

D ——钢球直径

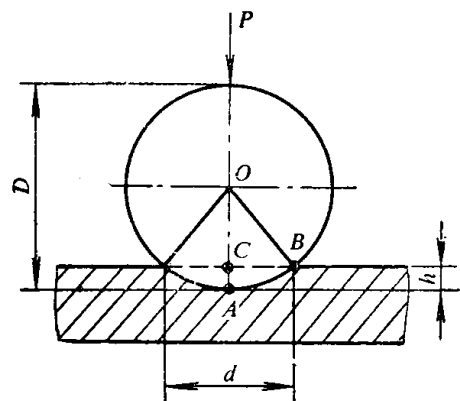


图1-4 布氏硬度试验机原理示意图

d ——压痕直径

$F_{\text{压痕}}$ ——压痕表面积

由于测量压痕深度 h 较困难，因此一般用测量压痕直径 d 来求 HB 值。

由图 1-4 所示可计算出：

$$h = OA - OC = \frac{D}{2} - \frac{\sqrt{D^2 - d^2}}{2}$$

$$HB = \frac{P}{F_{\text{压痕}}} = \frac{P}{\pi D h} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{kgf/mm}^2)$$

在实际测定中， P 和 D 是试验时选定的，只需用刻度放大镜测量压痕直径 d ，然后直接查表即可求得硬度值。硬度值仍沿用 kgf/mm^2 作为单位，但习惯上不予标出。

由于布氏硬度是以钢球为压头，所以只能测量硬度不高的材料。当 HB 大于 450 时，钢球可能严重变形，将使测量结果不准确。因此，布氏硬度法适用于退火、正火、调质钢件及铸铁、有色金属部件的测定。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度测定原理：洛氏硬度法与布氏硬度法基本相同，所不同的它不是测定压痕的大小，而是根据压痕的深度来衡量硬度（图 1-5）。洛氏硬度法常用顶角为 120° 的金刚石圆锥体作为压头。测量时，先加初载荷 10kg，使压头压入 b 处与试件的表面接触良好，以 b 处作为衡量压入深度的起点，再加上主载荷使压头压入到 c 处，停留一定

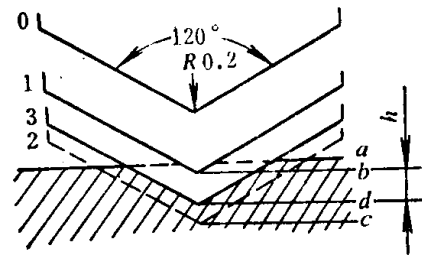


图1-5 洛氏硬度测定原理图

时间后将主载荷卸除，由于材料弹性变形的恢复，压头回升到 d 处，以此时的压痕深度 h 作为测量的硬度值，此数值由硬度计表盘上的指针指出。表盘上的硬度值是这样确定的：压头每移动 0.002mm ，表盘的指针即转过一格，当压头从 b 移到 d 时，指针转过的格数为 $h/0.002$ ，但用此格数作为硬度值将造成错觉，因此用一适当的常数减去 $h/0.002$ 作为硬度值。例如当压头为金刚石而载荷为 150kg 时，其硬度值 HRC 以下式表示：

$$\text{HRC} = 100 - \frac{h}{0.002}$$

洛氏硬度值没有单位，直接用数字表示。实际测定中，这一数值可以由硬度计刻度盘上直接读出。材料愈软，则压痕 h 愈深，其 HRC 值愈小。反之，材料愈硬， h 愈小，HRC 值愈大。

洛氏硬度法根据所用压头和载荷不同，可以分成三种标度，其符号分别以 HRA、HRB、HRC 表示。HRC 用以测量一般淬火钢件，硬度适用范围在 HRC20~67 之间。HRA 用来测更硬的材料或者测量极薄层的硬度（如渗碳层及氮化层的硬度）。HRB 常用以测量较软的材料如退火、正火、调质钢件等。

