

高等专科学校试用教材

机械制造基础

上册

盛善权主编

机械工业出版社

GAOZHUANJIAOCAI

高等专科学校试用教材

机械制造基础

上册

盛善权 主编



机械工业出版社

前 言

本书是高等专科学校机械类专业的试用教材，是根据机械工业部教育局初步审定的招收高中毕业生，学制为三年的教学大纲组织编写的。

本书也适用于职工大学、业余大学。中等专业学校也可选用，并可供有关工程技术人员参考。

全书分上、下两册。上册是热加工部分，包括金属材料与热处理常识、铸造、锻压和焊接等四篇。下册是冷加工部分，包括冷加工基础知识、车工、铣工、刨工、磨工和钳工等六篇。这是一本为学生教学实习和生产劳动所需用的教材。全书内容广泛，理论联系实际，归纳了各工种的操作要领，能指导学生掌握操作技术，使学生了解机械制造的概貌，为学习后继课程打下基础。

本教材与《金属材料 and 热处理》教材配套使用，也可作为高等专科学校及其他各类学校机械类专业开设《金属工艺学》课程时的教材。

本书车、铣、磨、钳四个工种的教学内容都是根据固定工种生产劳动的要求编写的。当在短期轮换的教学实习中使用时，应加以精简，挑选一部分内容讲解。

本书由盛善权同志主编，陈恩荣、胡廉、张忠赓、张学高、王镇祥等同志协编。由赵长珍同志主审，参加审稿会议的有黄孟域、陈长兴、杨修伟、李学勋、张洪臣、翁其金、王宝玉、刘长顺等同志。

本书是在1979年人民教育出版社出版的《机械制造基础》一书的基础上重编的。在编写过程中得到许多学校、工厂的大力支持和热情帮助，在此编者一并表示衷心的感谢。

限于编者水平，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评和指正。

一九八三年八月

目 录

第一篇 金属材料与热处理常识

第一章 钢铁的生产过程及其

机械性能测定 1

§ 1-1 钢铁生产过程 1

§ 1-2 金属材料的机械性能及其测定 6

复习思考题 17

第二章 常用金属材料 18

§ 2-1 碳素钢与合金钢 18

§ 2-2 铸铁 22

§ 2-3 钢铁火花鉴别 25

§ 2-4 有色金属 28

复习思考题 30

第三章 热处理常识 31

§ 3-1 热处理概念及基本类型 31

§ 3-2 热处理基本工艺的特点及应用 31

复习思考题 34

第二篇 铸 造

第四章 砂型制造 35

§ 4-1 造型材料 36

§ 4-2 模型和芯盒 39

§ 4-3 造型与造芯 42

复习思考题 53

第五章 熔炼、浇注和清理 55

§ 5-1 铸铁熔炼 55

§ 5-2 浇注系统 57

§ 5-3 铸件的落砂和清理 59

§ 5-4 钢和有色金属的铸造 62

复习思考题 64

第六章 铸件的结构工艺性 65

§ 6-1 铸件外形 65

§ 6-2 铸件内腔 67

§ 6-3 铸件壁厚和壁的连接 68

§ 6-4 机械加工对铸件结构的要求和

组合铸件的制造 70

复习思考题 72

第七章 特种铸造 73

§ 7-1 金属型铸造 73

§ 7-2 压力铸造 75

§ 7-3 离心铸造 77

§ 7-4 熔模（失蜡）铸造 78

§ 7-5 壳型铸造 80

§ 7-6 陶瓷型铸造、实模铸造和爆炸成型 82

复习思考题 82

第三篇 锻 压 加 工

第八章 金属的加热 83

§ 8-1 加热时可能产生的缺陷 83

§ 8-2 锻造温度范围的确定 84

§ 8-3 加热设备 85

复习思考题 87

第九章 自由锻造 88

§ 9-1 自由锻造的设备 88

§ 9-2 自由锻造的基本工序 91

§ 9-3 自由锻造工艺规程要点 94

§ 9-4 锻件的结构工艺性 98

复习思考题 99

第十章 模型锻造 101

§ 10-1 锤上模锻 101

§ 10-2 曲柄压力机上模锻 107

§ 10-3 螺旋摩擦压力机上模锻 108

§ 10-4 平锻机上模锻 109

§ 10-5 胎模锻造 109

复习思考题 111

第十一章 板料冲压 112

§ 11-1 冷冲压的基本工序 112

§ 11-2 冲床 115

§ 11-3 冲模 116

§ 11-4 冷冲压的特点和冲压件的结构
工艺性 117

§ 11-5 典型冲压工艺举例 120

复习思考题 121

第十二章 其它压力加工方法介绍 122

§ 12-1 轧制	122
§ 12-2 精密模锻	125
§ 12-3 挤压	127
§ 12-4 冷拔	129
复习思考题	130

第四篇 焊 接

第十三章 手工电弧焊	131
§ 13-1 电弧焊原理	132
§ 13-2 手工电弧焊机	133
§ 13-3 电焊条	134
§ 13-4 焊前的准备	135
§ 13-5 焊接规范的选择	136
§ 13-6 焊缝位置与其焊接特点	137
复习思考题	138
第十四章 气焊和气割	139
§ 14-1 气焊	139
§ 14-2 气割	141
§ 14-3 焊接的应力与变形和焊缝的缺陷与检验	143

复习思考题	144
第十五章 其他焊接方法	145
§ 15-1 埋弧焊	145
§ 15-2 气体保护电弧焊	145
§ 15-3 电渣焊	147
§ 15-4 接触焊(电阻焊)	147
§ 15-5 钎焊	148
§ 15-6 等离子弧切割与焊接	149
复习思考题	150
第十六章 常用金属的焊接	151
§ 16-1 金属的可焊性	151
§ 16-2 焊缝区和热影响区的性能	151
§ 16-3 钢的焊接	152
§ 16-4 铸铁的补焊	153
§ 16-5 铜及铜合金的焊接	154
§ 16-6 铝及铝合金的焊接	154
复习思考题	155
第十七章 焊件的结构工艺性	156
§ 17-1 焊接方法和焊接材料的选择	156
§ 17-2 焊缝的布置	157
复习思考题	158

