

高等学校教材

金属工艺学

(近机械类各专业用)

苏芳庭主编

高等教育出版社

高等学校教材
金属工艺学
苏芳庭 主编
(近机械类各专业用)

*

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
上海中华印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 18 字数 408,000
1990年11月第1版 1990年11月第1次印刷
印数 0001—5,100

ISBN 7-04-002339-3/TH·208
定价 3.25 元

前 言

为了满足近机械类专业金属工艺学的教学需要,我们在以往教学实践的基础上,根据近机械类各专业的特点,参照国家教委工程材料与机械制造基础课程教学指导小组审定的“工程材料与机械制造基础教学基本要求”编写了这本教材。

在体系上,本教材将课堂教学内容和实习教学内容融为一体。以课堂教学内容为主,适当地概括了实习内容。这样,不仅保证了教材的完整性,也避免了不必要的重复和脱节。

在内容上,与传统教材相比,增添了“钢铁生产”和“公差与配合”两章。“金属材料与热处理”一章也作了充实和加强。并编入了复习思考题。

本教材由苏芳庭(一、二、三、四、七章)和陈辉华(五、六、八章)编写,由苏芳庭主编。

陈天佑、马红霞和阮嘉仪三同志为本教材描绘了全部插图。

本教材由同济大学钱增新和中南工业大学卢达志两位同志审阅。

限于水平,错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

1988.12.

目 录

前言

第一章 钢铁生产	1
§1 炼铁	1
§2 炼钢	3
§3 钢材的生产	5
复习思考题	7
第二章 金属材料及热处理	8
§1 金属与合金的性能	8
§2 金属的晶体构造与结晶	13
§3 合金的构造与相图	17
§4 铁碳合金相图	24
§5 钢的热处理	30
§6 碳钢	45
§7 合金钢	48
§8 铸铁	54
§9 有色金属及其合金	59
复习思考题	69
第三章 铸造	71
§1 砂型铸造	71
§2 铸件缺陷分析	81
§3 合金的铸造性能	83
§4 常用铸造合金的熔铸特点	85
§5 特种铸造	87
§6 铸件结构工艺性	92
复习思考题	95
第四章 锻压生产	96
§1 金属塑性变形及可锻性	96
§2 金属的加热	100
§3 自由锻造	103
§4 模型锻造	110
§5 板料冲压	114
§6 零件的挤压和轧制	120
复习思考题	122

第五章 焊接与切割	123
§1 电弧焊	123
§2 电阻焊	134
§3 气焊	137
§4 钎焊	139
§5 其它焊接方法	140
§6 切割	142
§7 常用金属材料的焊接特点	144
§8 焊接接头质量分析	146
§9 焊接结构设计的工艺性	150
复习思考题	152
第六章 公差与配合	153
§1 互换性与加工精度	153
§2 公差与配合的基本知识	153
§3 公差与配合标准的选用	158
§4 形状与位置公差	160
§5 表面粗糙度	163
§6 常用量具	166
复习思考题	169
第七章 金属切削加工	171
§1 金属切削加工的基础知识	171
§2 车削加工	186
§3 钻镗加工	205
§4 刨削和拉削加工	213
§5 铣削加工	222
§6 磨削加工	230
§7 齿轮的齿形加工	238
§8 常用表面加工方法综述	243
§9 零件结构的切削加工性	248
§10 特种加工	252
复习思考题	256
第八章 钳工与装配	258
§1 划线	258

§2 锯割	261	§6 錾削	269
§3 锉削	263	§7 装配	270
§4 刮削	266	复习思考题	272
§5 攻丝与套丝	267		

第一章 钢铁生产

钢和生铁是应用最广的金属材料，它们都是铁和碳的合金。理论上，把含碳量在 2.11% 以下的铁碳合金称为钢，而含碳量在 2.11% 以上的铁碳合金则称为生铁。工业上使用的钢含碳量一般在 1.4% 以下、生铁含碳量一般在 2.5~4.0% 之间。

钢铁生产包括将铁矿石炼成生铁、将生铁炼成钢、把炼成的钢浇注成钢锭、将钢锭轧制成各种钢材。

§ 1 炼 铁

一、炼铁的原料及高炉

炼铁的原料是铁矿石、燃料和熔剂。

自然界中的铁绝大多数是以铁的氧化物形式存在于铁矿石中，如 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、 FeCO_3 等。铁矿石中除铁的氧化物外，还有其他元素的氧化物（主要是 SiO_2 ，还有 Al_2O_3 、 MgO 等），这些氧化物统称为脉石。炼铁的主要任务是将铁从铁的氧化物中还原出来，进而变成生铁，并使之与脉石分离。

焦炭是炼铁的燃料，它也是还原剂。

由于脉石中的氧化物熔点都很高，因此，加入熔剂的作用是使铁矿中的脉石和燃料中的灰分变成低熔点的炉渣。因脉石多为酸性，故炼铁皆用碱性熔剂石灰石 (CaCO_3)。

炼铁的主要设备是高炉，如图 1-1 所示。

高炉是一个圆形竖炉，内部用耐火材料砌成，外包以钢壳。高炉的大小以有效容积来表示。我国是以风口中心线至炉喉上端之间的容积定为有效容积的。目前国内最大的高炉“宝钢一号”有效容积为 4063 m^3 ，总高度为 113 m，年产生铁 300 万吨。

炉料通过炉顶上部的大小料钟装入炉内。炉缸和炉腹中装的是焦炭。炉腰以上装铁矿石、焦炭与熔剂，层层相间，一直装满到炉喉。冶炼时，从风口鼓入的热风使底部的焦炭燃烧，产生的高温炉气自下而上运动，把自上而下的炉料加热、还原，炼成生铁。液态生铁和炉渣存入炉缸，定时从出铁口和出渣口放出。大型高炉每昼夜出铁、出渣各 6~9 次。