洛氏硬度法操作迅速、简便、压痕小、无损于工件表面，经常可以用来测量成品及薄的零件。在生产中得到广泛的应用，其中以 HRC 的应用最广。

3. 维氏硬度

维氏硬度测定原理：基本上与布氏硬度试验法相同，不同的是所加载荷 P 较小，并用顶

角为 136° 的金钢石棱锥体作为压头。在载荷 P 的作用下，被测试件表面上压出一对角线长度为 d 的方形压痕（图 1-6）。以单位压痕表面积所受的载荷作为维氏硬度值，用 HV 表示。

$$HV = \frac{P}{F_{\text{压痕}}} = 1.8544 \frac{P}{d^2} \quad (\text{kgf/mm}^2)$$

式中 P —— 所加载荷

$F_{\text{压痕}}$ —— 压痕表面积

d —— 压痕二对角线的平均长度

试验后根据已知的 P 和 d ，代入上式可得 HV 值，但一般可直接查阅预先算好的维氏硬度表。维氏硬度试验因载荷小（常用 5kg 及 10kg），压痕浅，故广泛用来测定工件薄的表面硬化层或金属镀层以及薄片金属的硬度。维氏硬度法，载荷能在很大范围内调整（一般 5 ~ 100kg），既可测试很软的，也可测试很硬的金属材料，所测硬度能直接比较，无须换算。

以上各种硬度试验规范及对照表可见附录。

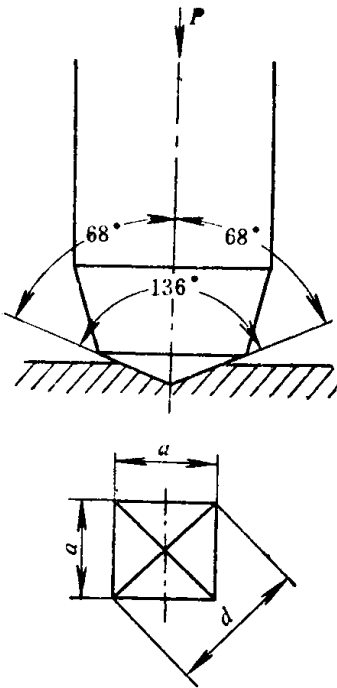


图1-6 维氏硬度试验示意图

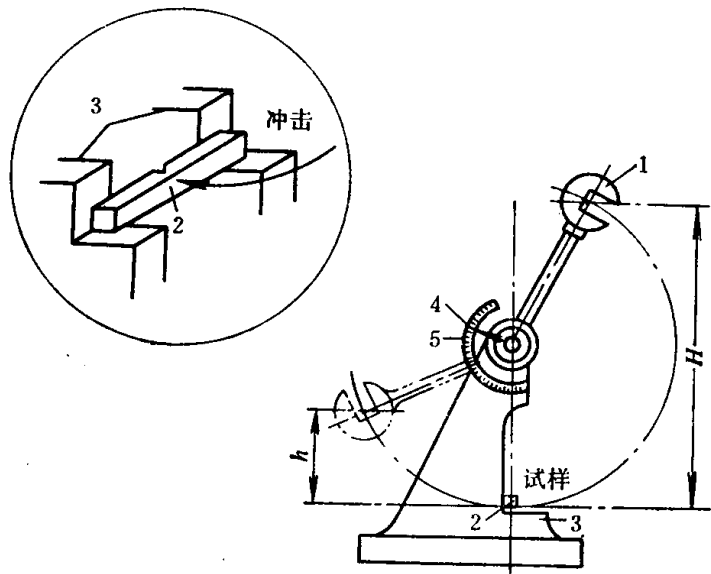


图1-7 摆式冲击试验机

1—摆锤 2—试样 3—支座 4—指针 5—刻度盘

(五) 冲击韧性

冲击韧性是材料在冲击载荷作用下抵抗断裂的一种能力。目前工程技术上常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定材料受冲击载荷的能力。其测定原理如图 1-7 所示。

将一定尺寸和缺口型式的标准试样放在冲击试验机的支座上，然后将具有一定位能的摆锤释放，冲断试样。冲断试样所消耗的功为 $A_k [=W(H-h)]$ 。直接由试验机的刻度盘指示出来。用试样缺口处截面积 F 除以 A_k 即得冲击韧性值 a_k

$$a_k = \frac{A_k}{F} \quad (\text{kg} \cdot \text{m/cm}^2)$$

式中 A_k —— 试样冲断时所消耗的功

F ——缺口处截面积

由于 a_k 值的大小不仅决定于材料本身，同时还随试样尺寸、形状的改变及试验温度的不同而变化。因而 a_k 只是一个相对指标。目前国际上直接采用冲击功 A_k 作为冲击韧性的指标，其国际单位为 J (焦耳)。