第一篇 金属材料与热处理常识

第一章 钢铁的生产过程及其机械性能测定

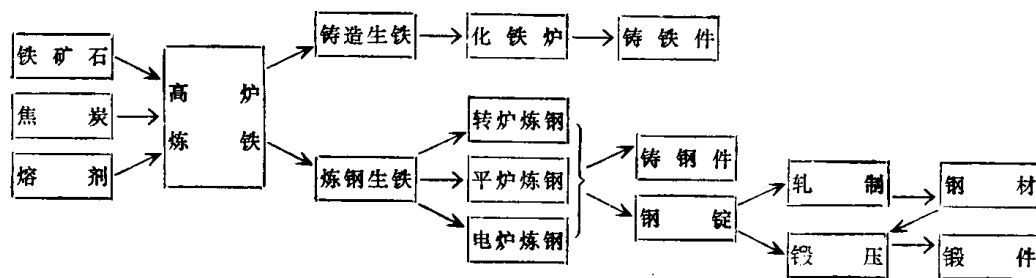
金属材料是国民经济各部门中使用最广泛的材料。用它可以制造各种金属结构、机器零件、工具及日常用品等，在我国社会主义四个现代化的建设中起着极其重要的作用。

金属材料之所以获得如此广泛的应用，因为它具有优良的机械性能（如：硬而耐磨、高的强度和韧性等）。此外，还具有某些特殊的物理性能（如：导电性、导热性、磁性等）、化学性能（如耐蚀性等）以及良好的工艺性能（如：铸造性、可锻性、焊接性、热处理性和切削加工性等）。

工程上在设计机械零件，选择材料时，通常是以机械性能作为主要的依据。故本章除简要介绍钢铁的生产过程外，重点讲解金属材料的机械性能及其测定方法。

§ 1-1 钢铁生产过程

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的一系列过程。钢铁生产过程示意如下：



一、炼铁

我国是掌握炼铁技术最早的国家之一。远在春秋战国时期，就开始炼铁，比欧洲早一千七百多年。十九世纪建成近代化的高炉以后，炼铁技术得到了进一步的发展。

炼铁的主要设备是高炉（图1-1）。高炉炼铁的原料主要有铁矿石、焦炭和熔剂（石灰石等）。

（一）炼铁实质

炼铁的实质就是将铁矿石中的氧化铁还原成铁。高炉内的焦炭及其燃烧后的一氧化碳都对氧化铁起还原作用。

但是自然界中存在的铁矿石并不单纯是氧化铁，它还含有杂质（脉石），其中常以二氧化硅为主要成份。二氧化硅是酸性氧化物，去除它的方法是使它在高温下与碱性氧化物（氧化钙，由加入的石灰石等在炉内受热分解而得）作用，生成易于熔化的中性炉渣。炉渣比铁水

轻，熔化后即浮在铁水表面而与铁水分离。

(二) 基本过程

炼铁的基本过程是把铁矿石、焦炭、熔剂等按一定的比例配制成一批一批的炉料，由卷扬机提升到炉顶加料口，倒入大、小料斗，装入高炉。在热风炉中经过预热的空气，由各风口吹入高炉底焦，使底部焦炭充分燃烧并产生高温。炽热的煤气在上升过程中不断把热量传送给炉料，使炉料逐渐被加热熔化而下降。炉料需不断补充加入，使炉内炉料保持一定的高度。炉料在下降过程中进一步与炽热的焦炭和煤气接触，在温度增高的同时，发生以下三个基本的化学反应：

1. 还原反应 碳和一氧化碳把氧化铁中的氧分离出来，使铁得到还原；

2. 造渣反应 铁矿石中的杂质与熔剂反应生成易熔的中性炉渣；

3. 增碳反应 还原后的铁水与炽热的焦炭接触，吸收一定的碳分，形成含碳量较高而熔点较低的生铁。

反应后得到的铁水与炉渣一起被积蓄在炉缸里，当达到足够数量时则分别由出铁口及出渣口排出炉外。

(三) 高炉生铁

经高炉熔炼获得的铁水，除了含有较多的碳量外，还有来自炉料的各种其它成分，如硅、锰、磷、硫等元素，所以生铁的性能很脆。这种高炉生铁80~90%用来炼钢，叫炼钢生铁；10~20%供铸造用，它是钢铁厂的商品铁，叫铸造生铁。它们的大致成分如表1-1所示。

表1-1 高炉生铁的化学成分

成分 用途	C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %
炼钢生铁	≈3.5	0.6~1.75	0.5~1.5	0.07~1.6	0.03~0.07
铸造生铁	≈3.5	1.25~3.75	0.5~1.3	0.1~1.0	0.03~0.06