高炉开炉后，一般要持续生产几年乃至十几年，才停炉大修。

二、高炉内的主要物理化学变化

高炉的主要物理化学变化是：

1. 焦炭的燃烧 高炉内的大部分焦炭与热风 ($1000\sim 1150^\circ\text{C}$) 中的氧发生化学反应，放出大量热量，使炉缸中炉气的温度升至 $1700\sim 1800^\circ\text{C}$ 左右；由于高炉内存在着过剩的碳，因而燃

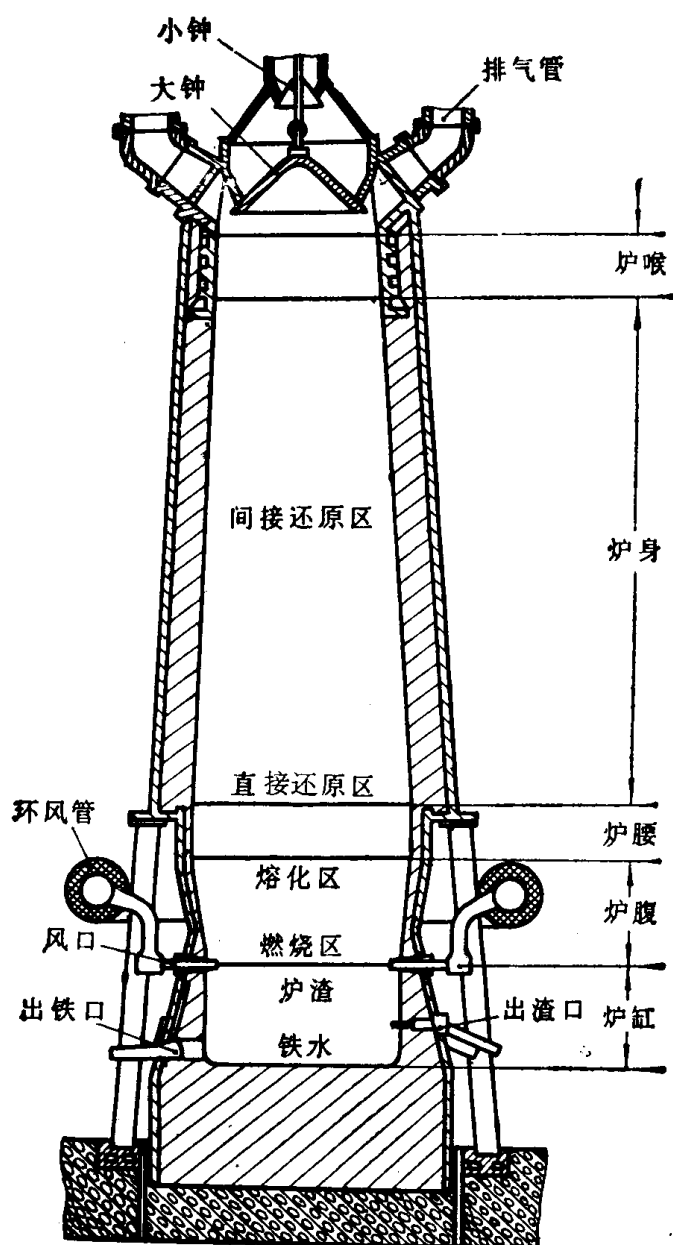


图 1-1 高炉构造示意图

烧不完全, 炉气中含有大量的 CO , 它是良好的还原剂。

2. 铁的氧化物还原和铁的增碳 铁的氧化物可借助于 CO 和固体碳来还原。前者称为间接还原, 后者称为直接还原。在低于 800°C 时几乎全部是间接还原, 高于 1000°C 时几乎全部是直接还原。还原后生成海绵状的金属铁, 称为海绵铁。海绵铁在下落过程中又从 CO 和固体碳中吸收碳素, 使其含碳量增加、熔点降低, 进入高温区即开始熔化。被还原出来的其它元素也不断溶入铁水, 从而炼成生铁。熔化后的铁水流入炉缸。

3. 硅、锰、磷氧化物的还原 SiO_2 比较稳定, 比铁、锰难还原, 因此, 只有少量的 SiO_2 被固体碳还原, 还原出来的 Si 溶入生铁。

MnO_2 为 CO 和固体碳所还原, 冶炼普通生铁时, 约有 $40\sim 60\%$ 的锰进入生铁。

磷在炉料中以磷酸钙 $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$ 的形式存在, 几乎全部为固体碳所还原后进入生铁。

4. 造渣与去硫 未被还原的 SiO_2 和 Al_2O_3 等氧化物,熔点都很高,它们与熔剂 CaO 结合生成熔点低、比重小的熔渣,在高温下,具有良好的流动性,能顺利地流入炉缸,浮在铁水表面。

硫主要来自焦炭,在炼铁过程中,一部分进入生铁,一部分与 CaO 结合生成 CaS 进入炉渣,还有一部分生成 SO_2 由炉气逸出。

三、高炉产品

高炉的主要产品是生铁。其中 80~90% 是炼钢生铁,含硅量为 0.6~1.75%; 10% 是铸造生铁,含硅量为 1.25~3.75%,是铸造车间的原料。此外,尚有少量用于炼制合金钢和炼钢脱氧剂的铁合金,如硅铁、锰铁、铬铁等。

