

金属材料学

(试用教材)

第五机械工业部七·二一工人大学教材选编小组 编

国防工业出版社

一九七八年

金 属 材 料 学

(试用教材)

第五机械工业部七·二一工人大学教材选编小组 选编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书是在阐明金属与合金的成分、组织、性能之间关系及其变化规律的基础上介绍机械工业中常用的金属材料及热处理方法，为进行机械设计、制造提供有关金属材料及热处理方面的基本知识。主要内容包括金属构造，合金相图，热处理基础，钢铁材料及有色金属材料等。

本书为七·二一工人大学机械类专业金属材料课程试用教材。

也可供高等工科院校本课程教学之用。

金 属 材 料 学

(试用教材)

第五机械工业部七·二一工人大学教材选编小组 选编

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

*

787×1092¹/₁₆ 印张14¹/₈ 326千字

1978年9月第一版 1978年9月第一次印刷 印数：00,001-50,000册

统一书号：N15034·1689 定价：1.50元

选 编 说 明

为了更好地贯彻执行毛主席的无产阶级教育路线，加速培养又红又专的职工队伍，适应社会主义革命和社会主义建设的需要，我部企、事业单位相继办起了工人大学。遵照毛主席关于“继续搞好教育革命”、“要提倡为革命学习文化、学习技术、精通业务、又红又专”的指示，必须努力办好工人大学。

根据毛主席关于“教材要彻底改革，有的首先删繁就简”的教导，为了尽快解决教材供应不足的问题，经与各省（市、区）有关部门协商，组成了有湖南、陕西、山西、四川、辽宁、黑龙江、内蒙古、江苏、北京等省（市、区）有关厂、校的专、兼职教师，工大毕业学员参加的工人大学机械类教材选编小组，在各地积极提供的一百五十余种教材基础上结合我部工人大学情况，进行了选编工作。最后确定了十一种教材，包括《初等数学》、《高等数学》、《机械制图》、《工程力学》、《电工学》、《金属材料学》、《机械设计基础》、《机床液压传动》、《机械加工工艺及工装设计》、《机床设计》、《数控机床》。

各书在审查出版中，分别受到湖南湘潭大学、西北工业大学、西安交通大学、陕西机械学院、北京工业学院及山西、陕西、湖南、吉林、天津等印刷单位大力协助，谨在此对各有关单位表示衷心的感谢。

本书是以大连工学院编写的《金属学及热处理》（科学出版社 1975 年版），广东工学院等十院校编写的《金属材料及热处理》（上海人民出版社 1974 年版），北京工业学院编写的《金属材料及热处理》（1976 年版）为主要参考书进行选编。

由于我们对马列和毛主席关于教育革命的论述学习不够，加上时间仓促，对“四人帮”在教育战线干扰破坏的揭发批判正在深入，教材中难免有缺点和错误，希望广大工人学员、教师提出宝贵意见。

第五机械工业部七·二一工人大学教材选编小组

目 录

第一章 概述	1	第三节 钢的热压力加工	66
第一节 钢铁生产过程	1	一、热压力加工温度	66
一、高炉炼铁	2	二、热压力加工的特点	68
二、炼钢	2	第五章 钢的热处理	69
三、钢的轧制	3	第一节 钢在加热时的转变	69
四、钢的分类及编号	4	一、奥氏体的形成	69
第二节 金属的机械性能	8	二、奥氏体晶粒的长大	70
一、钢的强度与塑性	8	第二节 钢在冷却时的转变	71
二、硬度	11	一、奥氏体的等温转变	71
三、冲击韧性	13	二、奥氏体等温转变曲线的应用	78
四、疲劳	14	第三节 钢的退火和正火	79
第二章 金属的构造及结晶	15	一、退火	79
第一节 纯金属的构造	15	二、正火	80
一、纯金属晶体构造的特点	15	三、退火与正火的选择	82
二、实际的金属构造	18	第四节 钢的淬火与回火	82
第二节 纯金属的结晶和同素异构转变	22	一、钢在淬火时组织和性能的变化	83
一、纯金属的结晶	22	二、钢的淬火工艺	84
二、金属的同素异构转变	24	三、钢的回火	87
第三节 合金的构造	25	四、淬火、回火在工艺路线中的位置	91
一、固溶体	25	第五节 钢的淬透性	92
二、化合物	26	一、淬透性的概念	92
第四节 合金的结晶过程——相图	28	二、淬透性的测定方法	94
一、相图的基本概念	28	第六节 感应加热表面淬火	98
二、匀晶相图	32	一、原理及设备简介	98
三、共晶相图	34	二、感应加热表面淬火的特点	99
四、合金铸造性与相图的关系	37	三、钢材及淬硬层深度的选择	100
第三章 Fe-Fe ₃ C 相图及碳钢	39	四、感应加热表面淬火的应用	100
第一节 Fe-Fe ₃ C 相图	39	第七节 钢的化学热处理	101
一、Fe-Fe ₃ C 相图的分析	39	一、钢的渗碳	101
二、典型铁碳合金的结晶过程	42	二、钢的氮化(渗氮)	104
三、铁碳合金的组织与性能	50	三、钢的氰化(碳氮共渗)	107
四、Fe-Fe ₃ C 相图的应用	51	四、高频表面淬火与渗碳、氮化的比较	108
五、合金元素对Fe-Fe ₃ C 相图的影响	52	第八节 热处理缺陷及预防措施	108
第二节 碳钢的特点及用途	54	一、氧化和脱碳	108
一、钢中的杂质及作用	54	二、热处理变形和裂纹	109
二、碳钢的应用	54	第六章 优质结构钢	112
第四章 金属的塑性变形与再结晶	58	第一节 合金元素在结构钢中的作用	112
第一节 塑性变形对金属组织和性能的影响	58	第二节 渗碳钢	113
一、滑移	58	一、常用的渗碳钢	116
二、冷作硬化(加工硬化)	61	二、渗碳钢的热处理	117
三、固溶强化和弥散强化	62	第三节 调质钢	118
第二节 冷压力加工金属在加热时组织		一、常用的调质钢	118
和性能的变化	64	二、调质钢的热处理	123
一、回复与再结晶	65	第四节 弹簧钢	124
二、影响再结晶后晶粒度的因素	65	一、常用的弹簧钢	124