二、炼钢

(一) 炼钢实质

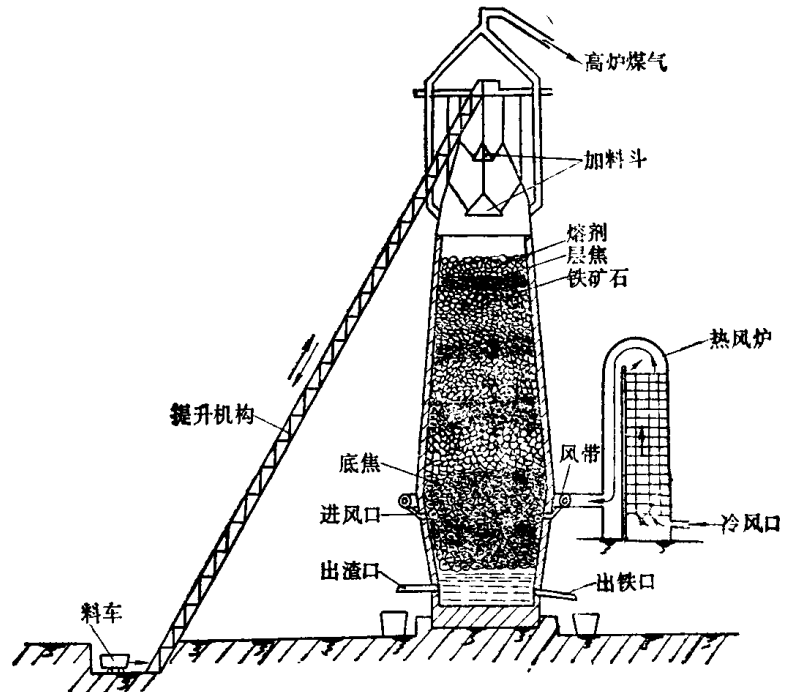


图1-1 高炉简图

炼钢的实质就是通过氧化反应将生铁中的碳、硅、锰、磷、硫等元素减少到规定的范围。

炼钢过程的氧化反应需在 $1500\sim 1700^{\circ}\text{C}$ 的高温下进行。供氧化反应所需要的氧可来自空气、纯氧、铁矿石或氧化铁皮。由于铁在铁液中的浓度高达百分之九十几，因此，进入铁液中的氧首先与铁反应生成氧化亚铁 (FeO)，然后氧化亚铁再与其它元素反应，使它们氧化（因为它们与氧的亲合力比铁大），而铁则被还原出来，这是主要的反应形式。在有些情况下也会发生直接的氧化反应，反应后的产物或排入炉气，或进入炉渣。经精炼后的优质碳素结构钢成分如表 1-2 所示。

表1-2 优质碳素结构钢的化学成分

C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %
0.05~0.75	0.17~0.37	0.35~0.8	≤ 0.04	≤ 0.04

(二) 炼钢方法

根据炼钢设备的不同，目前主要有转炉、平炉、电炉等几种炼钢方法。

1. 转炉炼钢 (图1-2)

转炉炼钢是利用氧气或空气中的氧吹入温度为 $1200\sim 1300^{\circ}\text{C}$ 的铁水中，使其中的碳、硅、锰、磷等元素迅速氧化，同时放出大量的热量来提高铁水温度的一种炼钢方法。目前主要有氧气顶吹、底吹或侧吹三种转炉炼钢法。按炉衬材料的性质不同，转炉又可分为酸性（炉衬的主要成分为二氧化硅）和碱性（炉衬的主要成分为白云石或镁砂）两种。前者在钢号中用符号S表示，后者在钢号中用符号J表示。我国主要采用碱性炉衬。用这种方法可生产出低碳沸腾钢、高碳钢和低合金钢等。

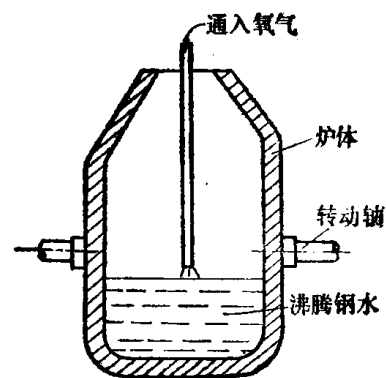


图1-2 氧气顶吹转炉炼钢示意图

2. 平炉炼钢 (图1-3)

平炉炼钢是靠外来热源（用煤气或重油作燃料），使炉料熔化和升温，通过炉气中的氧和加入铁矿石使铁水中的有关元素被氧化成熔渣而去除。平炉也有酸性和碱性两种，一般多用

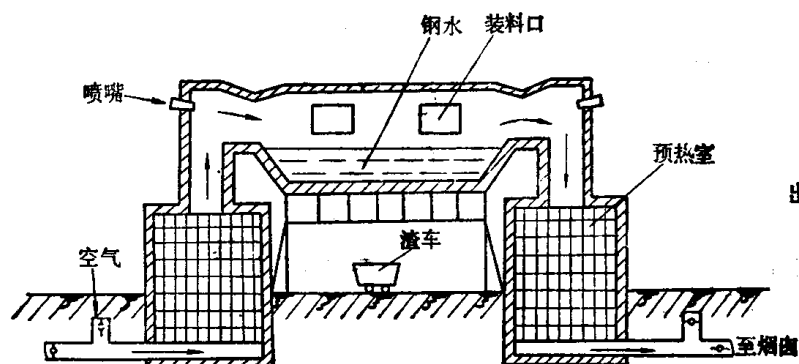


图1-3 平炉炼钢示意图

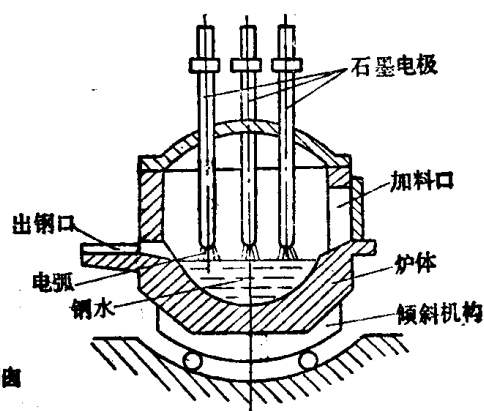


图1-4 电弧炉炼钢示意图

碱性平炉。碱性平炉炼钢可使用含磷量较高的生铁和大量废钢，整个熔炼过程比较容易控制，它能炼出多种多样的优质钢。

3. 电炉炼钢 (图1-4)

电炉炼钢是利用电能作热源的炼钢方法，最常用的有电弧炉和感应电炉两种。电弧炉炉盖上开有三只圆孔，供插入三根石墨电极用。通电后，电极与炉料之间产生电弧，造成很高的温度，使熔炼过程顺利进行。这种方法所用的原料主要是废钢。通过电炉炼钢能生产出各种合金钢，尤其是含有易氧化元素（钒、钛等）和难熔元素（钨、钼等）的合金钢。

上述三种炼钢方法，所获得的钢水都不可能绝对纯净。自五十年代开始，发展了钢液真空处理和向钢液吹入氩气进行精炼等新工艺，对提高钢材质量收到了较好的效果。此外，为满足一些质量要求更高的材料或特殊材料的需要，近几年还出现了不少新的冶炼方法。如电渣重熔法炼钢、真空电炉（真空感应炉、真空自耗炉等）熔炼或重熔法，可防止合金在熔炼时受大气的污染，这对高强度钢、轴承钢和高温合金等具有特殊的意义。电子轰击炉可用来熔炼某些特殊材料。

三、钢的铸锭 (简称钢锭)