实践证明，冲击韧性对材料微观组织微小变化的反应是很敏感的。因而 A_k 值是生产上常用来检验冶炼、热加工、热处理质量的重要指标。

应当指出，在机械制造中大多数的零部件是在小能量多次冲击载荷下工作的。根据研究表明：在能量不太大的情况下，材料承受多次重复冲击的能力主要取决于强度指标，而不是决定于冲击值。如目前广泛采用球墨铸铁制造拖拉机柴油发动机的曲轴，其冲击值并不大， A_k 约为 12 J，然而使用良好。因此对于小能量多次冲击下工作的零部件，不必要求过高的冲击值，而主要应该具有足够的强度。

(六) 疲劳强度

机械工程中有不少零部件，例如发动机中的曲轴、连杆，常在交变载荷下工作。另外有些零部件，例如传动轴，虽然它所受到的载荷并不随时间而交替变化，但其本身在旋转。在这两类情况下，零部件中都将产生随时间而交替变化的应力。这种应力就称为“交变应力”。在这种条件下工作的零部件，即使它是用塑性材料制成的，而且零部件的最大应力低于材料在静载荷下的屈服极限，但经过长期使用后，有时也可能发生突然断裂的事故。例如气锤的锤杆，机车及车辆中的车轴等，都发生过这种破坏。通常将这种破坏称为“疲劳破坏”。疲劳断裂与静载荷下的断裂不同，零件发生疲劳断裂时不产生明显的塑性变形，断裂是突然发生的，因此，具有很大的危险性。所以寻找提高材料疲劳抗力的途径以防止疲劳断裂事故的发生具有重大实际意义。

材料在无数次（对钢铁来说约 $10^6 \sim 10^7$ 次）重复交变应力作用下而不致引起断裂的最大应力称为“疲劳强度”，它用以衡量材料的疲劳性能。

材料的疲劳强度与材质本身的内在质量、零件表面状况、结构形状及承受载荷的性质等许多因素有关。生产中可以通过提高零件的表面光洁度和采取各种表面强化方法如表面淬火、喷丸处理等来提高材料的疲劳强度。

二、物理、化学及其它性能

材料的主要物理性能有比重、熔点、热膨胀性、导电性和导热性等。而化学性能主要是耐腐蚀性。其它性能这里主要指耐磨性，它是一种综合性的使用性能。

材料的物理性能，对于热加工工艺和比强度（抗拉强度/比重）具有一定的影响。例如高速钢的导热性较差，在锻造时应采用较低的加热速度，否则会产生裂纹；又如工程塑料由于比重小，一般约为 1.0~2.0，只有钢的八分之一到四分之一，又具有一定的强度，因此工程塑料具有较高的比强度。特别是纤维增强塑料，其比强度更高。这对要求减轻自重的车辆、船舶和飞机等交通运输工具来说具有重大意义。

材料的化学性能主要指耐蚀性和耐酸性等，它表征材料在常温或高温时抵抗各种化学作用的能力。为了制造能抗腐蚀的零部件（如化工设备、医疗器械等），通常可采用不锈钢和工程塑料等材料。

材料的耐磨性是材料在工作中承受磨损的耐久程度。它对承受摩擦的零部件的使用寿命有很大影响。如发动机缸套磨损过限将引起马力不足，油耗增大。材料的耐磨性与材料的硬

度、摩擦系数、表面光洁度、摩擦时的相对运转速度、载荷大小及周围介质情况（如有无润滑油）等多种因素有关。

三、工艺性能

工艺性能乃是物理、化学、机械性能的综合。按工艺方法的不同，可分为铸造性、塑性成形性、可焊性和切削加工性等。

在设计零部件和选择工艺方法时，都要考虑材料的工艺性能。例如灰口铸铁具有良好的铸造性和切削加工性，但塑性成形性极差，不能进行锻压，可焊性也较差，因而广泛用来制造形状复杂的铸件。低碳钢的塑性成形性和可焊性都很好，常用来制造各种锻压件和焊接件；而高碳钢的可焊性较差，一般不宜制作焊接件，常用来制造各种刀具、量具等零件。