高炉副产品有煤气和炉渣。煤气用于炼焦和各种加热炉。炉渣用于制造水泥和建筑材料。

§ 2 炼 钢

比较钢和生铁的成分可知,炼钢就是把生铁中的碳以及杂质 Si 、 Mn 、 P 、 S 等降低到钢所允许的含碳量。炼钢的基本过程是氧化,即将碳及杂质氧化成氧化物,并使之进入炉气或炉渣而去除。

炼钢的方法主要有转炉炼钢法和电炉炼钢法。

一、转炉炼钢法

转炉(图 1-2)呈圆筒形,外包以钢板,内砌耐火材料炉衬,可绕中轴旋转,以便加料和出钢。转炉容量一般在 200 t 以下,最大为 400 t。

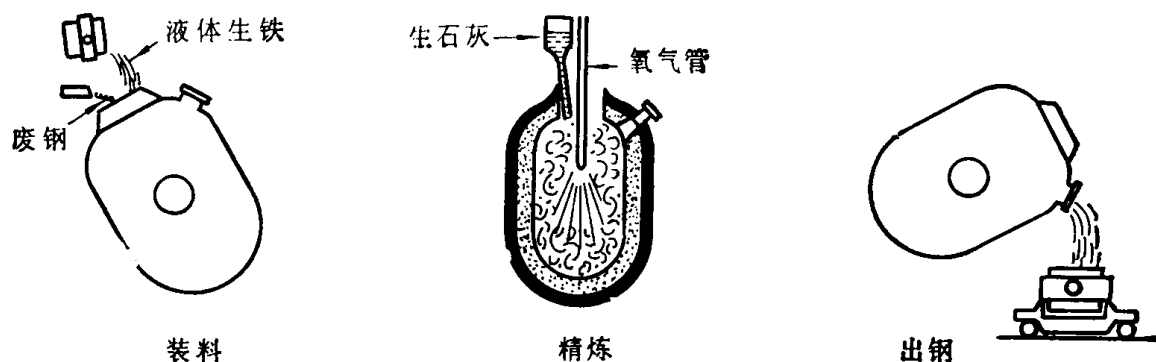


图 1-2 氧气顶吹转炉炼钢法

转炉炼钢的原料主要是液体生铁,由高炉供给,也加入少量的废钢和熔剂(石灰、萤石和白云石等)。

转炉炼钢法中以氧气顶吹碱性(用白云石和镁砂作耐火材料)炼钢法应用最广,碱性法能有效地除去硫和磷。氧气顶吹转炉的操作过程如图 1-2 所示。

加料时将炉体倾斜,然后转至吹炼位置,插入高压喷氧枪,向铁水表面喷氧。由于炉料中铁的浓度高,吹氧后大量的铁首先被氧化生成 FeO ,然后再通过 FeO 来氧化其它元素,这种间接氧化是炼钢的主要氧化方式。

FeO 与 Si 和 Mn 作用生成 SiO_2 和 MnO 进入炉渣。

FeO 与 C 作用生成 CO 从钢水中逸出,造成钢水的沸腾和强烈的搅拌作用,促使钢水中的气体和非金属夹杂物上浮,并使钢水温度和成分均匀。

磷是以 Fe_2P 的形式存在于铁中,与 FeO 作用后生成 P_2O_5 , P_2O_5 与 CaO 结合生成稳定的化合物 $\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5$ 进入炉渣。

硫是以 FeS 的形式存在于铁中,当 FeS 扩散进入炉渣后则与 CaO 作用生成 CaS ,稳定地存在于炉渣中。

在转炉炼钢过程中,由于各元素的氧化作用产生大量的化学反应热,使铁水温度升高,因此不需另加燃料。

由于氧化剧烈,升温快,吹炼只需15~25分钟。然后停止吹氧,抽出喷氧枪,转动炉体进行取样分析和测量炉温,当成分和温度都符合要求时即可出钢。

吹炼完毕后,钢水中仍留有大量的 FeO ,若不去除则使钢的塑性降低。因此,炼钢后期还必须进行脱氧。通常是在出钢时将脱氧剂锰铁、硅铁、纯铝等加入盛钢桶内,其中的 Mn 、 Si 、 Al 使 FeO 还原,脱氧产物 MnO 、 SiO_2 和 Al_2O_3 进入炉渣去除。从加料到出钢,整个操作过程,仅需40分钟左右。

转炉炼钢的生产率高,每小时产量为100~400 t,设备费用低,投产快,故已成为现代最主要的炼钢方法。

二、电炉炼钢法

常用的炼钢电炉是电弧炉,如图1-3所示。它是利用电极与炉料之间产生的高温电弧来进行加热熔炼的。炉体可以倾斜,以便排渣和出钢。

电炉炼钢的原料主要是废钢。另外再加入一定的生铁、铁矿石和石灰。矿石用来氧化杂质;石灰用来造碱性渣。

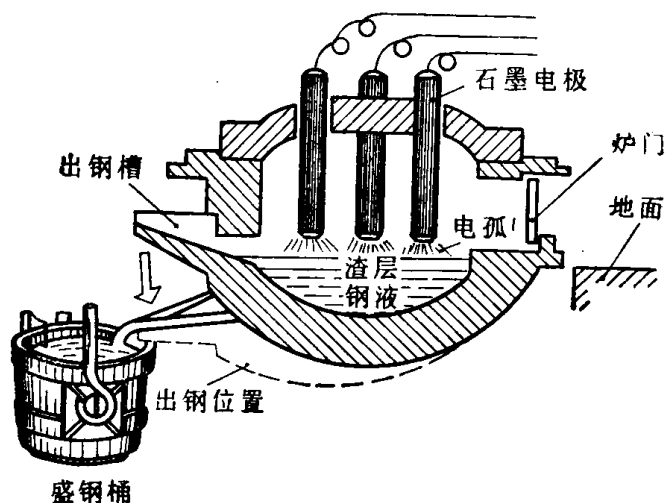
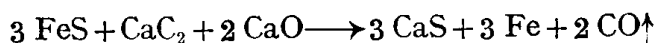
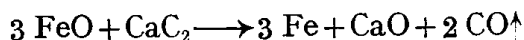


