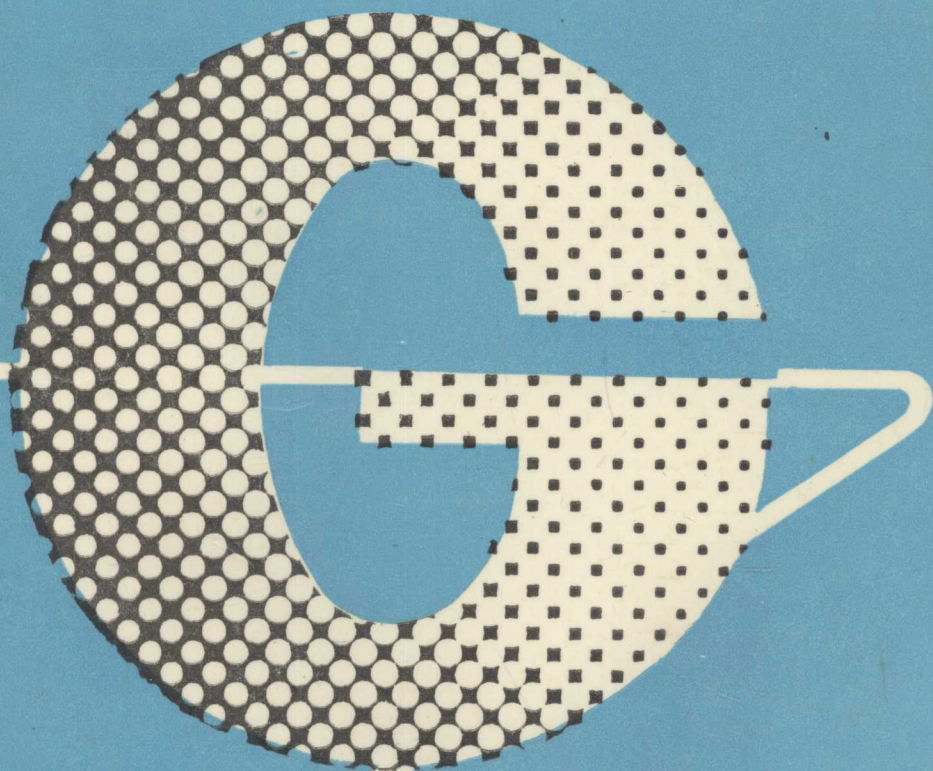


高等专科学校试用教材

金属工艺学

(热加工工艺基础)



上海机械专科学校

盛善权

主编

张学高

机械工业出版社

前 言

本书是根据1989年机械电子工业部高等专科学校机制专业教材编审委员会审议通过的机制专业参考性教学计划和教学大纲编写的。本教材符合1990年国家教委组织制订的高等专科学校机械类专业金属工艺学课程的基本要求，经机制专业教材编审委员会审定，推荐作为高等专科学校机械类专业使用的教材。本教材可与由机械工业出版社出版的《机械工程材料》(王运炎主编)配套使用。

本书内容包括钢铁生产、金属材料与热处理基础、铸造、锻压加工和焊接。本书除适用于高等专科学校外，也适用于职业大学、职工大学、电视大学、函授大学和自学考试。本书也可供中等专业学校选用，并可供从事热加工的工人和技术人员参考。

全书采用法定计量单位。材料分类、牌号、工程术语等都采用最新国家标准。本书注重基本原理的讲解，先给予感性认识，然后进行分析，再作结论；信息量大，反映了当代的一些先进技术；设计了一些新的插图；附有促进学生思考、应用的复习思考题。

本书由盛善权主编，张学高副主编，由潘延陵主审。绪论、第三篇锻压加工由盛善权编写，第一篇金属材料与热处理基础、第二篇铸造由张学高编写，第四篇焊接由易扬编写。参加本书审稿会议的有孙奎武、潘延陵、陈茂贞、卞铭甲、陈德祺、张士林和胡大超等。他们提出了许多宝贵意见，对提高本书质量起了很大作用。在此，编者表示衷心的感谢。

编者特别感谢毕琳玲为本书部分插图润色。

限于编者水平，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者

1991年11月

目 录

1. 绪论	1
第一篇 金属材料与热处理基础	
第一章 钢铁材料的生产及其力学性能	3
§1-1 钢铁材料的生产	3
§1-2 金属材料的性能	9
复习思考题	13
第二章 常用金属材料	14
§2-1 铁碳合金的基本组织和状态图	14
§2-2 碳素钢 (简称碳钢)	18
§2-3 合金钢	19
§2-4 铸铁与铸钢	20
§2-5 有色金属	23
复习思考题	25
第三章 热处理基础	26
§3-1 热处理概念及基本类型	26
§3-2 热处理基本工艺的特点和应用	26
复习思考题	28
第二篇 铸 造	
第四章 砂型铸造	29
§4-1 砂型铸造的基本工艺过程及造型材 料的机械化配制	29
§4-2 合金的铸造性能	31
§4-3 造型与造芯	34
§4-4 铸造工艺的制订	42
复习思考题	47
第五章 合金的熔炼、浇注和清理	48
§5-1 铸铁的熔炼与浇注	48
§5-2 铸件的落砂、清理和常见缺陷分析	50
§5-3 钢和有色金属的铸造工艺特点	53
复习思考题	55
第六章 铸件的结构工艺性	56
§6-1 铸件的外形	56
§6-2 铸件的内腔	58
§6-3 铸件壁厚和壁的连接	60
§6-4 机械加工对铸件结构的要求和组合 铸件的制造	62
复习思考题	64
第七章 特种铸造	65
§7-1 金属型铸造	65
§7-2 压力铸造	67
§7-3 离心铸造	70
§7-4 熔模铸造	71
§7-5 壳型铸造	74
§7-6 陶瓷型铸造、实模铸造、爆炸成型 和石膏型铸造	75
§7-7 铸造方法的选择	76
复习思考题	76
第三篇 锻 压 加 工	
第八章 金属的可锻性	77
§8-1 塑性变形后金属的组织和性能	77
§8-2 金属的可锻性	80
§8-3 金属的加热与冷却	82
复习思考题	88
第九章 自由锻造	89
§9-1 自由锻造用的设备	89
§9-2 自由锻造基本工序和锻件结构工 艺性	91
§9-3 自由锻造工艺规程的制订	98
§9-4 高合金钢的锻造特点	102
复习思考题	103