二、弹簧钢的热处理	125	第十章 铸铁	173
第五节 轴承钢	127	第一节 概述	173
一、常用的轴承钢	127	一、铸铁的性能特点	173
二、轴承钢的热处理	128	二、铸铁的组织及其形式	174
第七章 机械零件的选材	130	第二节 常用的铸铁	176
第一节 机械零件的技术要求及失效形式	130	一、普通灰口铸铁	176
第二节 对钢材机械性能的认识	131	二、孕育铸铁(变质铸铁)	179
一、钢材的尺寸效应	131	三、球墨铸铁	179
二、钢材机械性能数据的意义	133	四、可锻铸铁	181
第三节 选用材料的一般原则	134	第三节 铸铁的热处理	182
一、材料的机械性能	134	一、消除内应力的退火	182
二、材料的工艺性	135	二、消除铸件白口,改善切削加工性的退火	183
三、材料的经济性	136	三、正火	183
第四节 典型零件的选材及工艺分析	136	四、淬火及回火	183
一、机床主轴	136	五、表面淬火	184
二、内燃机曲轴	140	第四节 合金铸铁简介	184
三、齿轮	142	一、高强度合金铸铁	184
第八章 工具钢	147	二、耐磨合金铸铁	184
第一节 工具钢的特点	147	三、耐热合金铸铁	184
第二节 碳素工具钢	148	四、耐酸铸铁	185
一、常用的碳素工具钢	148	第十一章 有色金属材料	186
二、碳素工具钢的锻造和热处理	148	第一节 铝及其合金	186
三、碳素工具钢的性能和应用	149	一、纯铝	186
第三节 合金工具钢	149	二、铝合金	186
一、合金工具钢的成分、特点	149	三、铝合金选用的几点原则	195
二、刃具钢	151	第二节 铜及其合金	196
三、模具钢	152	一、黄铜(铜锌合金)	196
四、量具钢	153	二、锡青铜(铜锡合金)	199
第四节 高速钢	154	三、铝青铜(铝铜合金)	200
一、化学成分	154	第三节 轴承合金	202
二、锻造和热处理	155	一、锡基及铅基轴承合金(巴氏合金)	202
第五节 硬质合金	158	二、铜基轴承合金	203
第九章 特殊钢	160	三、铝基轴承合金	203
第一节 不锈钢	160	四、粉末冶金含油轴承	204
一、概述	160	附录	205
二、马氏体型不锈钢	161	附录一 硬度试验规范	205
三、铁素体型不锈钢	162	布氏硬度试验规范	205
四、奥氏体型不锈钢	163	洛氏硬度试验规范	205
五、不锈钢的腐蚀形式和预防方法	164	附录二	205
第二节 耐热钢	166	硬度对照表	205
一、金属材料在高温下工作的特点	166	附录三 钢的热处理工艺的代号与技术	
二、提高钢抗氧化能力和高温强度的途径	166	条件的表示方法(GC423-62)	207
三、常用的耐热钢和耐热合金	167	附录四 有色金属及合金产品状态	
第三节 高锰耐磨钢	169	及其代号(GB340-64)	208
一、成分、组织和热处理	170	附录五 美、日、德、苏钢号表示方法	208
二、性能与应用	171	附录六	213
		钢铁牌号国内外对照表	213

第一章 概 述

金属材料是国民经济各部门中使用最广泛的材料，用于制造各种金属结构、机器零件、工具及日常用品等，它在社会主义建设中起着重要的作用。

金属材料具有一系列特点，主要有：①优良的机械性能，即高的强度和韧性；②优良的物理性能，即导电性、导热性及磁性等；③优良的工艺性能，即铸造性、锻造性、焊接性、热处理性及切削加工性等。而这些性能的优劣则是取决于金属材料的成分和内部构造。“金属材料学”这门课程的主要内容便是讨论成分、内部构造、性能三者之间的关系及其变化规律；并在这个基础上，了解常用的金属材料及热处理方法，从而合理选用材料，正确制订工艺过程。所以，金属材料学是机械类各专业的技术基础课。

金属材料性能的优劣是用性能指标来表示，本章将简要介绍常用的机械性能指标，同时简单介绍钢铁材料的生产过程及钢号。

第一节 钢铁生产过程

钢和生铁是铁碳合金，含碳量小于 2% 的是钢，大于 2% 的是生铁。此外还含有少量硅、锰、磷、硫等杂质。生铁大部分用来炼钢，小部分供铸造用。生铁的铸造性好，但不能轧制和锻造，焊接也比较困难。经过熔炼，使生铁的含碳量及有害杂质含量降低，就得到钢。钢也能铸造，制成铸件。但是，钢的大部分是通过压力加工制成各种轧材或锻件，