图 1-3 电弧炉炼钢示意图

熔炼的第一阶段是熔化期。熔化期占全部熔炼时间的一半左右。为了加速熔化和提高钢液温度,也可向炉内吹氧。在熔化过程中需加入一定的铁矿石和石灰,以保证渣有足够的碱度和氧化铁的浓度,从而有效地去磷。在熔化阶段杂质实际上已开始氧化。

待炉料全部熔化后,进入氧化期。氧化期的任务是进一步造渣去磷、脱碳和提高钢液温度。此时再加入石灰和铁矿石,以造高碱度的氧化渣。

此后进入还原期。还原期的任务是脱氧和去硫。氧化期结束后，应扒去全部含氧化铁很高的氧化渣，以免还原期回磷。然后加入石灰、萤石和焦炭粉以造还原渣。C 与 CaO 在高温的作用下在炉渣中生成 CaC_2 ， CaC_2 是强烈的还原剂，使钢液脱氧和去硫。



还原精炼是电炉炼钢的最大特点，可使钢中的含硫量降至 0.02~0.025%。

电炉温度高、并可精确控制；脱氧彻底，并能有效地去硫、去磷；合金元素损失小；因此适用于炼优质合金钢。

电炉容量大都在 3~100 t 之间，也有高达 300—400 t 的大型电炉。熔炼时间为 1.5~2.5 小时。

炼钢所得的钢水，除少数用来铸成铸件外，绝大部分浇注成钢锭。钢锭除少数用于锻造重型锻件外，绝大部分送往轧钢车间轧制各种钢材。钢锭的截面多为正方形和长方形。重量自几百公斤至几百吨。

根据脱氧程度不同，钢可分为镇静钢和沸腾钢两类，如图 1-4 所示。

镇静钢在冶炼过程中脱氧充分，浇注时钢水平静，凝固后组织致密，成分均匀，有较好的机械性能。但钢锭上部形成集中缩孔，使用时需切去，因而材料利用率低。

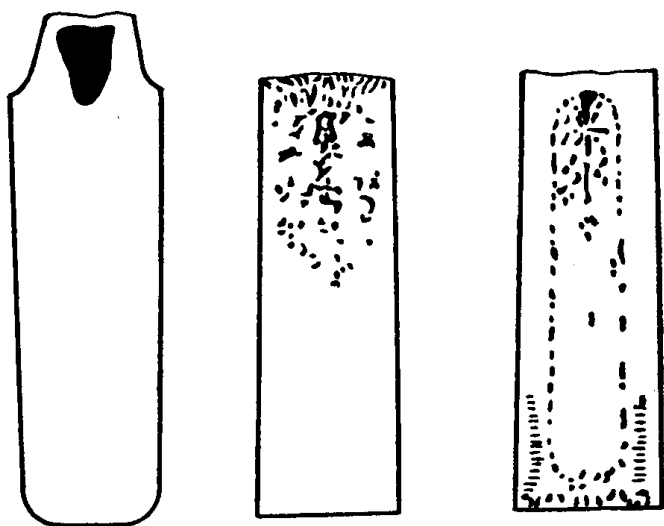


图 1-4 镇静钢、半镇静钢和沸腾钢钢锭

沸腾钢不要求完全脱氧，因而钢水中保留有溶解的 FeO ，浇入钢锭模后产生如下反应： $\text{FeO} + \text{C} \longrightarrow \text{Fe} + \text{CO} \uparrow$ 。CO 从钢水中逸出时，造成了钢水的沸腾现象。凝固后部分 CO 残留在钢锭内部，形成许多小气泡。因为气泡抵消了凝固收缩，所以，沸腾钢锭不产生集中缩孔，钢锭利用率高。而且节省了脱氧剂，故成本低。但成分偏析大，致密度差、机械性能不均匀、韧性差。一般用于制造不重要的机械零件。

沸腾钢都是低碳钢。

§ 3 钢材的生产

钢材包括型钢、钢板、钢管和钢丝四大类。

型钢的品种很多，截面为一般几何形状的型钢如图 1-5 所示。直径在 6.5~9 mm 的小型圆钢也称线材。

钢板厚度小于 4 mm 的称薄板，4~25 mm 的称中板，25 mm 以上的称厚板。

钢管分无缝管和焊接管两种，钢管截面一般为圆形，也有方形，六角形、扁的以及其他异型截面的钢管。

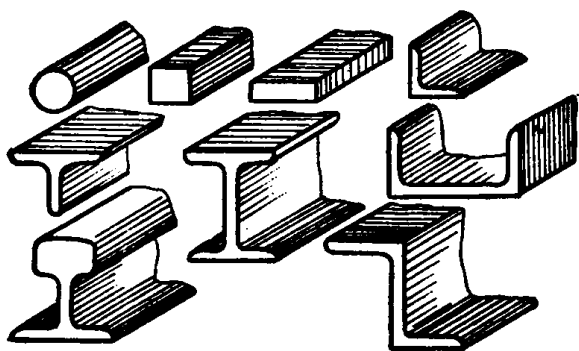


图 1-5 型钢

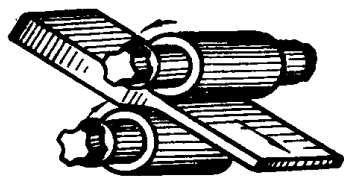


图 1-6 钢板的轧制

钢丝是线材的冷拉产品。其截面形状有圆的、扁的、三角的等。

钢材绝大部分是用钢锭经过轧制生产出来的。

一、轧钢

轧钢是使坯料在两个旋转着的轧辊之间受压变形的加工方法。轧钢最原始的坯料是钢锭。把钢锭轧成钢材,通常分为两个步骤:先进行初轧,将钢锭轧制成各种钢坯(方坯、扁坯、板坯等),然后再在不同的轧钢机上轧成各种类型的钢材。为减小变形抗力和提高塑性,一般都采用热轧。对于要求表面光洁、尺寸精确的钢材,则用冷轧。冷轧是在坯料热轧到一定尺寸后才进行的,如薄板的冷轧。