IV

第十章 模型锻造与胎模锻造..... 104

§10-1 锤上模锻..... 105

§10-2 压力机上模锻..... 110

§10-3 模锻件图的绘制和模锻件结构
工艺性..... 115

§10-4 胎模锻造..... 119

复习思考题..... 121

第十一章 板料冲压..... 122

§11-1 冲床..... 122

§11-2 板料冲压的基本工序..... 124

§11-3 冲模..... 132

§11-4 板料冲压的特点和冲压件的结构
工艺性..... 134

复习思考题..... 137

第十二章 压力加工新工艺..... 138

§12-1 精密模锻..... 138

§12-2 辊锻..... 139

§12-3 轧制..... 141

§12-4 挤压..... 144

§12-5 辗压..... 146

复习思考题..... 149

第四篇 焊 接

概 述..... 151

第十三章 电弧焊..... 152

§13-1 电弧焊基础..... 152

§13-2 手工电弧焊..... 156

§13-3 埋弧焊..... 162

§13-4 气体保护焊..... 166

§13-5 等离子弧焊..... 171

复习思考题..... 171

第十四章 其它焊接方法..... 172

§14-1 电渣焊..... 172

§14-2 电阻焊与摩擦焊..... 174

§14-3 钎焊与粘接..... 178

§14-4 电子束焊和激光焊..... 181

§14-5 高频焊和超声波焊..... 183

§14-6 堆焊和喷涂..... 185

复习思考题..... 186

第十五章 焊接质量分析及检验..... 188

§15-1 焊接质量分析..... 188

§15-2 焊接质量检验..... 194

复习思考题..... 196

第十六章 常用金属材料的焊接..... 198

§16-1 金属的焊接性..... 198

§16-2 常用金属材料的焊接..... 199

复习思考题..... 202

第十七章 焊接结构工艺设计..... 203

§17-1 焊接结构材料和焊接方法的
选择..... 203

§17-2 焊接接头的设计..... 204

§17-3 焊接结构工艺性..... 204

复习思考题..... 206

附录 焊缝基本符号及其标注方法..... 207

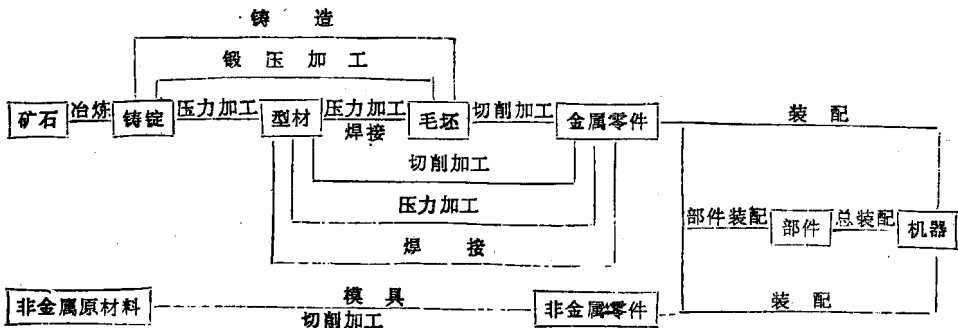
参考文献..... 208

绪 论

金属工艺学是研究金属零件制造工艺的综合科学，它是在总结劳动人民长期实践经验的基础上发展起来的。我国是有5000年历史的文明古国，自古以来在金属工艺方面成就辉煌。商代(公元前1562~1066年)我国就掌握了冶炼、铸造青铜的技术。春秋时代(公元前770~476年)开始应用铸铁。战国时代(公元前475~221年)已能制造锋利的刀剑，这说明已初步掌握了钢的冶铸、锻造和热处理的一些原始技术。南北朝(公元420~589年)时已能炼钢，比欧洲早1000多年。唐朝(公元618~907年)已应用锡焊和银焊，这也要比欧洲早1000年。秦始皇陵陪葬坑出土的由御官俑驾驭的一车四马彩绘铜车马，材料以青铜为主，配有金银饰品，大小为真人、真马、真车的1/2。车、马、人由3000多个零、部件组成，综合应用了铸造、焊接、冷拔、冲凿、篆刻、研磨、抛光和各种联接工艺。虽在地下埋藏了2000多年，但链条仍能运转、窗门仍能启闭，轮轴仍能转动。制作铜车马的精湛技术，集中反映了我国劳动人民在金属工艺方面作出的伟大贡献。明朝宋应星所著《天工开物》，论述了炼铁、炼钢、铸钟、锻造和淬火等各种加工方法，是世界上最早的金屬工艺学著作之一。