(一) 铸锭方法

钢水除少数直接浇铸成铸件外，绝大部分是先铸成钢锭，然后再经过锻压成锻件或轧制成各种钢材使用。

铸锭的主要设备是盛钢桶和钢锭模。铸锭的方法主要有以下几种：

1. 上注法〔图 1-5 a〕〕 它是将钢水直接从钢锭模上口注入，一般每次只能浇注一个钢

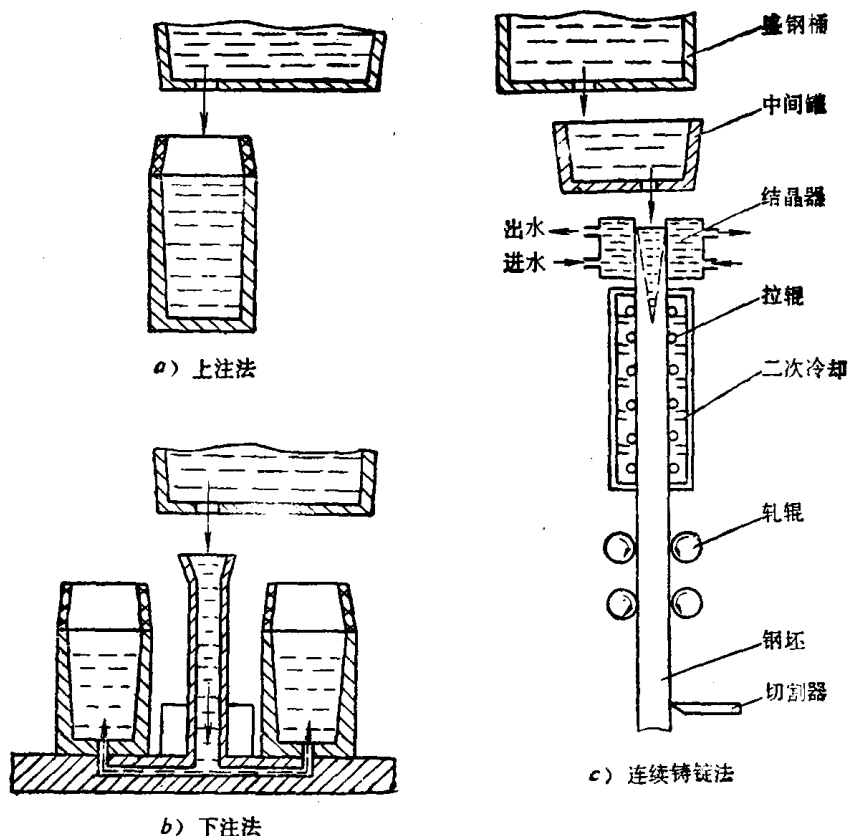


图1-5 铸锭方法

锭。此法铸锭前的准备工作和设备比较简单,但由于钢水冲击模底,钢水飞溅至冷模壁易形成结疤等缺陷,影响钢锭的表面质量。所以,这种方法只适宜于浇注大钢锭。

2. 下注法〔图1-5 b)〕 它是将钢水注入中心注管,从模底流入钢锭模中,一次可铸十几支钢锭。此法劳动条件较差,耐火材料消耗较大。但由于钢水在锭模内比较平稳地均匀上升,故钢锭表面质量好,而且产量较高。所以,一般工厂大多采用下注法。

3. 连续铸锭法〔图1-5 c)〕 它是将钢水通过中间罐连续地注入结晶器中,钢水的热量被流经结晶器器壁的冷却水迅速带走,形成具有一定厚度的坯壳。接着通过拉坯机将铸坯从结晶器中拉出,进入二次冷却区直接喷水快速冷却,使坯壳内的钢水全部凝固成钢坯,再经矫直后由切割机切成一定的长度,最后由输送轨道将其送到铸坯场地。这种方法成材率和机械化程度高,操作方便,值得推广。

(二) 钢锭组织

1. 微观(显微)组织 钢水在锭模中凝固成固态后,其内部原子(更确切地说是离子)形成了有规则地排列,构成为晶体。这个过程称为结晶。假如取结晶后的一小块纯铁(其它金属也一样),将其某一观察平面经过磨光和抛光,然后用特制的侵蚀剂稍加侵蚀,放在显微镜下放大观察,便会看到纯铁是由许多外形不规则的小颗粒所构成的。这些小颗粒称为晶粒,晶粒与晶粒之间的交界面称为晶界(图1-6)。晶粒的尺寸一般都很小,其平均直径约在 $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{mm}$ 。所以,需要用金相显微镜才能看清楚。由于晶粒大小(或称粗细)直接关系到金属材料性能的好坏,故在结晶过程中须采取有效的措施加以控制。在大多数情况下,以获得细晶粒组织为佳。具有细晶粒的金属材

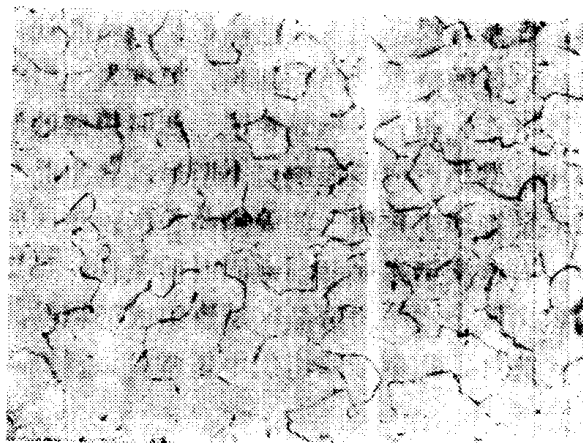


图1-6 纯铁显微组织

料,有着较高的强度和较好的塑性、韧性。

如果在纯金属的结晶过程中,记录下温度随时间而变化的数据,可以绘制出如图1-7 a)所示的冷却曲线。

在冷却曲线上水平线段所对应的温度就是该金属的结晶温度。由于液态金属结晶成固态时,需要放出一部分结晶潜热,这部分潜热正好补偿了向外界散发的热量,所以纯金属的结晶过程是在恒温下进行的(图中 T_0 温度)。但是在实际生产中,由于冷却速度较快,因此,结晶过程常常是在低于理论结晶温度下进行的〔见图中 b)〕,这种现象称为过冷现象。由此而造成的理论结晶温度与实际结晶温度之差($T_0 - T_1$)叫做过冷度。过冷度大小与结晶后形成的晶粒大小密切相关。一般地说,过冷度愈大(即实际冷却速度愈快),则结晶后所获得的晶粒就会愈细。