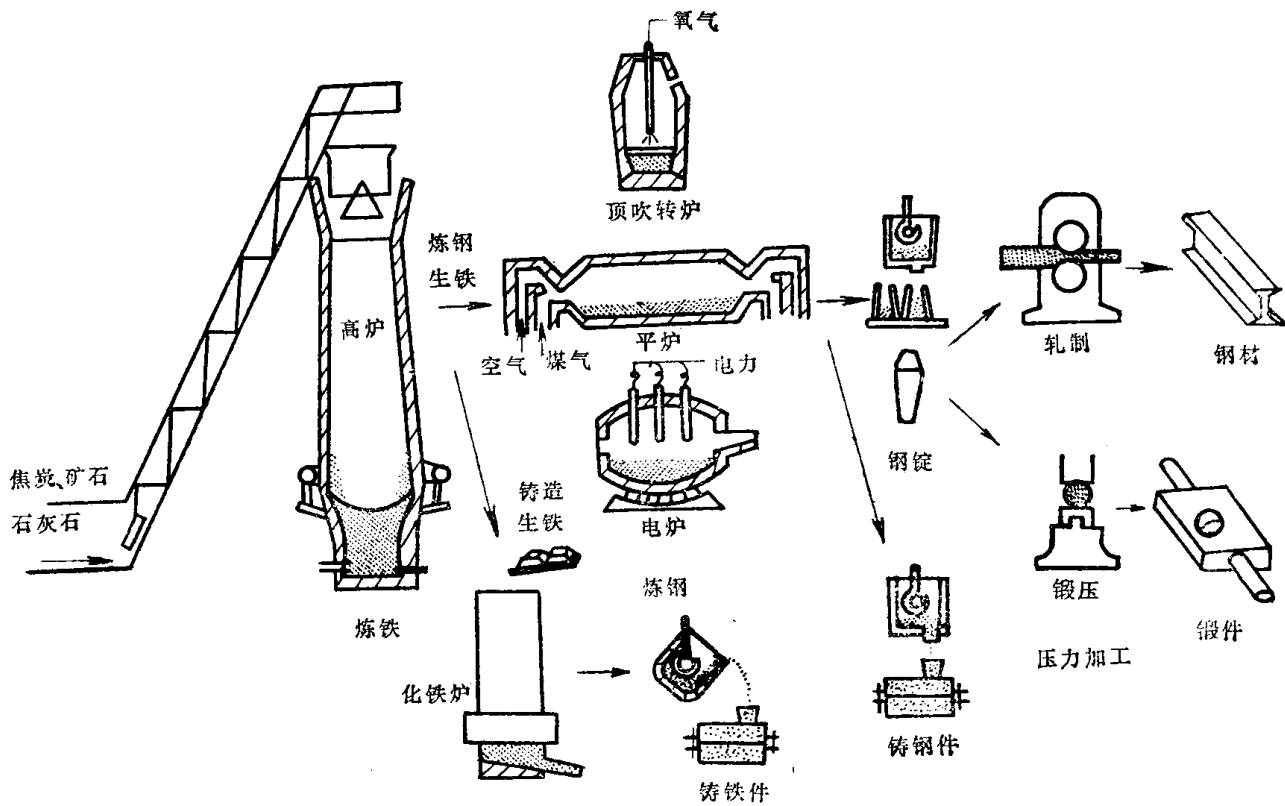


图1-1 钢铁生产过程示意图

广泛地用于国民经济的各部门。

钢铁生产包括从铁矿石炼成生铁，再由生铁炼成钢，并经压力加工制成钢材等一系列过程。图 1-1 为钢铁生产过程示意图。

一、高 炉 炼 铁

从地下开采出来的铁矿石（其中除铁的氧化物外还混有大量的脉石），经过选矿处理，送往高炉，炼成生铁。

炼铁的过程简述如下：把经过处理的铁矿石与焦炭、石灰石等按一定的比例配成一批一批的炉料，由卷扬机提升到炉顶倒入大、小料斗，再由料斗装入高炉。炉料在高炉内构成的料柱，由于下部焦炭不断燃烧，矿石、熔剂不断熔化而连续下降，炉料须不断装入，使料柱保持规定的高度。另一方面，被热风炉预热到 $900\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 的热风，由风口吹入高炉下部，使焦炭燃烧生成煤气。炽热的煤气在上升过程中把热量传给炉料，同时与炉料发生化学反应，煤气自身则逐步冷却到 $200\sim 400^{\circ}\text{C}$ 后从炉顶排出。炉料则在下降过程中被煤气加热，随着温度的升高，铁矿石在高炉中冶炼完成了三个基本作用：还原作用——利用 CO 和碳，把氧化铁中的氧分离出来，使铁还原；造渣作用——炉料中的石灰石与矿石中的杂质化合形成易熔的炉渣；渗碳作用——还原后的铁吸收焦炭中的碳，变成熔点低而含碳高的生铁。生成的铁水与炉渣积蓄在炉缸里（炉渣轻而浮于铁水上面），当达到一定数量时从出铁口及出渣口排出炉外。

由于在高炉下面还原出来的硅、锰、硫、磷等杂质也溶解在铁水中，因而生铁的成分比较复杂，其成分见表 1-1。高炉生铁主要用来炼钢，叫炼钢生铁；小部分供铸造用，叫铸造生铁。

表1-1 高炉生铁的化学成分

用途 \ 成分	C	Si	Mn	P	S
炼钢生铁	≈ 3.5	$0.6\sim 1.75$	$\leq 0.5\sim 1.5$	$\leq 0.07\sim 1.6$	$0.03\sim 0.07$
铸造生铁	≈ 3.5	$1.25\sim 3.75$	$\leq 0.5\sim 1.3$	$\leq 0.1\sim 1.0$	$0.03\sim 0.06$

二、炼 钢

炼钢的主要任务就是根据所炼钢种的要求把高炉生铁中的含碳量降低到规定范围，并使其它元素减少或增加到规定的范围。炼钢过程是在 1700°C 左右的高温下使炉料熔化成液态下进行的。不管在什么炼钢炉中，基本原理都是一样的，炼钢过程主要是氧化过程，是用不同来源的氧（如空气中的氧，纯氧气，铁矿石中的氧）来氧化铁水中的碳、锰、硅等元素。所生成的氧化物相互作用成为炉渣浮在钢水面上。

生铁中的硫(S)和磷(P)这两种元素在一般情况下对钢是有害的，在炼钢过程中必须尽可能除去。在炼钢中加入碱性熔剂如石灰(CaO)就可以使磷、硫变成磷酸钙($4\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5$)和硫化钙(CaS)成为炉渣排出。