钢板采用平轧辊进行轧制(图 1-6);型钢是在一对组合成一定孔型的槽形轧辊间进行轧制的(图 1-7)。从简单截面形状的坯料轧成复杂截面的型钢,需要通过不同形状和尺寸的孔型,经过数道,甚至数十道的轧制,使其逐渐轧成所需要的型钢。

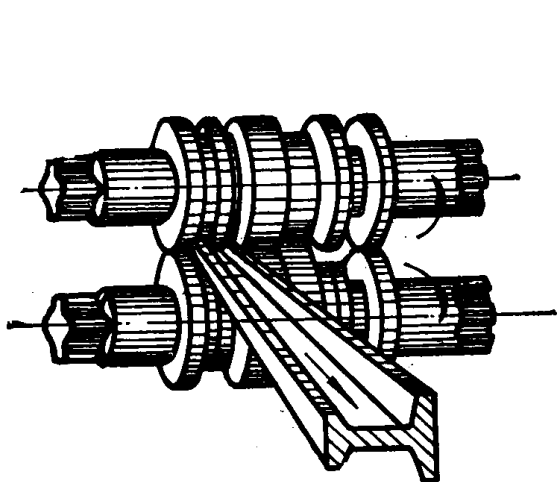


图 1-7 型钢的轧制

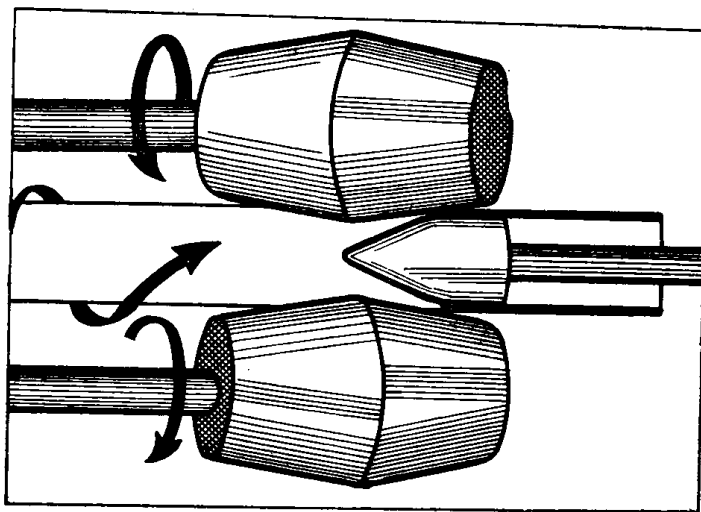


图 1-8 穿孔简图

无缝管的轧制需先进行穿孔(图 1-8),将实心的管坯轧制成空心的荒管,再将荒管轧成成品。穿孔是靠一对成一定角度布置的锥形轧辊和心塞头的作用来实现的。

焊接管是先将带钢卷成管坯,再经焊接而成。图 1-9 为螺旋缝焊管的生产过程示意图。

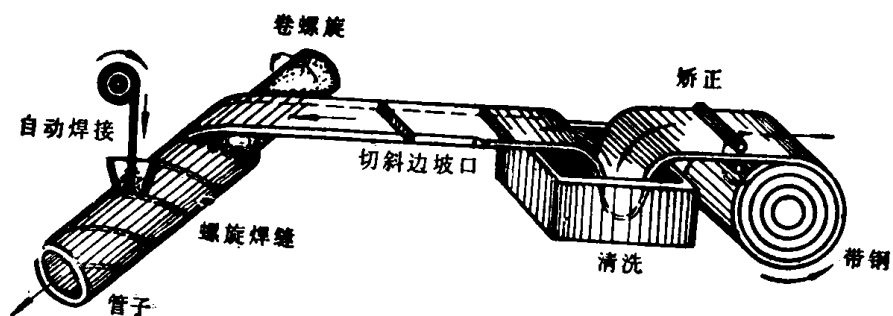


图 1-9 焊管生产过程示意图

二、拉制

拉制是将坯料拉过比原截面小的模孔，而使截面变细的加工方法，如图 1-10 所示。通常在室温下进行，故又称冷拔。拉制的坯料是热轧后的棒料、线材和管子。通常用于：

- (1) 生产直径小于 6.5 mm 的钢丝；
- (2) 生产薄壁管；
- (3) 生产异型截面的型材和管子(图 1-11)；

(4) 提高热轧棒料的精度，降低表面粗糙度，以减少切削加工。由于加工硬化的作用，同时也提高了金属的强度和硬度。

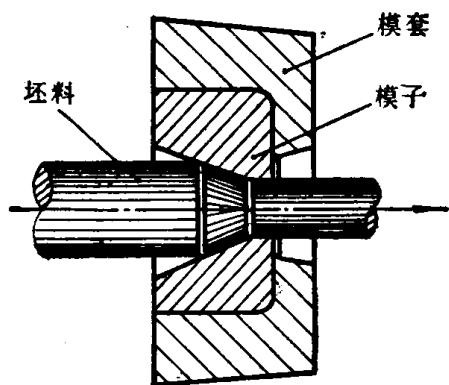


图 1-10 拉制简图

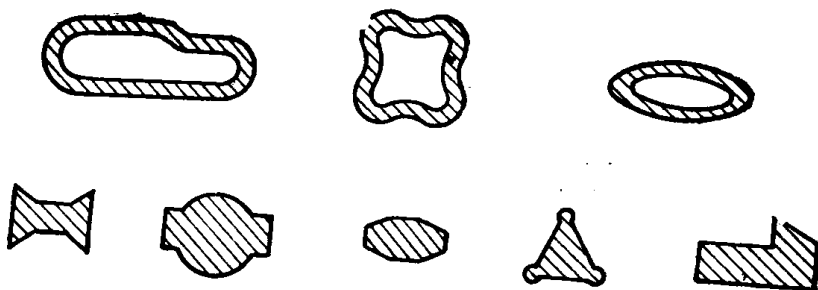


图 1-11 拉制产品的截面形状

复习思考题

- (1) 炼铁要用哪几种原料？各有何作用？
- (2) 炼铁的主要任务是什么？
- (3) 生铁中的碳、硅、锰、磷、硫是从哪里来的？
- (4) 炼钢的主要任务是什么？试比较氧气顶吹转炉炼钢和电弧炉炼钢。
- (5) 比较镇静钢和沸腾钢。
- (6) 钢材有几类？它们是如何生产出来的？
- (7) 拉丝通常用来生产哪些材料？

第二章 金属材料及热处理