2. 宏观组织 将钢锭沿纵向或横向剖开,试面经磨光和侵蚀,用肉眼或低倍放大镜就可以看到如图1-8所示的内部组织。

(1) 表层细晶粒区 当高温钢水注入锭模时,由于模壁温度低,表层钢水受到激烈冷却,在较大的过冷度下结晶,因而形成了细晶粒区。该区的特点是晶粒细,厚度薄,组织致密和成分比较均匀。

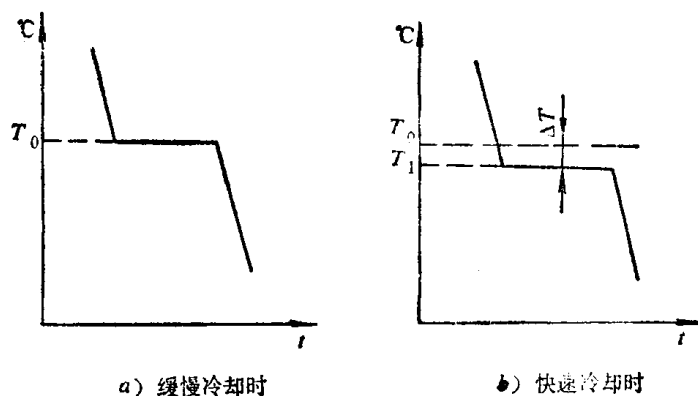


图1-7 纯金属的冷却曲线

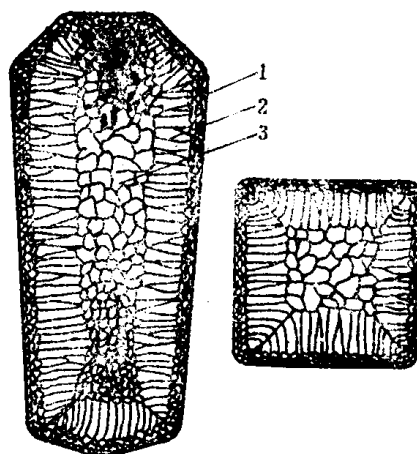


图1-8 钢锭组织示意图

1—表层细晶粒区 2—柱状晶粒区
3—粗大等轴晶粒区

(2) 柱状晶粒区 由于模壁温度升高，钢水向外界散热速度减慢，加上散热的方向性，在垂直模壁的方向散热最快，结晶就往锭模中心进行，因而形成了互相平行的柱状晶粒区。该区的特点是晶粒细长，厚度大，组织较致密。但相邻柱状晶粒的交界面比较脆弱。

(3) 粗大等轴晶粒区 此时模壁的散热更慢，剩下钢水的温度逐渐趋于一致，过冷度减小，散热方向的影响已不明显，各个晶粒便以相近的速度均匀地向各个方向生长，最后导致心部形成了较粗大的等轴晶粒区。该区的特点是晶粒粗大、组织较疏松、杂质较多。

若改变钢水成分与凝固时的条件，可以达到改变三个区域的大小和晶粒的粗细，甚至获得仅由两个或一个结晶区域所组成的钢锭。

此外，在钢锭的组织中还常可以看到缩孔、疏松、气泡及偏析等缺陷。

§ 1-2 金属材料的机械性能及其测定

任何机械零件或工具，在使用过程中都会受到各种形式外力的作用。如起重机上的钢索，受到悬吊物重力的作用；钢轨受到火车压力的作用；柴油机上的连杆，在其传递动力时，不仅受到拉、压力的作用，而且还要承受冲击力的作用；轴类零件往往要受到弯曲力、扭力的作用等等。这就要求金属材料必须具有一种能够抵抗外力作用而不被破坏的能力，或不超过允许变形量的能力，这种能力就称作机械性能。它也可看作是金属材料的一种力学性能。

根据零件或工具的受力（又称载荷）情况，有静载荷、动载荷和交变载荷三种载荷形式。用以衡量静载荷作用下的机械性能指标有强度、硬度和塑性；在动载荷作用下的机械性能指标有冲击韧性；在交变载荷作用下的机械性能指标有疲劳强度等。金属材料的各种机械性能指标，是对一定形状的试样进行各种试验来测定的。

一、强度

金属材料在外力作用下抵抗变形和破坏的能力叫强度。根据受力形式的不同，强度可分为抗拉、抗压、抗弯、抗剪和抗扭等几种。一般以测定抗拉强度为主。

拉伸试验是工程材料最常做的机械性能试验。它是将材料制成一定几何形状的试样（有

圆形和板状两种，前者见图1-9)，放在拉伸试验机上进行拉伸，以测得材料的强度、塑性等指标。

用于拉伸试验的试样有标准试样和比例试样两种。此外，还有长试样和短试样之分，其尺寸必须符合表1-3的规定。

标准试样的 d_0 为 20mm，当 $l_0/d_0 = 10$ 时，称其为标准圆形长试样，也称 10 倍试样，符号记作 δ_{10} 。当 $l_0/d_0 = 5$ 时，称其为标准圆形短试样，也称 5 倍试样，符号记作 δ_5 。

而比例试样的 d_0 可以任意选定，但必须满足： $l_0 = 11.3\sqrt{F_0}$ （长试样），或 $l_0 = 5.65\sqrt{F_0}$ （短试样）。

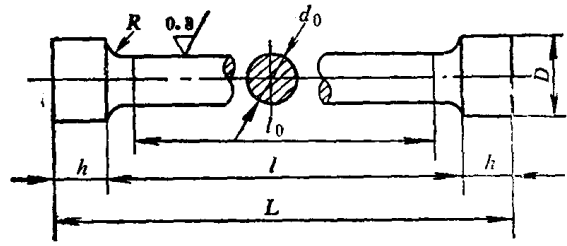


图1-9 圆形拉伸试样

表1-3 拉伸试样规范(参看图1-9)