在使碳等元素氧化到规定范围后，钢水中仍含有大量的氧，氧主要呈氧化铁夹杂存在，是有害的杂质，使钢的塑性变坏，轧钢时易产生裂纹。因此，炼钢的最后阶段必须加入脱

氧剂（例如锰铁、硅铁和铝等），使钢液中多余的氧去掉，同时调整好钢液的成分和温度，在达到要求后即可出钢，并把钢水铸成钢锭。

目前工业上应用的炼钢方法主要有转炉法、平炉法及电炉法。

转炉炼钢 转炉炼钢有数种方法，其中氧气顶吹转炉炼钢法效率高，质量较好，成本低投资少，建设快，因此近年来发展很快。氧气顶吹转炉是一个内砌碱性耐火砖（常用白云石砖）的大型钢罐，并能在支架上转动，以便于装料及出钢。转炉容量目前最小为3吨，最大可达200吨。高炉铁水可以直接加入转炉中，同时加入石灰（ CaO ）和萤石（ CaF_2 ）以便造渣去除硫、磷等杂质。纯氧从顶部以 $7\sim 12$ 公斤/厘米²的压力吹入，氧气把铁水中的碳、锰、硅、磷迅速氧化，同时放出大量的热量，使炉温升高，此时炉口冒出火焰和浓烟。吹氧到一定时间，待钢液成分合格后即可出钢，将钢液倒入盛钢桶并进行脱氧。脱氧完成后便可铸成钢锭。整个炼钢过程约需半小时左右，所以转炉的生产率很高。转炉一般冶炼低碳沸腾钢和普通碳素钢，也可冶炼一些优质钢。

平炉炼钢 平炉是用耐火材料砌成的一个大型盛钢池，靠煤气加热，主要用来冶炼各种优质碳钢和低合金钢。我国平炉容量目前为70~600吨。冶炼一炉钢约需7~12小时，因而生产率较转炉法低（三座500吨平炉的生产能力约与三座30吨氧气顶吹转炉的生产能力相当）。平炉炉料通常为废钢、高炉铁水及铁矿石、石灰等。冶炼过程通常为三个时期：熔化期、精炼期、脱氧和出钢期。熔化期是将炉内冷料熔化，约需总冶炼时间的一半。在熔化期硅和锰基本被氧化去除，此时磷也绝大部分被氧化去除；而硫和碳则氧化去除较少。精炼期主要是降碳和去硫，并进一步去磷。降碳主要是靠氧化，而去硫则主要是靠石灰造渣。在精炼完毕，钢液成分达到要求后，于出钢前还要进行脱氧。

电炉炼钢 利用电弧热量炼钢，既可以精确控制炉温，又由于没有燃料燃烧废气，所以精炼和去气的质量较好。因此电炉多用来冶炼高级优质钢和各种合金钢。冶炼过程也为三个时期即熔化期、氧化精炼期、脱氧和出钢。基本过程和平炉冶炼相似。

三、钢的轧制

浇铸成的钢锭大部分要经过热压力加工，使钢成材方能使用。

轧钢就是把钢锭（或坯）送入两个反向旋转的轧辊中碾压。见图1-2。由钢锭轧制成材，中间要经过多道轧制，钢锭首先轧成适合各种规格的半成品（方坯，扁坯，板坯）叫做初轧，然后再送去轧成钢材，通过采用不同孔型的轧辊，可得到我们所需的各种形状的钢材。

轧制分为热轧与冷轧两种。钢的热轧一般要加热到 $1150\sim 1300^\circ\text{C}$ ，钢在高温下硬度低而塑性好，所以热轧省力，每道轧制可以有较大的压下量，但钢在高温下易氧化，产生较厚的氧化皮，使轧材表面粗糙，尺寸波动大。冷轧是在常温下进行的，它以热轧得到的半成品作为坯料，经过冷轧可以得到表面光洁、尺寸精确、机械性能好的成品，如冷轧钢板、冷轧型钢等。

钢材品种很多，一般可分为钢板，钢管，型钢，钢丝四大类。

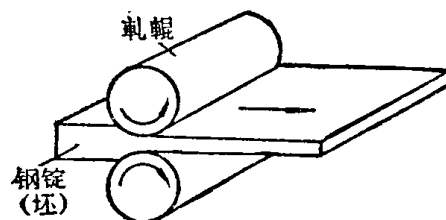


图1-2 轧制示意图

钢板厚度在 4 毫米以下的叫薄板, 4~25 毫米称中板, 25 毫米以上则为厚板。钢板用途很广。例如船舶、坦克、蒸汽锅炉等都需要用中厚板来制造。汽车、电机、罐头等需要大量的薄板。

钢管的形状一般是圆的, 但也有扁、方、六角及其它异型断面的。

型钢的品种很多, 各种型钢的断面示意图见图 1-3。型钢在建筑、桥梁、机械制造、交通运输等部门得到广泛应用。

钢丝的型状也有圆的、扁的、三角的等, 常用的有弹簧钢丝, 通讯钢丝, 预应力钢丝等。

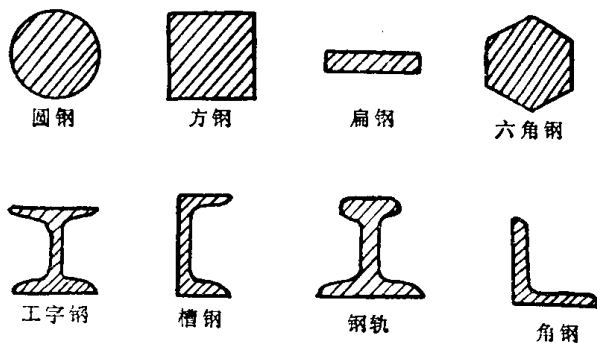


图1-3 各种型钢的断面示意图

四、钢的分类及编号

钢的品种很多, 为便于生产管理需将钢分类及编号。

(一) 钢的分类

钢的分类方法很多, 常用的有

1. 按化学成分分:

碳钢 { 低碳钢—— $<0.25\% C$;
 中碳钢—— $0.3\sim0.55\% C$;
 高碳钢—— $>0.6\% C$;

低合金钢 (一般合金元素总含量 $<5\%$)

中合金钢 (合金元素总含量 $5\sim10\%$)

高合金钢 (合金元素总含量 $>10\%$)

2. 按质量分:

普通钢 $P \leq 0.045\%$; $S \leq 0.55\%$

优质钢 $P \leq 0.035\% \sim 0.04\%$; $S \leq 0.03 \sim 0.04\%$

高级优质钢 $P \leq 0.03 \sim 0.035\%$; $S \leq 0.02 \sim 0.03\%$

3. 按用途分

结构钢 分为建造用结构钢 (用于建造锅炉, 船舶, 桥梁, 厂房及其它建筑物等) 和机械制造用结构钢 (制造各种机械零件)。对这类钢, 主要要求是具有较好的强度及塑性、韧性。结构钢一般为含低、中碳量的碳素钢及合金钢。