各种工艺性能将在以后有关章节中分别介绍。

第二章 钢铁生产与质量

钢铁生产过程包括从铁矿石炼成生铁，将生铁冶炼成钢。所炼成的钢除少量直接浇铸成铸件以外，绝大部分都是先铸成钢锭，再将钢锭经过轧制、挤压及拉拔等方法制成各种钢材，如板材、型材、管材和线材等等。这些钢材将供进一步加工使用。钢铁生产过程大致如图 2-1 所示。

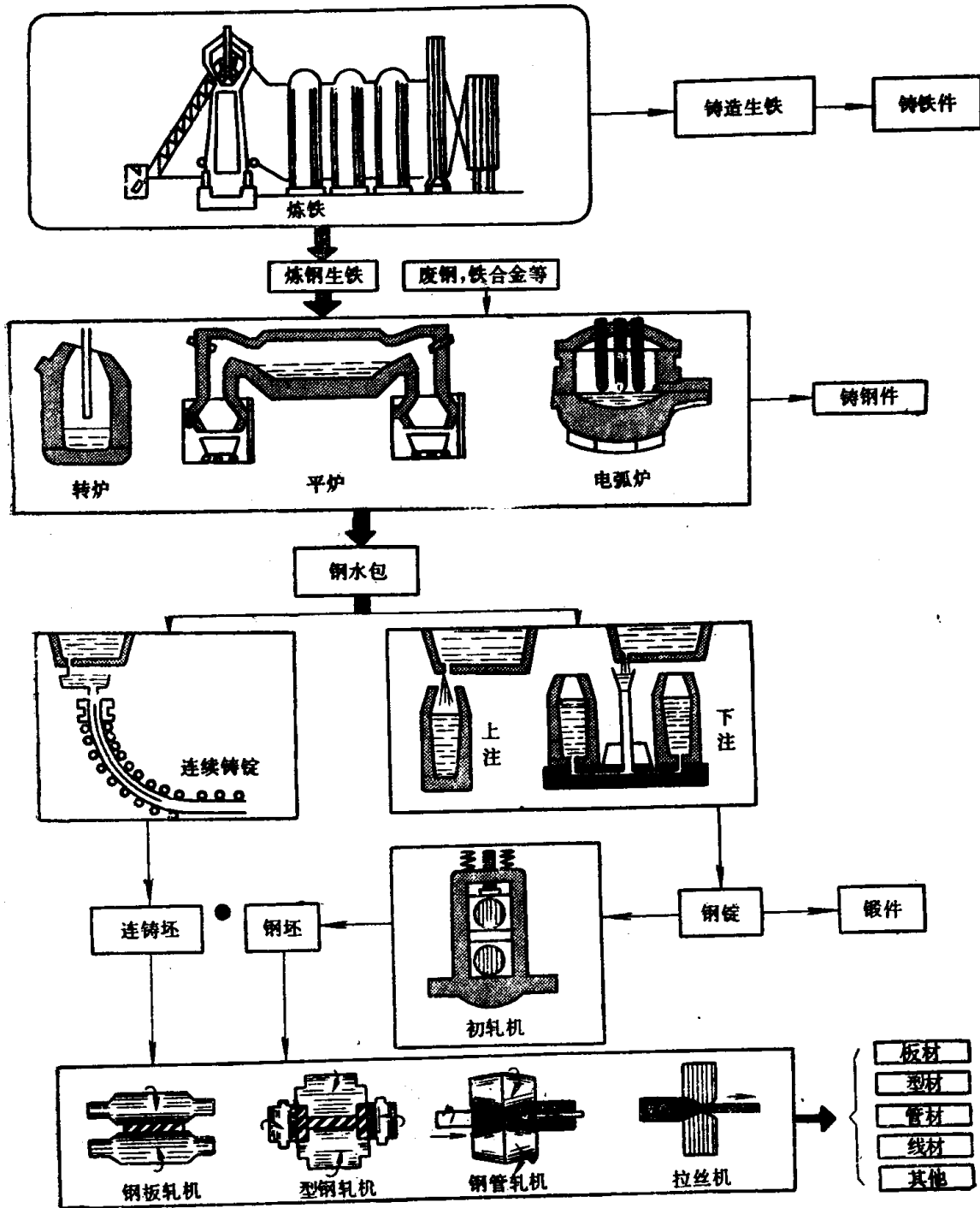


图2-1 钢铁生产计程示音图

§ 2-1 钢铁的冶炼

一、铁的冶炼

铁矿石多以氧化物的形式存在，并含有一定量的杂质，称作脉石，其主要成分为 SiO_2 。因此，要把铁矿石炼成生铁，必须在冶炼过程中进行铁从氧化铁中被还原和去除脉石的造渣反应。这些反应只有在高温下才能得以实现。