金属材料是使用最广泛的工程材料,它具有良好的物理性能、化学性能、机械性能和工艺性能。

金属材料及热处理这一章主要是研究金属及合金的性能、成分、组织及其相互关系和变化规律,并为合理选用材料,充分发挥材料潜力,延长设备和零件的使用寿命,降低成本,以及正确的制订铸造、压力加工、焊接和切削加工等工艺规程,提高产品的质量和产量等,准备必要的金属材料知识。

§ 1 金属与合金的性能

金属及合金的统称为金属材料,它的性能包括机械、物理、化学和工艺性能。

一、机械性能

金属材料在外力的作用下表现出来的性能,如强度、硬度、弹性、塑性、韧性等称为金属材料的机械性能。

1. 强度

金属材料在外力的作用下抵抗变形和断裂的能力称为强度。按照外力性质不同,强度又可分为抗拉强度、抗压强度、抗剪强度和冲击韧性等。抗拉强度是最基本的强度指标。

抗拉强度通常采用静拉伸试验加以测定。先将被测的材料做成标准试棒(图 2-1, a),把它装在拉力试验机的夹头上,缓慢加载(静拉力)。逐渐增加拉力,试棒也变形伸长,直至拉断为止。每一瞬间的载荷 P 与变形量(伸长量) ΔL , 以及它们之间的关系均由试验机自动记录,并绘成拉伸曲线(图 2-2)。

拉伸曲线的 OE 段是直线,这时试棒只产生弹性变形,其特点是外力与变形量成正比;当

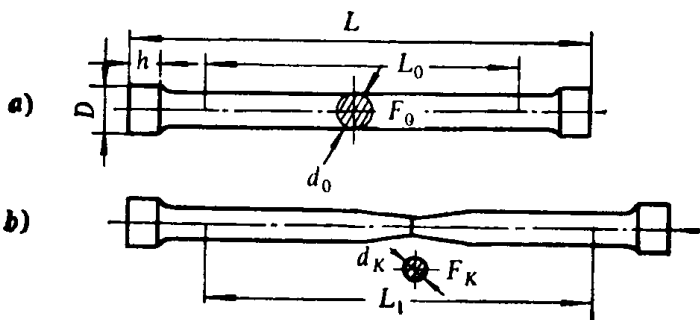


图 2-1 拉伸试棒

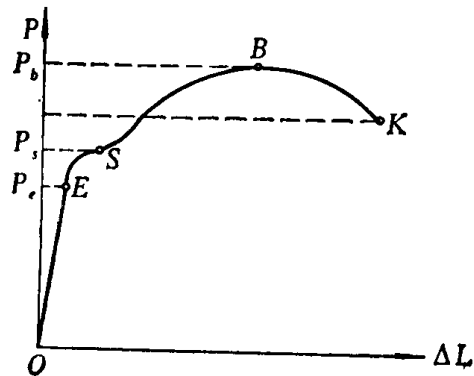


图 2-2 拉伸曲线

外力去除后,试棒将恢复到原来的长度。

过E点,即外力超过 P_e 时,试棒除发生弹性变形外,还发生塑性变形(永久变形)。此时若去掉外力,弹性变形的部分消失,塑性变形的部分保留,即试棒不能完全恢复到原有的长度。如拉力增加到 P_s ,曲线从S点开始呈水平段,即出现外力虽不再增加,而试棒却继续伸长的现象,称为“屈服”。屈服后,试棒开始有明显的塑性变形。

外力继续增加,到最大值 P_b 后,试棒某一部分变细,出现了“缩颈”,如图2-1,b)所示。以后变形集中在缩颈附近。由于截面缩小,继续变形所需的外力下降。外力达到 P_k 时,终于使试棒在缩颈处断裂。