工具钢 用于制造各种工具, 如切削刀具、量具、冷、热变形模具等。工具钢多数是高碳钢, 质量上都是优质钢或高级优质钢。

特殊钢 具有某种特殊物理或化学性能的钢, 如不锈钢, 耐热钢等。

(二) 钢的编号

1. 普通碳素结构钢

按供应条件的不同, 这类钢又分为甲类钢 (按机械性能供应)、乙类钢 (按化学成分供应) 和特类钢 (按机械性能及化学成分供应)。其编号方法是以汉字“甲”、“乙”、“特”

代表钢的类型（常用代号为A、B、C），后面标着数字（1、2、3、4、5、6、7）代表强度的高低（对甲类钢而言）或含碳量的多少（对乙类钢而言）。在普通碳素钢的编号中，数字越大，其含碳量和强度越高，而塑性越低，代表钢材塑性的指标除伸长率 δ 及断面收缩率 ψ 外，还采用工艺试验法。最常用的工艺试验法是将一定厚度（ a ）的钢板作180°冷弯试验，其外缘仍不发生裂纹时的板厚与弯心直径（ d ）的关系作为该钢在冷态工艺加工时塑性好坏的标准。表1-2与表1-3列出了普通碳素钢的机械性能和化学成分。

有些钢（主要是低碳钢）在编号后面还加上汉字“沸”（或字母“F”），表示为沸腾钢。这种钢在冶炼后期只加锰铁及少量硅铁（弱脱氧剂）进行不完全脱氧，而不采用强脱氧剂（Mn+Si+Al）脱氧，在浇注过程中，钢液中的FeO和碳起作用，放出CO气体，因此在钢锭模内产生沸腾现象，故称为沸腾钢。钢锭凝固后有蜂窝状气泡分布在钢锭中，经加热轧制后，这种气泡空腔会粘合起来。沸腾钢的特点是钢的收得率高（因没有缩孔），成本低，表面质量好和深冲性能好。缺点是成分不太均匀，机械性能较差。

凡钢号后面未标注“F”的钢材都是“镇静钢”。所谓镇静钢是在钢水用锰铁，硅铁及

表1-2 普通碳素钢的机械性能(GB700-65)

碱性平炉钢号				屈服点 σ 公斤/毫米 ² (不小于)			抗拉强度	伸长率%		180度冷弯试验
甲类钢		特类钢		按尺寸分组*			σ_b	(不小于)		$d = \text{弯心直径}$
牌号	代号	牌号	代号	第一组	第二组	第三组	公斤/毫米 ²	δ_5	δ_{10}	$a = \text{试样厚度}$
甲1 甲1沸	A1 A1F	—	—	—	—	—	32~40	33	28	$d = 0$
甲2 甲2沸	A2 A2F	特2 特2沸	C2 C2F	22	20	19	34~42	31	26	$d = 0$
甲3	A3	特3	C3	24	23	22	38~40 41~43 44~47	27 26 25	23 22 21	$d = 1.5a$
甲3沸	A3F	特3沸	C3F	24	22	21	38~40 41~43 44~47	27 26 25	23 22 21	$d = 1.5a$
甲4 甲4沸	A4 A4F	特4 特4沸	C4 C4F	26	25	24	42~44 45~48 49~52	25 24 23	21 20 19	$d = 2a$
甲5	A5	特5	C5	28	27	26	50~53 54~57 58~62	21 20 19	17 16 15	$d = 3a$
甲6	A6	—	—	31	30	30	60~63 64~67 68~72	16 15 14	13 12 11	—
甲7	A7	—	—	—	—	—	70~74 ≥75	11 10	9 8	—

* 屈服点按钢材尺寸分组，第一、二、三组钢材尺寸按表1-3划分：

表1-3 按钢材尺寸的分组

组别	钢材尺寸 (毫米)		
	棒钢直径或厚度	型钢和异型钢厚度	钢板厚度
第一组	≤40	≤15	4~20
第二组	>40~100	>15~20	>20~40
第三组	>100~250	>20	>40~60

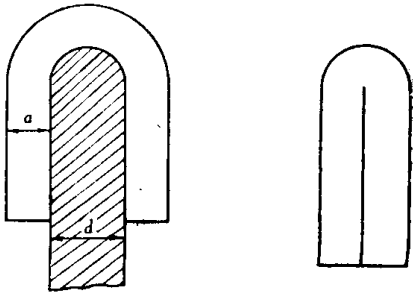


表1-4 普通碳素钢的化学成分

炉 种	钢 号				化 学 成 分 %				
	乙 类 钢		特 类 钢		碳	硅	锰	磷	硫
	牌号	代号	牌号	代号				不 大 于	
碱 性 平 炉 钢	乙 1 乙 1 沸	B 1 B 1 F	—	—	0.06~0.12	0.12~0.30 ≤0.05	0.25~0.50	0.045	0.055
	乙 2 乙 2 沸	B 2 B 2 F	特 2 特 2 沸	C 2 C 2 F	0.09~0.15	0.12~0.30 ≤0.07	0.25~0.50		
	乙 3 乙 3 沸	B 3 B 3 F	特 3 特 3 沸	C 3 C 3 F	0.14~0.22	0.12~0.30 ≤0.07	0.40~0.65 0.30~0.60		
	乙 4 乙 4 沸	B 4 B 4 F	特 4 特 4 沸	C 4 C 4 F	0.18~0.27	0.12~0.30 ≤0.07	0.40~0.70		
	乙 5	B 5	特 5	C 5	0.28~0.37	0.15~0.35	0.50~0.80		
	乙 6	B 6	—	—	0.38~0.49				
	乙 7	B 7	—	—	0.50~0.62				