试 样		标距长度 l_0 , mm	横截面积 F_0 , mm ²	圆柱试样直径 d_0 , mm	试样倍数表示记号
标准的	长	200	314	20	δ_{10}
	短	100			δ_5
比例的	长	$11.3\sqrt{F_0}$	任意的	任意的	δ_{10}
	短	$5.65\sqrt{F_0}$			δ_5

拉伸试验时给试样两端缓慢地施加轴向载荷，随着载荷的不断增加，试样由弹性伸长过渡到塑性伸长，直至断裂。在整个拉伸过程中，试验机自动记录了试样每一瞬间的载荷与伸长数据，试验结果绘出了载荷与伸长量之间的关系曲线，即拉伸图。图1-10为退火低碳钢的拉伸图。图中纵坐标是外加载荷 $P(N)$ ，横坐标是伸长量 $\Delta l(mm)$ 。

金属材料强度的高低通常都是以应力大小来表示的。所谓应力是指材料在承受外加载荷时其单位面积上的内力（其大小与外加载荷相等）。它的计算方法是：

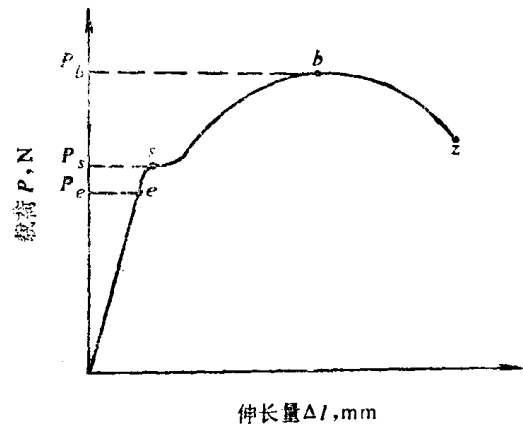


图1-10 退火低碳钢的拉伸图

$$\sigma = \frac{P}{F} \quad \text{MPa} \quad (1-1)$$

式中 σ ——应力，MPa；

P ——试验时的外加载荷，N；

F ——试样的横截面积，mm²。

图1-11表示拉应力示意图。

根据拉伸图上各特性点的意义不同，材料的强度指标有弹性极限、屈服极限和强度极限三种。

(一) 弹性极限

由拉伸图(图1-10)可知,当作用在试样上的外加载荷未超过 P_e 时,去除载荷后,试样能完全恢复原状。这种性能叫做弹性。随着载荷的去除而消失的变形,叫做弹性变形。当载荷增加到超过 P_e 时,则去除载荷后,试样就不能完全恢复原状,产生了一部分永久变形(即塑性变形)。因此,材料在弹性状态下所能承受的最大应力 σ_e ,便叫做弹性极限。它标志着材料由弹性变形过渡到弹-塑性变形。对于在工作中不允许有塑性变形的零件,弹性极限则是选材的依据。

弹性极限用 σ_e 表示,其计算方法是:

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F} \quad \text{MPa} \quad (1-2)$$

式中 P_e ——弹性极限载荷, N。

在实际测量中,要精确地测出材料的弹性极限是比较困难的。因此,在工程上规定,引起试样产生0.001~0.005%残余塑性变形时的应力作为材料的条件弹性极限。

弹性极限对于弹簧钢来说很重要,因为弹簧均要求有较高的 σ_e 值。材料可以通过合金化、热处理及冷热加工等方法来提高其弹性极限。

(二) 屈服极限 当载荷继续增加到 P_s 时,试样便由弹性变形过渡到塑性变形阶段。这时当载荷没有变化或变化很小时,试样仍能继续产生塑性变形,这种现象叫做材料的屈服。 s 点称为屈服点。引起屈服时的应力叫做屈服极限(或称屈服强度),用 σ_s 表示。

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F} \quad \text{MPa} \quad (1-3)$$

式中 P_s ——试样屈服时的载荷, N。

实际上,只有少数金属材料(如退火低碳钢等)才有明显的屈服现象。对于没有明显屈服现象的金属材料,如调质钢、工具钢、高强度钢等,工程上规定引起试样产生0.1~0.5% (常取0.2%)残余塑性变形的应力作为材料的条件屈服极限,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。具体求得方法见图1-12。

总之,屈服强度是代表材料抵抗微量塑性变形的能力。由于大部分零件都要求在弹性状态下工作,而不允许有过量塑性变形出现,塑性变形的开始即被看作是材料的失效,所以,屈服强度是确定材料许用应力的一个重要数据,也是设计和选材时的主要依据。

(三) 强度极限 当载荷超过 P_s 后,试样继续发生塑性变形,一直到试样开始产生明显的局部变形(缩颈)时,载荷达到最大值 P_b 。过 b 点以后,试样缩颈处的截面积急剧减小,直至断裂(图1-10中 z 点)。强度极限就是试样在断裂前所能承受的最大应力,用 σ_b 表示。

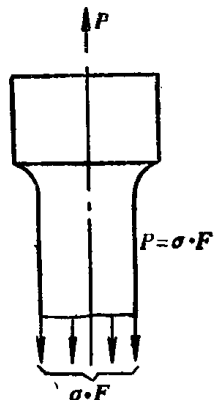


图1-11 拉应力示意图

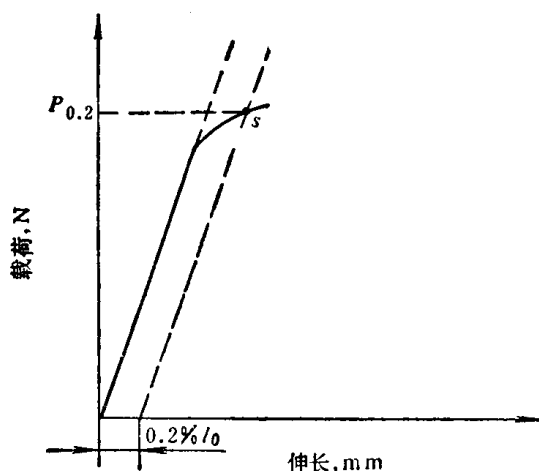


图1-12 条件屈服点的求得

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F} \quad \text{MPa} \quad (1-4)$$