如果用试棒的原始截面积 $F_0(\text{mm}^2)$ 去除拉力 $P(\text{N})$ 则得到应力 σ 。

$$\sigma = \frac{P}{F_0}$$

如果用试棒的原始长度 L_0 去除伸长量 ΔL ,则得到应变 ε 。

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

根据 σ 和 ε 则可画出应力—应变曲线,其形状与拉伸曲线相似,只是坐标不同而已。在应力—应变图上可直接读出材料承受静载荷下的强度指标。按照拉伸过程中出现的弹性变形、弹塑性变形及断裂等阶段,强度指标有弹性极限、屈服极限和强度极限。

(1) 弹性极限 材料在外力作用下,能保持弹性变形的最大应力,以 σ_e 表示。

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} (\text{MPa})$$

式中 P_e ——弹性极限载荷(N)。

(2) 屈服极限(屈服强度) 材料在外力作用下开始产生屈服时的应力,以 σ_s 表示。

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

式中 P_s ——屈服极限载荷(N)。

除低碳钢和中碳钢等少数合金有屈服现象外,许多金属材料没有明显的屈服现象。因此,对这些材料,规定以产生0.2%塑性变形时的应力作为屈服强度,以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

$$\sigma_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{F_0} (\text{MPa})$$

式中 $P_{0.2}$ ——产生0.2%残余变形时的载荷(N)。

机器零件在工作中一般是不允许产生塑性变形的,所以屈服强度是金属材料最重要的机械性能指标之一,是绝大多数零件设计时的依据。

脆性材料(如灰口铸铁)拉伸时几乎不发生塑性变形,不仅没有屈服现象,也不产生缩颈,断裂是突然发生的,最大载荷即是断裂载荷。

(3) 强度极限(抗拉强度) 材料在拉力的作用下,断裂时能承受的最大应力,以 σ_b 表示。

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

式中 P_b ——试样所能承受的最大载荷(N)。

抗拉强度是材料的主要性能指标，也是设计和选材的重要依据之一。

2. 塑性

断裂前材料发生塑性变形的能力叫做塑性。常用延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 来表示。

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

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

式中 L_0 ——试棒的原始长度(mm);

L_1 (参见图 2-1, b)——试棒拉断后的长度(mm);

F_0 ——试棒原始截面积(mm²);

F ——试棒断口处的截面积(mm²)。

δ 、 ψ 愈大, 表示材料的塑性愈好。良好的塑性是顺利地进行压力加工的重要条件。

3. 刚度与弹性模数

刚度是金属材料抵抗弹性变形的能力。刚度的大小常用弹性变形范围内应力与应变的比值——弹性模数 E 来表示。它相当于引起单位弹性变形时所需的应力。在拉伸曲线上表现为 OE 线段的斜率。 E 愈大, 表明在一定的应力作用下产生的弹性变形愈小, 亦即刚度愈大。

一般, 零件都在弹性变形状态下工作。对于要求弹性变形小的零件, 如柴油机曲轴、精密机床主轴等, 则应选用刚度大, 即弹性模数 E 大的材料。钢在室温下的 E 值一般在 $1.9 \times 10^5 \sim 2.2 \times 10^5$ MPa。

4. 冲击韧性

材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧性, 简称韧性。

不少机器零件在工作时要承受冲击载荷, 如火车挂钩、锻锤的锤头和锤杆、冲床的连杆和曲轴、锻模、冲模等。对于这些零件, 如果仍用静载荷作用下的强度指标来进行设计计算, 就很难保证零件工作时的安全性, 必须根据材料的韧性来设计。

韧性的大小是以材料受冲击破坏时单位面积上所消耗的能量来衡量的。工程上通常用摆

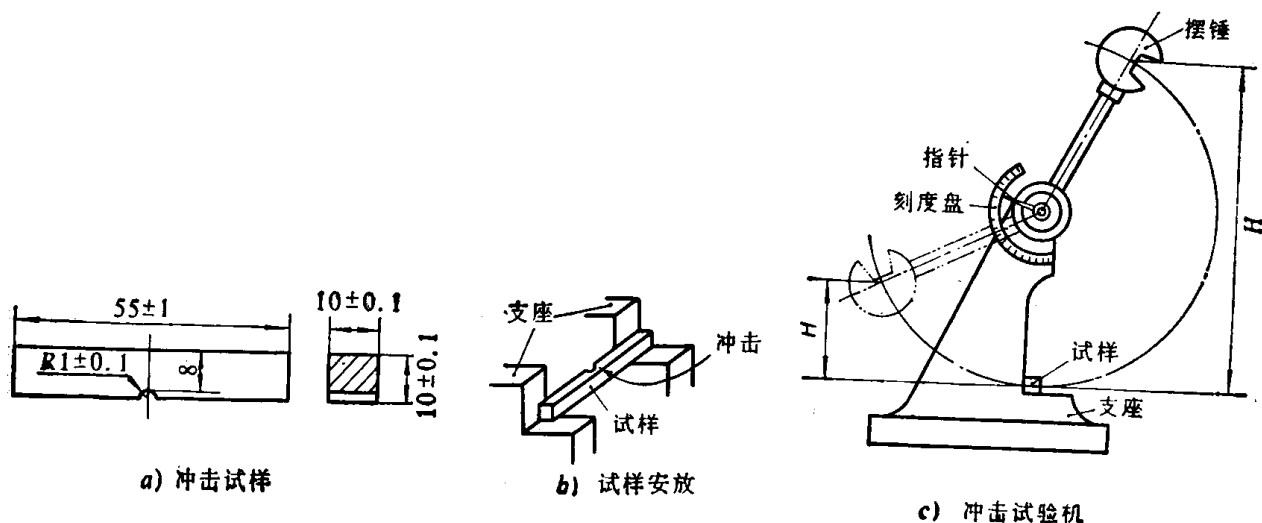


图 2-8 摆锤式冲击试验

锤一次冲击试验加以测定,其原理如图(2-3,c)所示。

将被测材料按标准尺寸做成试样(图 2-3,a),按图将试样放在试验机支座上(图 2-3,b),使具有重量为 G 的摆锤自高度 H_1 处落下,冲断试样,此时,摆锤对试样所做的功为 $A_K = G(H_1 - H_2)$,单位为 J。 A_K 除以试样断口处的截面积 $F(\text{cm}^2)$,即得冲击韧性 a_K 。