铝完全脱氧后浇铸成钢锭。这种钢的成分比较均匀，机械性能较优。但这类钢锭的收得率较沸腾钢为低。

普通碳素钢一般都在供应状态（即轧制状态）下使用，不再进行热处理，但含碳量较高的 A 6， A 7 钢也可以通过热处理进一步提高其性能。

由于特类钢保证了机械性能和化学成分，除了制造比较重要的结构以外，它可以部分代替优质碳素钢使用。其中 C 2 钢相当于 10 钢或 15 钢； C 3 钢相当于 15 钢或 20 钢； C 4 钢相当于 25 钢或 30 钢； C 5 钢相当于 35 钢或 40 钢。

2. 优质碳素结构钢

这类钢的硫、磷含量均限制在 0.040% 以下。它的编号是采用两位数字，这两位数字表示钢中平均含碳量的万分之几。例如含碳为 0.45%（万分之四十五）左右的优质碳素结构钢称为 45 钢；含碳 0.08% 左右则称为 08 钢；含碳 0.60% 左右称 60 钢等。若钢中含锰较高则在钢号后面附以“锰”字（或 Mn），如 15 锰（15Mn），45 锰（45Mn）等。

优质碳素结构钢主要用作各种机器零件，这些零件在制造过程中一般都要经过热处理以保证它的精度和改善其性能。

优质碳素结构钢的化学成分和经热处理（正火、调质）后的机械性能列于表 1-5。

3. 碳素工具钢

这类钢的含碳量较高，介于 0.65~1.35% 之间。它的硫、磷含量限制得更严格些。一般的碳素工具钢是属于优质钢，它的硫、磷含量分别限制在 0.030% 和 0.035% 以下。如果将硫、磷含量分别限制在 0.020% 和 0.030% 以下则为高级优质的碳素工具钢。

碳素工具钢的编号是以“碳”字或字母“T”开头(以代表碳素工具钢)，在后面标以数字表示含碳量的千分之几。例如 T 7 就是表示平均含碳量为 0.7% 的碳素工具钢； T 13 表示平均含碳量为 1.3% 的碳素工具钢等。若为高级优质的碳素工具钢，则在编号后加“高”字或字母“A”，如 T 7 A、 T 13 A 等。

4. 合金结构钢

表1-5 优质碳素结构钢的化学成分及机械性能(GB699-65)

钢 号	化 学 成 分 %					机 械 性 能				
	碳	硅	锰	磷	硫	屈服点 σ_s	抗拉强度 σ_b	伸长率 δ_5	收缩率 ψ	冲击值 α_k
				不 大 于	不 大 于	公斤/毫米 ²	%	%	%	公斤·米 厘米 ²
05F	≤0.06	≤0.03	≤0.40	0.035		—	—	—	—	—
08F	0.05~0.11	≤0.03	0.25~0.56	0.040		18	30	35	60	—
08	0.05~0.12	0.17~0.37	0.35~0.65	0.035		20	33	33	60	—
10F	0.07~0.14	≤0.07	0.25~0.50	0.040		19	32	33	55	—
10	0.07~0.14	0.17~0.37	0.35~0.65	0.035		21	34	31	55	—
15F	0.12~0.19	≤0.07	0.25~0.50			21	36	29	55	—
15	0.12~0.19	0.17~0.37	0.35~0.65			23	38	27	55	—
20F	0.17~0.24	≤0.07	0.25~0.50			23	39	27	55	—
20	0.17~0.24		0.35~0.65			25	42	25	55	—
25	0.22~0.30					28	46	23	50	9
30	0.27~0.35					30	50	21	50	8
35	0.32~0.40			0.040	0.040	32	54	20	45	7
40	0.37~0.45					34	58	19	45	6
45	0.42~0.50					36	61	16	40	5
50	0.47~0.55					38	64	14	40	4
55	0.52~0.60	0.17~0.37	0.50~0.80			39	66	13	35	—
60	0.57~0.65					41	69	12	35	—
65	0.62~0.70					42	71	10	30	—
70	0.67~0.75					43	73	9	30	—
75	0.72~0.80					90	110	7	30	—
80	0.77~0.85					95	110	6	30	—
85	0.82~0.90					100	115	6	30	—
15Mn	0.12~0.19					25	42	26	55	—
20Mn	0.17~0.24					28	46	24	50	—
25Mn	0.22~0.30					30	50	22	50	9
30Mn	0.27~0.35					32	55	20	45	8
35Mn	0.32~0.40	0.17~0.37	0.70~1.00	0.040	0.040	34	57	18	45	7
40Mn	0.37~0.45					36	60	17	45	6
45Mn	0.42~0.50					38	63	15	40	5
50Mn	0.48~0.56					40	66	13	40	4
60Mn	0.57~0.65					42	71	11	35	—
65Mn	0.62~0.70					44	75	9	30	—
70Mn	0.67~0.75		0.90~1.20			46	80	8	30	—

这类钢的编号是利用“两位数字+元素符号+数字”来表示。前面两位数字表示钢中平均含碳量的万分之几。元素符号表示钢中所含的合金元素。元素符号后面的数字表示该元素的平均含量，其表示办法是：当合金元素平均含量小于1.50%时，一般只标明元素而不需标明含量；平均合金元素含量为1.50~2.49%时，标为2；为2.50~3.49%时，标为3；……；余类推。例如，12CrNi3的含碳量为0.10~0.17% C，含铬量为0.6~0.9% Cr（平均含量小于1.50%，故不标明含量数字），含镍量为2.75~3.25% Ni（平均含镍量为3.00%，故用数字3标明含量）。又如20CrMnTi钢的含碳量为0.17~0.24% C，含铬量为1.00~1.30% Cr，含锰量为0.80~1.10% Mn，含钛量为0.06~0.12% Ti。由于其合金元素铬、锰、钛的平均含量均小于1.50%，故只标出元素符号，不标明含量数字。

合金结构钢按质量也分为优质钢（ $P < 0.04\%$ ， $S < 0.04\%$ ）和高级优质钢（ $P < 0.035\%$ ， $S < 0.030\%$ ）。高级优质钢的钢号末尾加“A”，例如18Cr2Ni4WA即为一种高级优质钢。