但是，由于我国长期处于封建社会，特别是鸦片战争以来帝国主义的侵略，我国又逐渐沦为半殖民地半封建社会，严重阻碍了生产力的发展和科学技术的进步。而欧美国家从18世纪英国产业革命后进入资本主义社会，生产力大发展，科技大进步。这样，解放前我国的科学技术和生产水平比发达的资本主义国家落后了一二百年。中华人民共和国成立后，社会主义建设迅猛发展，虽然其间有过曲折，耽误了不少时间，但至今已建立了现代农业、现代工业、现代国防和现代科技的基础，与经济发达国家的差距已缩短到几十年。目前，我国正以经济建设为中心，把发展生产力放在首位，大力发展高科技，争取在下世纪中叶成为经济发达的社会主义国家，赶上世界先进水平。

金属工艺学研究金属的冶炼、铸造、压力加工、焊接和切削加工等，它们在整个机械制造中的作用与地位大致如下：



由于目前金属零件在机器中还占大多数，所以掌握金属工艺学对从事机械制造的工程技术人员非常重要。

第二次世界大战结束以来，机械制造进一步向高质量、高生产率方向发展，要求提高毛坯的精度，减少加工余量，推广“少无切削”。于是发展了许多压力加工新技术，由冲压、滚轧、辗压、挤压直接得到产品零件，既提高了零件质量，节约了原材料，又大大提高了生产率。精密铸造、精密锻造的应用也愈来愈多。另外，焊接技术的发展也很快。等离子弧焊接、真空电子束焊接、超声波焊接、激光焊接，摩擦焊、爆炸焊、扩散焊的使用，提高了焊接的质量，解决了许多焊接难题。电子计算机在机械制造、金属加工工艺中的应用开辟了机械制造的新纪元，为多品种、小批量生产的自动化创造了条件。

在高等工科院校中，金属工艺学是一门技术基础课。学习本课程的目的是使学生了解常用金属材料的性能及其加工工艺，为学习后继课程及以后从事技术工作奠定机械制造工艺基础。金属工艺学是一门实践性很强的课程，学生在学习前先要通过教学实习获得铸、锻、焊、车、铣、刨、磨、钳的感性认识，掌握初步的操作技能，这样，才能理论联系实际，取得较好的学习效果。

第一篇 金属材料与热处理基础

金属材料是国民经济各部门中使用最广泛的材料。用它制造各种金属结构、机器零件、工具及日常生活用品等，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，是因为它具有优良的力学性能、物理性能和化学性能，还具有易于用各种加工方法成形的工艺性能。此外，金属材料制成的各类零件或工具，通过热处理还可以改变其组织和性能，从而进一步扩大其使用范围。

金属材料的品种繁多，性能各不相同，其中黑色金属(钢铁材料)因资源丰富、价格较低，故在机械制造各部门中比有色金属(如铜及铜合金、铝及铝合金等)的应用更为广泛。

本篇就钢铁材料的生产、力学性能、铁碳合金的基本组织和状态图、常用金属材料的牌号、性能及热处理方法作一简要的介绍。

第一章 钢铁材料的生产及其力学性能

§1-1 钢铁材料的生产

钢和生铁都属于铁碳合金，区别仅在于钢的含碳量在2.11%以下，含有的杂质元素(如硅、锰、磷、硫等)较少。生铁的含碳量在2.11%以上，含有的杂质元素较多。

钢铁材料的生产过程，是由铁矿石炼成生铁，再由生铁炼成钢，并经压力加工(如轧制、锻压等)制成钢材的一系列过程，如图1-1所示。

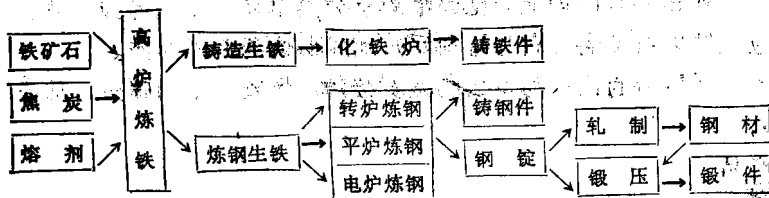


图1-1 钢铁材料生产过程示意图

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，比欧洲约早2000年。19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1-2)。高炉炼铁的原料主要有铁矿石、焦炭和熔剂(如石灰石等)。

(一) 炼铁实质

炼铁的实质就是将铁矿石中的氧化铁(如 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 等)还原成铁。高炉内的焦炭除作为燃料产生高温外,炽热的焦炭及其燃烧后形成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,它还含有不少杂质(如脉石、泥砂等),其主要成分是二氧化硅。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,由加入的熔剂石灰石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,然后分别由高炉底部的出渣口和出铁口排出炉外。

(二) 基本过程

炼铁的基本过程是把铁矿石、焦炭、熔剂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、小加料斗4(图1-2)装入高炉。在热风炉8中经过预热的空气,经风带10由各风口吹入高炉底焦炭14,使底焦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递给炉料,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:

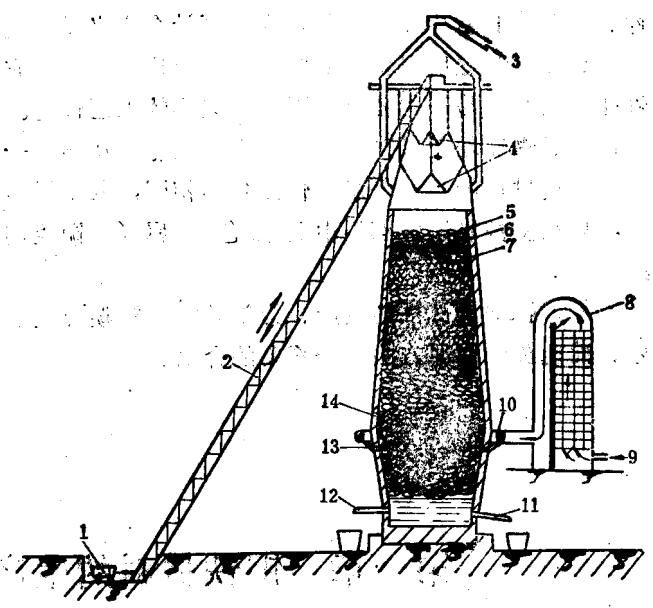


图1-2 高炉简图

1—料车 2—提升机 3—高炉煤气 4—加料斗 5—熔剂
6—层焦 7—铁矿石 8—热风炉 9—冷风口 10—风带
11—出铁口 12—出渣口 13—进风口 14—底焦

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。

(三) 高炉产品

1. 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。

2. 高炉煤气

由高炉排出的炉气中,含有大量的 CO 、 CH_4 和 H_2 等,可用于炼焦、炼钢和各种加热炉,具有很高的经济价值。

3. 炉渣

高炉炉渣中的主要成分为CaO和SiO₂，可用来制造水泥和渣砖等建筑材料。

表1-1 高炉生铁的化学成分

成分	C(%)	Si(%)	Mn(%)	P(%)	S(%)
炼钢生铁	≈3.5	0.6~1.75	0.5~1.5	0.07~1.6	0.06~0.10
铸造生铁	≈3.5	1.25~3.75	0.5~1.3	0.1~1.0	0.07~0.15

二、炼钢

(一) 炼钢实质

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1500~1700℃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

转炉炼钢是利用氧气或空气中的氧吹入温度为1200~1300℃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。图1-3为氧气顶吹转炉炼钢示意图。

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。

2. 平炉炼钢

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。图1-4为平炉炼钢示意图。

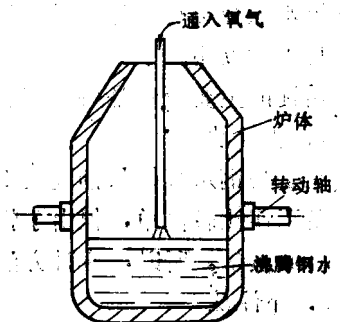


图1-3 氧气顶吹转炉炼钢示意图

平炉也有酸性和碱性两种，一般多用碱性平炉。它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，能炼出多种合金钢。

3. 电炉炼钢

电炉炼钢是利用电能作热源的炼钢方法，常用的有电弧炉和感应电炉两种。图1-5为电弧炉炼钢示意图。在电弧炉炉盖上开有3个圆孔，供插入3根石墨电极用。通电后，在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(如钒、钛等)和难熔元素(如钨、钼等)的合金钢。

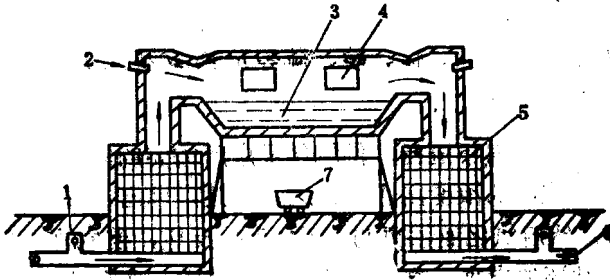


图1-4 平炉炼钢示意图

1—空气 2—喷嘴 3—钢水 4—装料口 5—预热室 6—烟道
7—渣车

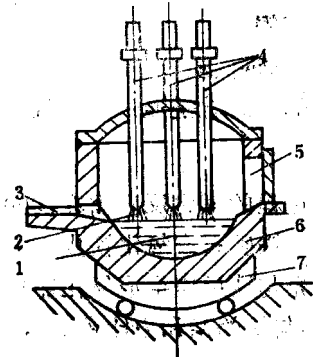


图1-5 电弧炉炼钢示意图

1—钢水 2—电弧 3—出钢口 4—石墨电极
5—加料口 6—炉体 7—倾斜机构

上述三种炼钢方法，所获得的钢水都不可能绝对纯净。自50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，为了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熔炼方法。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。

三、钢的铸锭

(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三种：

1. 上注法

它是将钢水直接从钢锭模上口注入，一般每次只能浇铸一个钢锭(图1-6a)。此法的设备和准备工作比较简单，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铸大钢锭。

2. 下注法

它是将钢水注入中心注管，从模底流入钢锭模中，一次可铸几个到几十个钢锭(图1-6b)。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