式中 P_b ——试样在断裂前所能承受的最大载荷，N。

由于材料在达到 σ_b 时已产生了大量的塑性变形，一般零件不可能在接近 σ_b 的条件下工作。因此，在设计和选材中，通常不作为直接的计算依据。但是，考虑到强度极限比较容易测定，而且它与其它性能（如硬度、疲劳强度等）之间存在着一定的关系，加上脆性材料（如铸铁等）测不出 σ_s ，所以在习惯上仍将 σ_b 作为材料强度的一个重要指标。

金属材料的屈服极限和强度极限容易受材料的内在因素（如化学成分、晶粒大小、晶体结构形式等）和外界因素（如温度、热处理条件、加载速度等）的影响而有所变化，见表1-4、表1-5。

表1-4 退火状态下材料成分对 σ_s 、 σ_b 的影响

含碳量，%	0.1	0.2	0.3	0.4	0.45	0.5
σ_s MPa	180	220	260	300	320	340
σ_b MPa	340	420	500	580	610	640

表1-5 热处理状态对40Cr钢 σ_s 、 σ_b 的影响

热处理状态	退 火	正 火	调 质
σ_s MPa	340	440	760
σ_b MPa	630	710	1000

从上表可以看出，要控制和调整材料的性能，可将碳钢合金化，或通过细化晶粒、调质处理等方法来达到，以便最大限度地发挥材料的内部潜力，延长使用寿命。

除此之外，工程上所用的金属材料，还希望有一定的屈强比（即 σ_s/σ_b ）。材料的屈强比愈小，零件的可靠性愈高，如万一超载，也能由于塑性变形使材料的强度提高，而不致立刻断裂。但该比值太低，则材料的潜在能力就不能充分发挥，即有效利用率太低。几种常用钢材的屈强比大约如下：

低碳钢	$\sigma_s/\sigma_b \approx 0.6$
低合金结构钢	$\sigma_s/\sigma_b \approx 0.65 \sim 0.75$
合金结构钢	$\sigma_s/\sigma_b \approx 0.84 \sim 0.86$

二、硬度

硬度是指金属材料抵抗其它更硬物体压入其表面的能力，也可以看作是材料对局部塑性变形的抗力。

常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度和肖氏硬度等。一般地说，材料的硬度愈高，耐磨性也愈好。由于硬度的测试方法比较简便、迅速，又不损坏零、部件，加上各种硬度值可以互相换算，硬度值和强度值之间存在着一定的关系，因此，硬度测试已成为产品机械性能检查中必不可少的手段。

（一）布氏硬度 将直径 D 的淬硬钢球，在压力 P 的作用下，压入被测金属表面，停留

一定的时间后将外加压力去除，金属表面即留下一个直径为 d 的球面压痕，见图1-13。当 P 、 D 一定时，所测得的 d 愈大，表示材料愈软；反之，则表示材料愈硬。

布氏硬度值的大小用单位压痕面积上所承受的平均压强来表示。它的计算方法是：

$$HB = \frac{P}{F_{\text{压痕}}} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{kgf/mm}^2 \quad (1-5)$$

式中 HB——布氏硬度的代表符号；

P ——外加载荷，kgf；

D ——钢球直径，mm；

d ——压痕直径，mm。

在实际应用中，不必计算，只需用刻度放大镜测量出压痕直径 d 的大小（图1-14），就可以从有关的表格中查出相应的布氏硬度值（表1-6）。其单位习惯上可以不加标注。

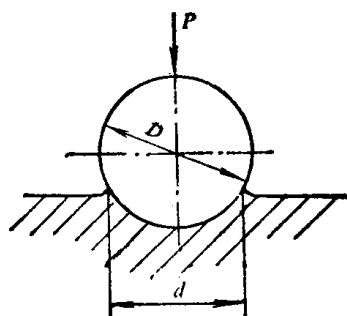


图1-13 布氏硬度试验原理图

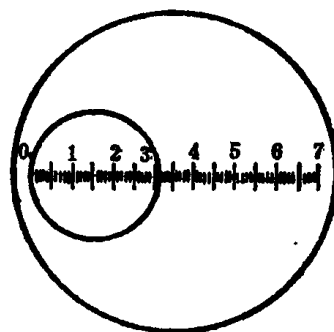


图1-14 压痕测量示意图

表1-6 压痕直径与布氏硬度对照表(部分摘录)

压痕直径mm $d_{10}, 2d_5$ 或 $4d_{2.5}$	在下列载荷 P (kgf) 下布氏硬度HB		
	$30D^2$	$10D^2$	$2.5D^2$
3.56	292	97.2	24.3
3.58	288	96.1	24.0
4.10	217	72.4	18.1
4.12	215	71.7	17.9
4.32	195	64.9	16.2
4.34	193	64.2	16.1

注：如果钢球直径为 5 mm，则将测出的压痕 d 值先乘 2 再查表；如果钢球直径为 2.5 mm，则将测出的压痕 d 值先乘 4 再查表。

由于被测金属材料的种类、软硬、厚薄不同，在进行布氏硬度试验时，应选用不同的载荷和钢球直径。具体可见表1-7。

布氏硬度试验法，测得的硬度值比较准确。它主要用于测定硬度不高的金属材料 ($< HB 450$)，如有色金属、灰口铁、一般碳钢或退火状态的低合金钢。因为当金属材料硬度过高时，作为压头的钢球本身会变形而影响试验结果的准确性。此外，由于布氏硬度试验压痕较大，不宜测量薄片及成品。

表1-7 布氏硬度试验规范

金 属 种 类	布氏硬度值 范围HB	试样厚度 mm	载荷 P 与 钢球直 径 D 的相互关系	钢球直径 D , mm	载荷 P kgf	载荷保持 时间, s
黑 色 金 属	140~450	>6	$P = 30D^2$	10.0	3000	10
		6~3		5.0	750	
		<3		2.5	187.5	
	<140	>6	$P = 10D^2$	10.0	1000	10
		6~3		5.0	250	
		<3		2.5	62.5	
有 色 金 属	>130	>6	$P = 30D^2$	10.0	3000	30
		6~3		5.0	750	
		<3		2.5	187.5	
	36~130	>6	$P = 10D^2$	10.0	1000	30
		6~3		5.0	250	
		<3		2.5	62.5	
	8~35	>6	$P = 2.5D^2$	10.0	250	60
		6~3		5.0	62.5	
		<3		2.5	15.6	