现代炼铁是在高炉中进行。高炉是一种竖立的鼓风炉（图 2-2）。炉料（矿石、熔剂和燃料）从炉顶装入，并且不断地向下运动。热风则从炉子下部鼓入，使燃料燃烧，形成含相当数量 CO_2 的高温炉气。炉气不断地向上运动，炉料不断地向下运动，这样炉气与炉料相互运动过程中产生一系列的物理、化学变化，使铁矿石中的铁逐渐被还原，并熔化为铁水，从炉子下部的出铁口流出，铸成生铁锭。矿石中的脉石及燃料中的灰分，在高温与熔剂作用生成炉渣，并从出渣口导出与铁水分开。

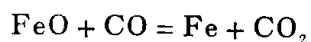
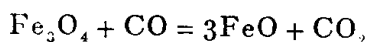
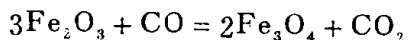
（一）高炉的冶炼过程

高炉冶炼过程所发生的一系列物理、化学变化主要是：燃料的燃烧、铁和其它元素从氧化物中被还原、铁的增碳和熔化，以及造渣等等。

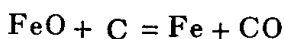
当红热的焦炭降到风口附近时，与鼓入的热风中的氧化合，发生燃烧，生成 CO_2 并放出大量的热。炉缸中心的温度可达到 $1800\sim 1900^\circ\text{C}$ 。

根据物理化学试验证明，当温度在 1000°C 以上，如有过剩的碳时， CO_2 不能存在，被碳还原为 CO 。含有大量 CO 的炽热炉气逆着下降的炉料上升，既供应了冶炼过程所需要的热量，又是铁和其它元素氧化物的还原剂。

铁从氧化物中被还原是高炉冶炼的主要过程，其还原反应如下：



上述反应是在高炉上部和中部进行的。炉料下降到 950°C 以上的高温区域时，铁从氧化物中被还原则由固体碳进行。其反应如下：



最初还原出来的铁如海绵状，称为海绵铁。海绵铁下降过程中会吸收碳，使其熔点降低，在 1200°C 左右开始熔化，并向下流动。当熔化的铁水通过焦炭时继续吸收碳，使铁水中的碳量不断增加。

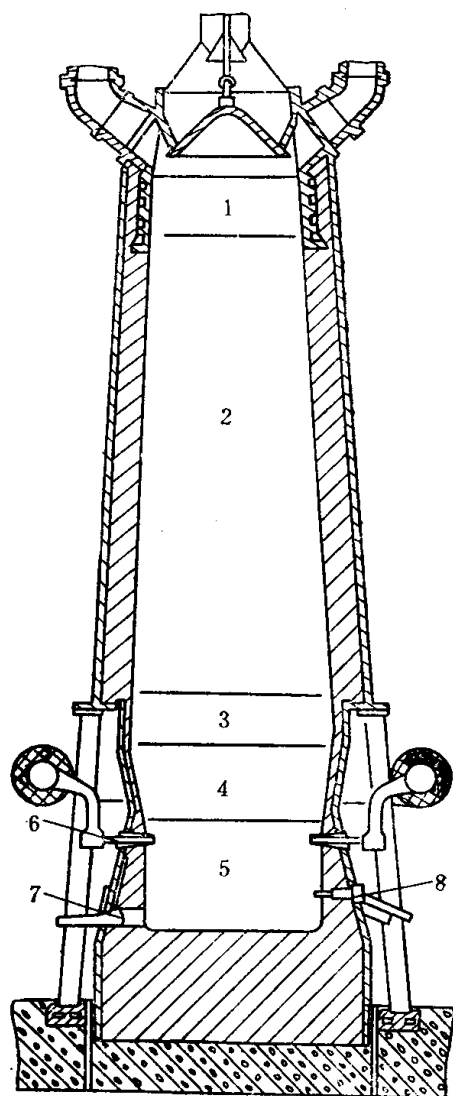


图2-2 高炉炉体纵剖面图

1—炉喉 2—炉身 3—炉腰 4—炉腹
5—炉缸 6—风口 7—出铁口
8—出渣口