它是将钢水由盛钢桶 1 通过中间罐 2 连续地注入结晶器 3 中(图 1-6c)，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，使铸坯壳内的钢水全部凝固成钢坯。钢坯经轧辊 5 矫直后由切割器 6 切成一定的长度，最后由输送辊道 7 将其送到铸坯堆场，以备轧钢机轧制。这种方法成材率和机械化程度高，应用已日益广泛。

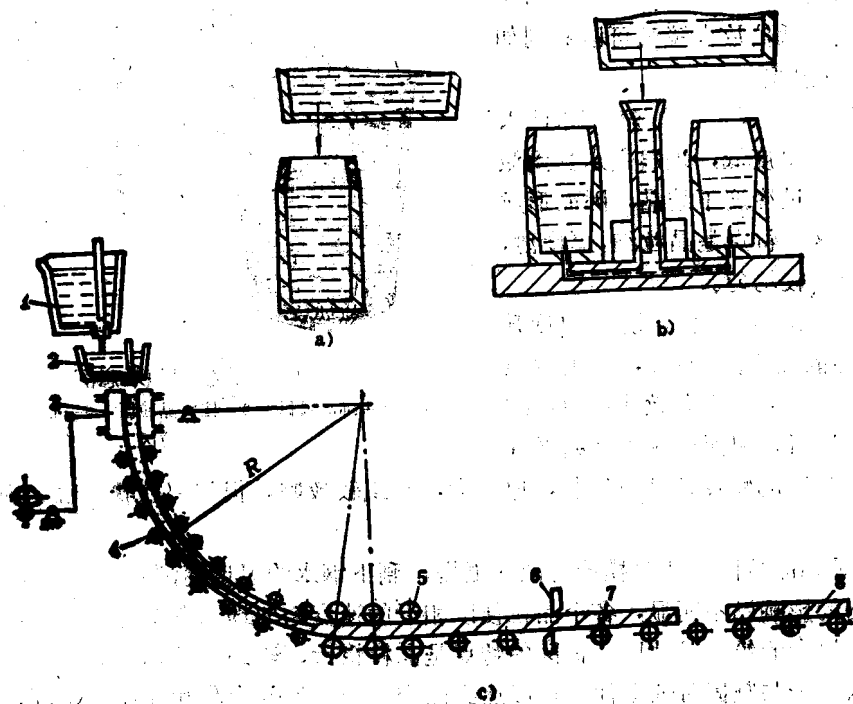


图1-6 铸锭方法

a) 上注法 b) 下注法 c) 连续铸锭法
 1—盛钢桶 2—中间罐 3—结晶器及其振动装置 4—二次冷却区喷水装置 5—拉坯矫直机 6—切割器
 7—辊道 8—铸坯

(二) 镇静钢与沸腾钢

根据钢液的脱氧程度不同，可将钢分为以下两类：

1. 镇静钢

在熔炼过程中钢液经过充分脱氧，浇铸到锭模中能平静地凝固。这种钢称为镇静钢。它的成分和性能比较均匀，内部组织致密。但钢液凝固时的收缩，会在钢锭上部产生集中缩孔，轧制前必须予以切除。故其成材率较低，成本较高。因其质量好，所以大多数机械制造用钢是镇静钢。

2. 沸腾钢

在熔炼过程中钢液脱氧不充分，浇铸到锭模中后，溶解在钢液中的 FeO 继续与 C 发生反应，生成的一氧化碳气体不断从钢液中逸出，钢液出现沸腾现象，故名沸腾钢。当锭模上部钢液凝固后，陆续产生的一氧化碳气体就被封闭在钢锭内部，形成许多小气泡，使钢锭出现分散缩孔(即缩松)，加上内部杂质较多，化学成分不够均匀，故质量不如镇静钢。但其成材

率较高，加以脱氧剂用得少，成本较低。另外，沸腾钢表层有一定厚度的致密层，故轧制成的钢板表面质量较好。沸腾钢只能是低碳钢，用于轧制钢材而不能用于锻造。在沸腾钢的牌号末尾需加注符号F。

(三) 钢锭组织

1. 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1-7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。

(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) 心部等轴晶粒区 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。

2. 微观组织(即显微组织)

此法需借助于光学显微镜或电子显微镜(放大数百倍，甚至数千倍以上)来观察，所看到组织称为显微组织。

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)形成规则排列，构成晶体。这个过程称为结晶。假如取结晶后的小块纯铁试样，将观察面经过磨光和抛光，再用特制的侵蚀剂加以侵蚀，然后放在显微镜下观察，便会看到许多外形大小不一的小颗粒(即小晶体)，这些小颗粒称为晶粒。晶粒与晶粒之间的黑色交界面称为晶界。纯铁就是由这些晶粒与晶界所组成的组织，如图1-8所示。晶粒的尺寸通常都很小，其平均直径约在 $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{mm}$ 。晶粒大小(或称粗细)直接

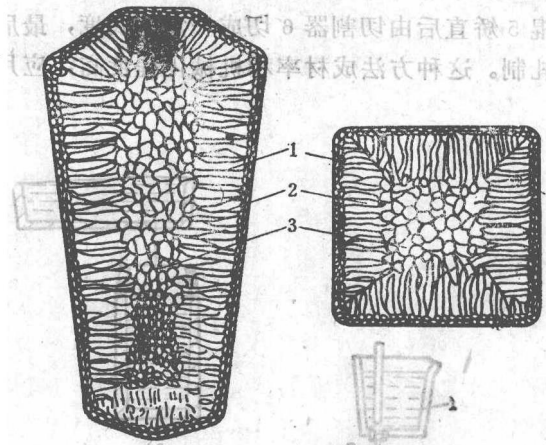


图1-7 钢锭组织示意图
1—表层细晶粒区 2—柱状晶粒区 3—心部等轴晶粒区



图1-8 纯铁的显微组织(100×)