5. 合金工具钢

这类钢的编号方法与合金结构钢相似，但含碳量的表示方法则不同。当合金工具钢的平均含碳量大于或等于1.00%时，其含碳量不予标出；含碳量小于1.00%时，以千分之几表示。例如，Cr钢的含碳量为0.95~1.10% C（平均含碳量大于1.00%，故碳含量不予标出），含铬量为0.75~1.05% Cr（平均含铬量小于1.50%，故不标明铬含量，而只标明元素符号）。又如9Mn2V钢的含碳量为0.85~0.95% C（平均含碳量为0.90%，故标明为9），含锰量为1.70~2.00% Mn，含钒量为0.10~0.25% V。

特殊类型的钢号，将在以后有关章节中分别介绍。

第二节 金属的机械性能

金属的机械性能是指金属材料在外力作用下表现出来的特性如弹性、强度、硬度、韧性和塑性等。也有人把它叫做“力学性能”。机械性能是评定钢材质量的重要指标。

零件受力情况有静载荷、动载荷和交变载荷等。用以衡量在静载荷下的机械性能指标有强度、硬度和塑性等；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极限等。

一、钢的强度与塑性

钢的强度与塑性一般都是通过静拉伸试验测定，拉伸试验是工业上最广泛采用的机械性能试验方法之一。为了统一试验条件以便于比较试验结果，拉伸试样必须符合国家规定。图1-4为拉伸试样尺寸图。

拉伸试验是缓慢地在试样两端施加载荷，使试样承受轴向拉力，随着载荷的增加，试样不断的由弹性伸长过渡到塑性伸长，直至断裂。这样，我们可以得到如图1-5所示的外力—变形量关系曲线，这种曲线也就

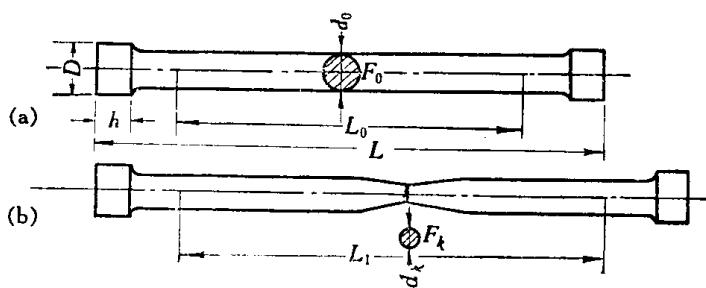


图1-4 拉伸试样

是拉伸曲线。图中纵座标是载荷 P ，单位为公斤，横座标是伸长量 ΔL ，单位是毫米。

显然，拉伸曲线上的载荷 P 与伸长量 ΔL ，不仅与试验的材料性能有关，还与试样的尺寸有关。因此为了消除试样尺寸因素的影响，使之能反映材料的机械性能，需将载荷值除以试样的截面积，即采用应力 σ 表示：

$$\sigma = \frac{P}{F_0} \text{ 公斤/毫米}^2$$

式中 σ —— 应力；

P —— 载荷；

F_0 —— 试样原来的截面积。

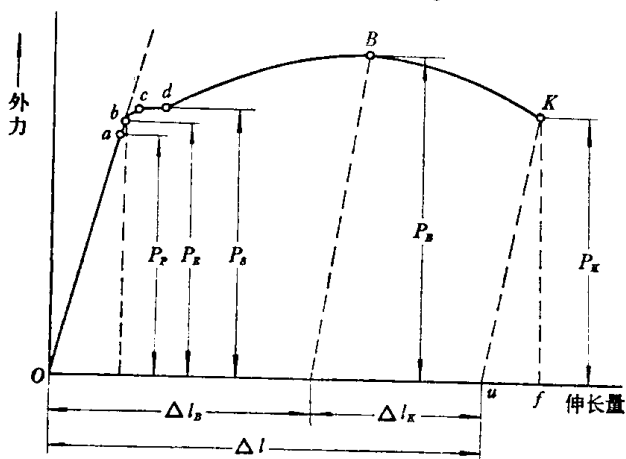


图1-5 拉伸曲线

变形伸长量则用相对伸长量，即采用应变 ε 表示：

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

式中 ε —— 应变；

ΔL —— 变形量；

L_0 —— 试样计算长度。

这样，将 σ 作纵座标， ε 作横座标， σ - ε 关系曲线就称为应力-应变曲线，如图1-6所示。它与拉伸曲线形状相似，但数值不同。

(一) 弹性极限与弹性模量

根据应力应变图可知，当作用在试样上的应力未超过弹性极限 σ_e 时，在外力作用下试样产生变形，而在除去外力后又可以恢复原来形状，这种除去外力后又可以恢复原来形状的性能叫做弹性。随着外力消失而消失的变形，叫做弹性变形。当应力增加到超过 σ_e 时，则除去外力后，试样就不能完全恢复原状，产生了永久变形。因此，材料在弹性状态下所能承受的这一最大应力（如图1-6的 a 点），即试样不产生永久变形的最大应力 σ_e ，叫做弹性极限。

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} \text{ 公斤/毫米}^2$$

弹性模量 试样在弹性状态下的应力 σ 与应变 ε 成正比，其比值称为材料的弹性模量，用 E 表示。

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ 公斤/厘米}^2$$

显然

$$E = \operatorname{tg} \alpha,$$

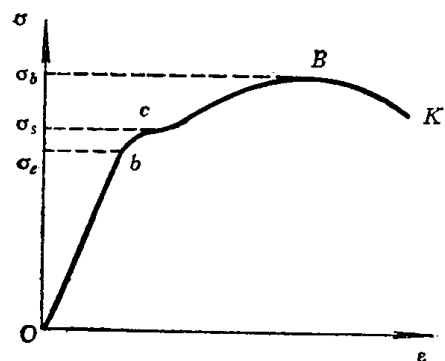


图1-6 应力-应变曲线

即 E 表示直线 oa 的斜率, E 值越大, 材料抵抗弹性变形的能力便越大。

弹性模量 E 主要决定于材料的本性、而加工过程等工艺因素和微量合金化等对它的影响很小。钢在室温下的 E 约为 $(1.9 \sim 2.2) \times 10^6$ 公斤/厘米²; 铸铁约为 $(1.15 \sim 1.6) \times 10^6$ 公斤/厘米²; 铜和铜合金 (青铜和黄铜等) 约为 1.0×10^6 公斤/厘米², 而铝和铝合金为 0.71×10^6 公斤/厘米²。 E 值随着温度的升高而逐渐降低。