注：1. 如 $D = 10\text{mm}$, $P = 3000\text{kgf}$, 载荷保持时间10秒, 则所测得的硬度值表示为HB241; 其它试验条件下, 符号HB应以相应的指数注明。如HB_{5/250/30}100, 表示用 $D = 5\text{mm}$, $P = 250\text{kgf}$, 载荷保持时间为30秒测得的硬度值是100。

2. 压痕直径 d 的大小应在 $0.25D < d < 0.6D$ 范围内, d 太大或太小都将影响试验结果的准确性。

由于硬度值在一定程度上也反映了材料对局部塑性变形的抗力, 所以硬度值与强度值之间存在着一定的近似关系, 下列经验数据可供参考:

低碳钢 ($< \text{HB}175$) $\sigma_b \approx 0.362\text{HB}$

高碳钢 ($> \text{HB}175$) $\sigma_b \approx 0.345\text{HB}$

调质合金钢 $\sigma_b \approx 0.325\text{HB}$

灰口铁 $\sigma_b \approx 0.1\text{HB}$ 或 $\sigma_b \approx \frac{\text{HB} - 40}{6}$

有色金属 $\sigma_b \approx (0.33 \sim 0.55)\text{HB}$

(二) 洛氏硬度 将顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬硬钢球, 在一定的外加载荷 P 的作用下, 压入被测金属表面, 待载荷去除后, 根据金属表面留下的压痕深度来衡量材料的硬度。当载荷和压头一定时, 所测得的压痕深度 ($h_1 - h_0$) 愈大, 表示材料愈软; 反之, 则表示材料愈硬 (见图1-15)。为了照顾到习惯上数值越大硬度愈高的概念, 采用一常数 K 减去 ($h_1 - h_0$), 并规定每 0.002mm 压痕深度为一硬度单位。洛氏硬度用符号 HR 表示。

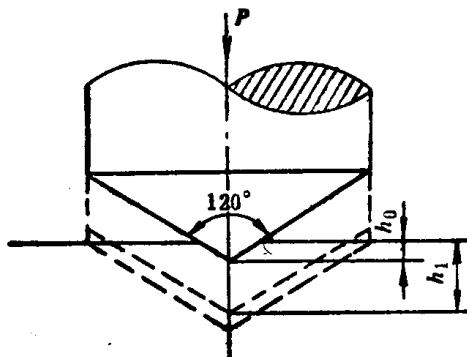


图1-15 洛氏硬度试验原理图

$$\text{HR} = \frac{K - (h_1 - h_0)}{0.002} \quad (1-6)$$

式中 h_0 ——在预载荷作用下压头压入材料的深度, mm;

h_1 ——在预载荷和主载荷作用下压头压入材料的深度, mm;

K ——常数, 采用钢球时取0.26; 采用金刚石圆锥体时取0.2。

洛氏硬度试验时, 根据外加载荷和压头的不同, 硬度值分别用符号 HRA、HRB 和 HRC 来表示, 见表1-8。

表1-8 洛氏硬度试验规范

硬度值符号	压头类型	载荷(预载荷+主载荷)kgf	常用硬度值范围
HRA	金刚石圆锥体	60(10+50)	70~85
HRB	钢球($\phi 1.588\text{mm}$)	100(10+90)	25~100
HRC	金刚石圆锥体	150(10+140)	20~67

若将常数 K 代入 HR 计算公式, 即得:

$$\text{HRC(HRA)} = 100 - \frac{h_1 - h_0}{0.002} \quad (1-7)$$

$$\text{HRB} = 130 - \frac{h_1 - h_0}{0.002} \quad (1-8)$$

洛氏硬度试验可以用来测量硬度很高的金属材料, 其测量过程简单、迅速, 当载荷去除后便可直接在硬度试验机的刻度盘上读出硬度值。此外, 由于压痕小, 可以用来测量薄片和成品。但其测量结果的精确度不如布氏硬度高。这是因为洛氏硬度的压头很小, 压陷时容易受金属表面不平或材料内部组织不均匀的影响。因而测量时, 除先加 10kgf 预载荷以减少表面不平的影响外, 一般还需在材料的不同部位测量数点, 取多数倾向的硬度平均值作为该金属材料的硬度。其中 HRC 的测量范围较大, 可用来测量材料经过热处理(如淬火、调质等)后的硬度; HRA 适宜测量材料经过化学热处理(如渗碳、氮化等)后的高硬度表层; HRB 可用来测量有色金属、退火钢及铸铁等硬度较低的材料。

硬度是检验毛坯、成品或热处理工件的重要性能指标, 在技术图纸中一般都注有对工件的硬度要求。如刀具、量具要求硬度为 HRC60~65; 机器零件要求硬度为 HRC25~45; 弹性零件要求硬度为 HRC40~50 等等。

(三) 维氏硬度 维氏硬度试验的方法和布氏硬度试验相似。它是用顶角为 136° 的四棱锥金刚石(图1-16), 在较小载荷 P (常用 1~30kgf) 作用下, 压入被测材料表面, 待去除载荷后, 用附在试验机上的显微放大镜测量出压痕的对角线长度 d , 然后通过查表或计算便可得到材料的维氏硬度值。

维氏硬度用符号 HV 表示, 其硬度值范围约在 10~1000。

计算公式是:

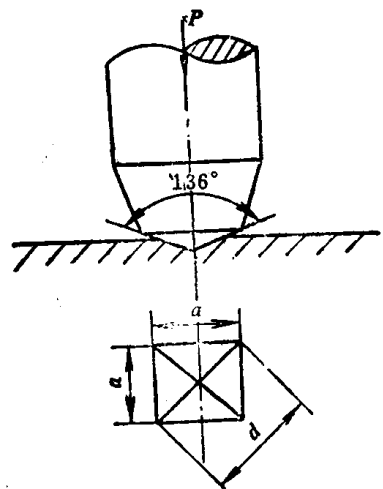


图1-16 维氏硬度试验原理图