关系到材料性能的好坏，通常细晶粒组织有着较高的强度和较好的塑性、韧性。实践证明，

结晶过程中采取加快冷却速度、机械振动、压力下结晶或外加变质剂等措施，可以获得细晶粒组织。

§1-2 金属材料的性能

金属材料的性能包括物理性能、化学性能、力学性能和工艺性能。这些性能的变化，均与材料的化学成分和内部组织有关。工程上在设计零件选择材料时，通常是以力学性能作为主要依据，其次还需考虑材料的工艺性能。

一、力学性能

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，这种能力就称为力学性能，主要有强度、硬度、塑性、冲击韧度和疲劳强度等。

(一) 强度

金属材料在外力作用下抵抗变形和破坏的能力称为强度。根据受力形式的不同，可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度等。一般以测定材料的抗拉强度为主。

试验时，把圆形低碳钢拉伸试样(图1-9)夹持在拉伸试验机的两个夹头上，缓慢地施加轴向载荷，随着载荷的不断增加，试样由弹性变形过渡到塑性变形，直至断裂。试验结果所测得的载荷 F 和伸长量 Δl 之间的关系曲线，称为低碳钢的拉伸曲线，即拉伸图(图1-10)。

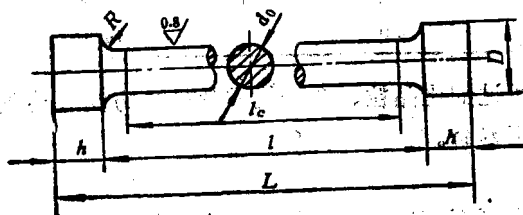


图1-9 圆形拉伸试样

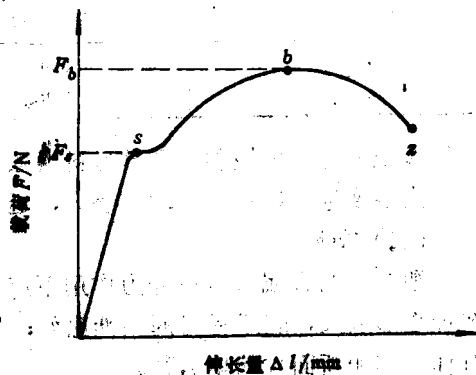


图1-10 低碳钢的拉伸图

当材料受外加载荷作用而未引起断裂时，其内部产生与外加载荷相平衡的内力。单位面积上的内力，称为应力。材料强度的高低通常是以应力 σ (单位为MPa)表示的，即

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

式中 F ——试验时的外加载荷，单位为N；
 A ——试样的横截面积，单位为 mm^2 。

应力单位MPa(兆帕)和Pa(帕)是属于国际单位制,目前我国材料手册有的还是应用工程单位制,即kgf/mm²(公斤力/毫米²),两者相互关系为1kgf/mm²≈10MPa=10⁷Pa。

抗拉强度是材料在断裂前所能承受的最大应力,用符号 σ_b (单位为MPa)表示。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

式中 F_b ——试样被拉断前所能承受的最大拉力,单位为N;

A_0 ——试样原来的横截面积,单位为mm²。

试样刚开始产生塑性变形时的强度,叫屈服点,用符号 σ_s (单位为MPa)表示。 $\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$, F_s 为试样屈服时所承受的拉力。由于许多金属材料没有明显的屈服现象,屈服点的测定比较困难,因此工程上规定试样产生0.2%残余塑性变形时的应力作为材料的条件屈服点,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

σ_s (或 $\sigma_{0.2}$)和 σ_b 都是设计和选材时的主要依据(对生铁等脆性材料,因无塑性变形,故以测得 σ_b 为主)。金属材料的强度,不仅与材料本身内在因素(如化学成分、晶粒大小等)有关,还会受外界因素(如温度、加载速度、热处理状态等)的影响而有所变化,见表1-3和表1-4。

表1-3 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1-4 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

综上所述,要控制和调整材料的强度,可通过细化晶粒、合金化或热处理方法来达到,以最大限度地发挥材料的内部潜力,延长其使用寿命。

(二) 塑性

塑性是指金属材料在外力作用下产生塑性变形而不被破坏的能力。金属材料在断裂前的塑性变形愈大,表示材料的塑性愈好;反之,则表示材料的塑性愈差。衡量塑性的指标主要有伸长率和断面收缩率两种。

1. 伸长率 δ

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

式中 L_1 ——试样拉断后的标距长度,单位为mm;

L_0 ——试样原标距长度,单位为mm。

伸长率与试样尺寸因素有关,故有 δ_{10} (长试样,即 $l_0=10d_0$)和 δ_5 (短试样,即 $l_0=5d_0$)之分。习惯上将 δ_{10} 简写为 δ 。