$$\text{由上式} \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{P/F_0}{\Delta L/L_0}$$

$$\text{所以} \quad E = \frac{PL}{\Delta L F_0}$$

$$\Delta L = \frac{PL}{EF_0}$$

此式表明, 当应力不超过弹性极限 σ_s 时, 杆件的伸长变形 ΔL 与所受外力 P 和杆长成正比, 而与弹性模量 E 和截面积 F_0 成反比。 EF_0 值越大, 杆件变形就越小, 它标志着实际的杆件抵抗拉伸载荷作用下弹性变形的能力, 称为此杆件的抗拉刚度。由于钢铁的弹性模量 E 高, 因而象必须用钢铁材料制造的镗床镗杆等, 要有足够的尺寸, 以保证受力时变形量最小, 从而提高加工精度。

(二) 屈服点和抗拉强度

当应力增加到 σ_s 时, 便出现自弹性状态转向塑性状态的过渡阶段如图 1-6 c 点所示, 这时应力没有变化或变化很小时, 材料仍能产生塑性变形, 这种现象叫“屈服”。开始发生屈服现象时的应力叫做“屈服点”, 用 σ_s 来表示。

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \text{ 公斤/毫米}^2$$

式中 P_s ——试样的屈服载荷 (公斤)。

但是, 只有少数强度较低的金属材料才有明显的屈服点, 如退火的低碳钢; 对没有明显屈服点的金属材料, 如调质钢、高强度钢和工具钢及铸铁等, 通常用 $\sigma_{0.2}$ 来表示, 称为“条件屈服极限”或“屈服强度”(塑性变形量为 0.2% 时的应力)。

抗拉强度 (强度极限) 当应力超过屈服点, 外力继续增加时, 试样就不断伸长, 一直到试样产生明显的局部变形 (即“颈缩”) 时应力达到最大值 (如图 1-6 B 点所示), 过此以后, 试样截面积急剧缩小, 直至试样断裂。所以抗拉强度是指试样承受拉力载荷时, 在断裂前的最大应力。通常用 σ_b 表示。

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \text{ 公斤/毫米}^2$$

式中 P_b ——试样在断裂前的最大拉力载荷 (公斤), 即图 1-5 中之 P_B 。

应该指出: 屈服强度是材料抵抗小量塑性变形的抗力指标; 而抗拉强度则是材料抵抗大量均匀塑性变形的抗力指标。

在工程上希望金属材料不仅具有高的 σ_s , 并且具有一定的屈强比 (σ_s/σ_b)。屈强比愈小, 结构零件的可靠性愈高, 万一超载, 也能由于塑性变形使金属的强度提高而不致立刻破断。但如果此值太低, 则材料强度的有效利用率太低。因此, 一般希望屈强比高一些。屈强比对不同零件有不同要求。例如: 碳素结构钢一般为 0.6 左右, 普通低合金钢一般为 0.65~0.75, 合金结构钢一般为 0.85 左右。

(三) 塑性

金属材料在外力作用下,产生永久变形(即塑性变形)的性能叫塑性。金属塑性的大小用伸长率和断面收缩率来表示。其数值越大表明材料的塑性越好。

伸长率 在拉伸试验时随着外力增加到了K点,试样即行断裂。试样断裂后的伸长长度与原来长度之比,叫做伸长率,通常用 δ 表示

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

式中 L_0 ——试样拉伸前的长度;

L ——试样受拉伸断裂后的长度(毫米)。

伸长率的数值和试样尺寸有关,因而试验时要对试样尺寸作标准规定,以便各试验结果间的比较。 $L_0=10d_0$ 时,用 δ_{10} 或 δ 表示, $L_0=5d_0$ 时用 δ_5 表示(d_0 为试样原截面直径)。

断面收缩率 试样断裂后的断口面积收缩量与原来截面积之比,叫做断面收缩率(简称面缩率),通常用 ψ 表示。

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

式中 F_0 ——试样原来截面积(毫米²);

F_K ——试样断裂后的截面积(毫米²);

断面收缩率与试样尺寸无关,它能较可靠地代表金属材料的塑性。

二、硬 度

金属抵抗其它更硬物体压入其表面的能力称为硬度。根据试验方法的不同,所得的硬度值也不一样。常用的有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等。

(一) 布氏硬度(HB) 将拟作试验的钢材取试样,表面磨平,然后置于布氏硬度机上,用一定直径 D (例如10毫米)的硬钢球,在规定的压力下(例如3000公斤)压入所要试验的试样内(图1-7),停留一定时间(例如10秒),将载荷卸除,此时在试样表面便留下一直径为 d 的球面压痕。布氏硬度值(HB)以单位压痕面积上平均压力表示,即

$$HB = \frac{P}{\text{压痕面积}} = \frac{P}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ 公斤/毫米}^2$$

式中 D ——钢球直径(毫米);

d ——压痕直径(毫米)。

钢材越软,其压痕面积越大,布氏硬度值就越低;反之则布氏硬度值越高。

一般碳钢或低合金钢在退火或正火状态下常采用布氏法测定其硬度。

当钢材较硬时($HB > 450$)就不能用布氏硬度法去测定它的硬度,因为作为压印头的

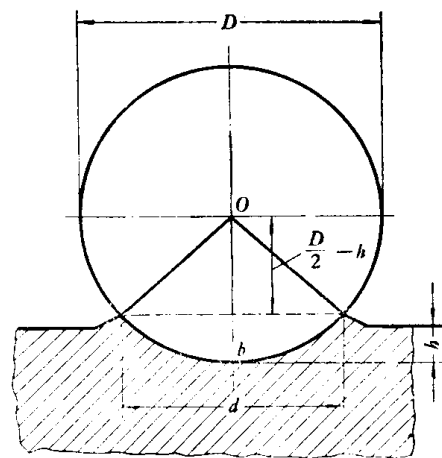


图1-7 布氏硬度试验原理示意图