2. 断面收缩率 ψ

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

式中 A_1 ——试样断口处的横截面积，单位为 mm^2 ；

A_0 ——试样原横截面积，单位为 mm^2 。

良好的塑性有利于金属材料进行锻压、轧制、冷冲、冷拔等成型工艺，并能使机器零件在意外超载时不致突然断裂。在一般情况下， δ 达5%或 ψ 达10%，已能基本上满足绝大多数零件的使用要求。

(三) 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。工程上常用的硬度指标有布氏硬度(HBS或HBW)和洛氏硬度(HRC)。

1. 布氏硬度

将直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球，在外力 F 的作用下压入被测金属表面，停留一定时间后将外力去除，然后根据压痕直径 d 的大小(图1-11)，可通过查表(表上已有硬度值的计算结果)就能确定材料的硬度值。硬度值的单位习惯上不加标注。根据GB231—84规定，布氏硬度符号分别用HBS或HBW表示，符号前为硬度值，符号后为试验条件。例如：120HBS 10/1000/30表示用直径10mm钢球在1000kgf(9.807kN)试验力作用下保持30s测得的布氏硬度值为120。500HBW 5/750表示用直径5mm硬质合金球在750kgf(7.355kN)试验力作用下保持10~15s(可以不标注)测得的布氏硬度值为500。

这种方法测定的硬度值准确。HBS主要用于测定硬度不高的金属材料($\text{HBS} < 450$)，如灰铸铁、有色金属、一般经退火、正火和调质处理的钢材。HBW适用于测定硬度较高的金属材料($\text{HBW} < 650$)。

2. 洛氏硬度

将顶角为 120° 的金刚石圆锥(压头)，施加150kgf(1.471kN)压入工件表面，卸载后根据压痕的深度 $h = h_1 - h_0$ (其中 h_1 为总载荷150kgf作用下压头的压入深度， h_0 为预载荷10kgf作用下压头的压入深度)，便可在硬度计刻度盘上($\text{HRC} = 100 - \frac{h}{0.002}$)直接读出硬度值(图1-12)。其硬度符号为HRC，符号后为硬度值、常用硬度值范围为HRC20~67。它主要适用于调质钢和淬火钢等较硬材料的测定。与布氏硬度比较，此法操作简单迅速，可直接读数，但由于压痕小，测量误差稍大，通常可在零件的不同部位测量数次，取其平均值。

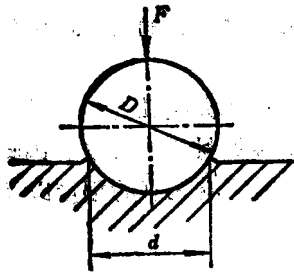


图1-11 布氏硬度试验原理图

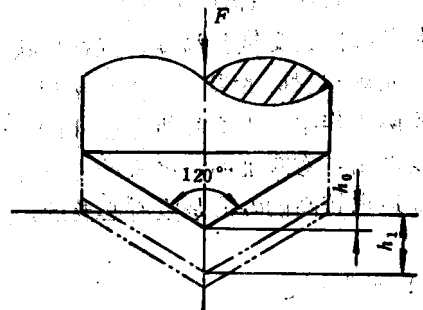


图1-12 洛氏硬度试验原理图

若需测量工件高硬度薄层(如渗碳层、氮化层)，则改用外加载荷为60kgf(0.588kN)，其硬度符号为HRA，常用硬度值范围为HRA70~85；若用于测量硬度较低的材料，可改用

外加载荷为100kgf(0.981kN), 压头为 $\phi 1.588\text{mm}$ 钢球, 其硬度符号为HRB, 常用硬度值范围为HRB25~100。

洛氏硬度和布氏硬度在数值上有以下近似关系: $\text{HRC} \approx \frac{1}{10} \text{HBS}$ 。另外, 硬度和强度间也存在着一定的近似关系, 如低碳钢 $\sigma_s \approx 3.6 \text{HBS}$ 等。

(四) 冲击韧度

有不少机器零件, 如冲床连杆、冲头、锻模、锤头、火车挂钩、汽车变速齿轮等, 工作时还要承受冲击载荷的作用。如果仍用静载荷作用下的强度指标来进行设计计算, 就不能保证这些零件工作时的安全可靠, 必须同时考虑材料的冲击韧度。

所谓冲击韧度是指金属材料抵抗冲击载荷的能力。为了确定材料的冲击韧度, 根据GB229—84规定, 常对梅氏试样(图1-13a)进行冲击试验来加以测定。

目前常用摆锤进行一次大能量弯曲冲击试验来测定材料的韧度(图1-13b)。试样缺口处单位横截面积所消耗的冲击能量, 即代表材料的冲击韧度指标, 用符号 a_k (单位为 $\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$)表示。

$$a_k = \frac{A_k}{A} = \frac{G(H-h)}{A}$$

式中 G ——摆锤重量, 单位为N;

H ——摆锤原始高度, 单位为m;

h ——摆锤回升高度, 单位为m;

A ——试样缺口底部处横截面积, 单位为 cm^2 ;

A_k ——冲断试样所消耗的能量(即冲击吸收功), 单位为J。

材料的 a_k 值会受试验温度、试样形状、表面粗糙度等因素的影响, 因此, 一般只用作材料质量鉴定和选材时的参考, 不直接用于强度计算。

在实际工作中, 大多数机器零件所承受的冲击, 不是大能量的一次冲击, 而是小能量的多次重复冲击。实践证明, 多次冲击抗力主要取决于金属材料的强度。因此在设计选材时, 不恰当地追求较高的 a_k 值是没有必要的, 应该强调材料要有足够的强度以及强度与塑性的良好配合。

(五) 疲劳强度

许多机械零件, 如机床主轴、齿轮、弹簧等, 是在交变应力作用下工作的。所谓交变应力, 是指应力的方向、大小、方向随时间作周期性的变化。这时, 在交变应力远低于材料屈服强度的情况下所引起的破坏叫疲劳破坏。这种破坏往往是突然发生的, 常常会造成严重事故, 故

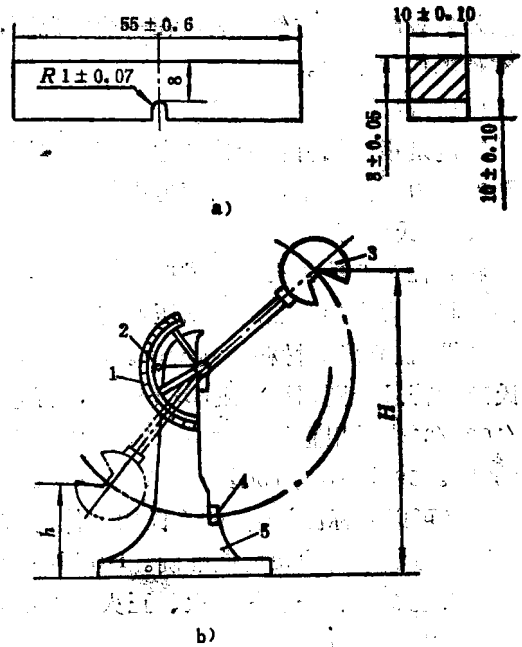


图1-13 一次冲击试验原理图

a) 梅氏试样 b) 冲击试验原理图

1—读数盘 2—指针 3—摆锤 4—试样 5—机座

必须引起足够的重视。

工程上规定,当疲劳试样经受相当数量的交变次数(对钢铁 $N=10^7$ 次,对有色金属 $N=10^8$ 次)而不发生破坏时的最大应力,称为该材料的疲劳极限或疲劳强度。当交变应力对称时,疲劳强度用符号 σ_{-1} 表示。一般钢材的 $\sigma_{-1} \approx (0.45 \sim 0.55)\sigma_0$ 。

造成疲劳破坏的原因,一般认为是由于材料内部的缺陷(如气孔、夹杂物等)及材料在机械加工过程中所形成的磨痕、刀痕等所引起的应力集中。开始时产生微裂纹,在交变应力的反复作用下,微裂纹逐渐扩展,使材料的有效截面减小而出现突然断裂。

机械加工时减小零件表面粗糙度数值以及采用表面强化工艺,如表面淬火、化学热处理、滚压、抛(喷)丸处理等,都能有效地提高材料的疲劳强度。

二、工艺性能

工艺性能是指金属材料对于生产制造工艺的适应性,即是否易于加工成形的性能。它包括铸造性能、锻压性能、焊接性能、切削加工性能及热处理性能等。工艺性能良好的金属材料,意味着对它施行该项工艺,能获得较高的产品质量、较高的生产率和较低的生产成本。

工艺性能也是金属材料的物理、化学和力学性能的综合。如铸造性能涉及材料的熔点、收缩性、液态时的流动性及偏析倾向等;锻压性能涉及材料的塑性、强度及抗氧化性等;切削加工性能则与材料的强度、硬度、塑性及导热性等有关;热处理性能与材料的成分有关,它是指材料在热处理时能否被淬硬与淬透的能力。

不同的金属材料具有不同的工艺性能。如灰铸铁具有良好的铸造性能和切削加工性能,但无锻压性能,焊接性能也较差。低碳钢具有良好的锻压性能和焊接性能,但切削加工性能和铸造性能较差。高碳钢的锻压性能和焊接性能均较低碳钢差,切削加工性能和铸造性能也不好,但淬硬性好。

复习思考题

1. 高炉炼铁的实质是什么?主要原料有哪些?它们在炼铁过程中各起何种作用?
2. 炼钢的实质是什么?主要炼钢方法有哪几种?为何下注法获得的钢锭质量较上注法好?
3. 何谓镇静钢和沸腾钢?为何机械零件大多采用镇静钢?
4. 晶粒大小对金属的力学性能有何影响?如何使钢的晶粒进一步得到细化?
5. 为何高炉炼铁不能得到纯铁和钢?生铁和钢在化学成分、力学性能和用途方面有何不同?
6. 金属材料力学性能的主要指标有哪些?试说出它们的物理意义、表示符号、单位及相互间的关系。
7. 对甲、乙两种材料进行拉伸试验,测得的结果如下:拉断直径16mm的甲材料,用力65000N,断面直径减为10mm;拉断直径10mm的乙材料,用力39600N,断面直径减为8mm,试比较两者的强度和塑性哪一种好?
8. 试比较布氏硬度试验和洛氏硬度试验在基本原理及适用场合方面的区别。
9. 下列物料该用何种方法测定硬度?写出其硬度符号。
 - (1) 检验锉刀、车刀、钻头成品的硬度;
 - (2) 检验材料库内钢材的硬度;
10. 下列硬度值的要求或表示方法是否正确?为何?
 - (1) HRC10~15
 - (2) 550~600HBS,
 - (3) HRC70~75
 - (4) 350~400HBS kgf/mm².