$$a_K = \frac{A_K}{F} (\text{J}/\text{cm}^2)$$

冲击韧性的大小除了取决于材料本身外,还受试样的尺寸、缺口形状和试验温度等因素的影响,使用时一定要注意试样的型式和试验条件。

(1) 布氏硬度试验 布氏硬度试验如图 2-4 所示。它是用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球,以相应的试验力 P 压入被测材料表面,经规定的保持时间后,卸除试验力,测量出材料表面的压痕直径 d ,求出压痕的表面积 F 。布氏硬度值乃是试验力除以压痕的球形表面积所得的商。

$$\text{布氏硬度} = \frac{P}{F} = \frac{P}{\pi D h} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

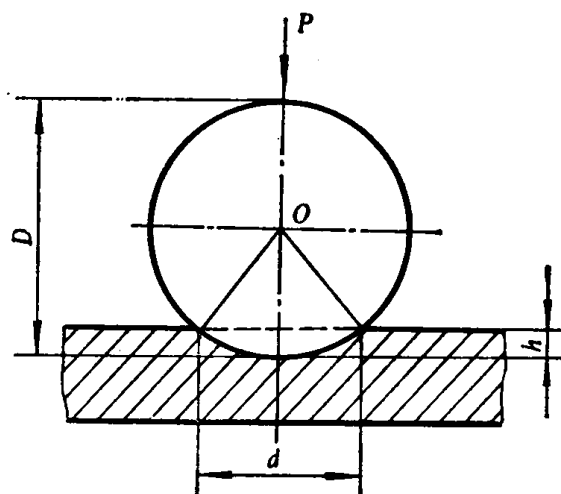


图 2-4 布氏硬度试验示意图

实际上并不需要计算,而是根据所测直径 d ,通过查布氏硬度表,即可求得硬度值。布氏硬度的单位是 $\text{kg}\cdot\text{f}/\text{mm}^2$,但习惯上不予标注。

按国家标准规定,以淬火钢球为压头时,用符号 HBS 表示,以硬质合金球作压头时,用符号 HBW 表示。前者用于测量硬度小于 450 的金属,如经退火、正火和调质处理的钢材以及有色金属及灰铸铁等,后者用于测量硬度小于 650 的金属。

布氏硬度试验测量准确、稳定,但压痕较大,不适合成品检验。目前主要用于以淬火钢球作压头来测量较软的金属材料。

(2) 洛氏硬度试验 洛氏硬度试验是用一定的载荷将顶角为 120° 的金刚钻锥体或 $\phi 1.588 \text{ mm}$ 的淬火钢球压入试样,然后根据压痕的深度来确定硬度值。实用上洛氏硬度值可从硬度计刻度盘上的指针显示出来,而无需测量压痕深度。

为了使洛氏硬度计能测量从软到硬较大范围的材料硬度,采用了不同的压头和载荷,形成了不同的洛氏硬度标度,分别以 HRA(用金刚钻锥体作压头,载荷为 600 N)、HRB(用钢球作压头,载荷为 1000 N)、HRC(用金刚钻锥体作压头,载荷为 1500 N)来表示,其中以 HRC 应用最广。

洛氏硬度试验法测量简单、迅速,压痕小,可测薄试样和硬材料。但由于压痕小,当材料内部组织不均匀时,则测量的硬度代表性及重现性差。

除布氏、洛氏硬度外，还有维氏硬度试验 HV、肖氏硬度试验 HS 及显微硬度试验等。工程上为了实用需要，制订了一些硬度之间的换算关系表格，以供查用。

硬度也是重要的机械性能指标，它影响到材料的耐磨性。一般说来，硬度愈高，耐磨性也愈好。

硬度和强度一样，都反映了材料对塑性变形的抗力，因此，强度愈高，硬度也愈高。

实践表明，一些材料的布氏硬度 HBS 和强度极限 σ_b 之间存在着近似关系。例如，对于普通碳素钢、普通低合金钢和调质钢，其近似关系为 $\sigma_b \approx 0.35 \text{ HBS}$ 。因此，可以根据 HBS 粗略地估算出材料的 σ_b 。

鉴于硬度测定简单易行，且不破坏零件，因此，生产中常通过测定硬度来检查热处理零件的机械性能。

6. 疲劳强度

很多零件在工作过程中受到方向、大小反复变化的交变应力的作用，如轴、弹簧、齿轮、滚动轴承等。在交变应力的长期作用下，零件会在远小于强度极限，甚至小于屈服极限的应力下断裂，即疲劳断裂。它与静载荷下的断裂不同，无论是塑性材料还是脆性材料，断裂都是突然

发生的，之前并没有明显的塑性变形，因此具有很大的危险性。据统计，在承受交变应力作用的零件中，大部分是由于疲劳而损坏的。

交变应力 σ 与断裂前应力循环次数 N 之间的关系通常用疲劳试验得到的疲劳曲线来描述，如图 2-5 所示。

曲线表明，当应力低于某一值时，材料可经受无限次应力循环而不断裂，此应力值叫做疲劳强度或疲劳极限。当应力循环对称时，疲劳极限用 σ_{-1} 表示。一般规定对钢铁材料零件，如 N 达 10^7 次，仍不发生疲劳断裂，就可认为能经受无限次应力

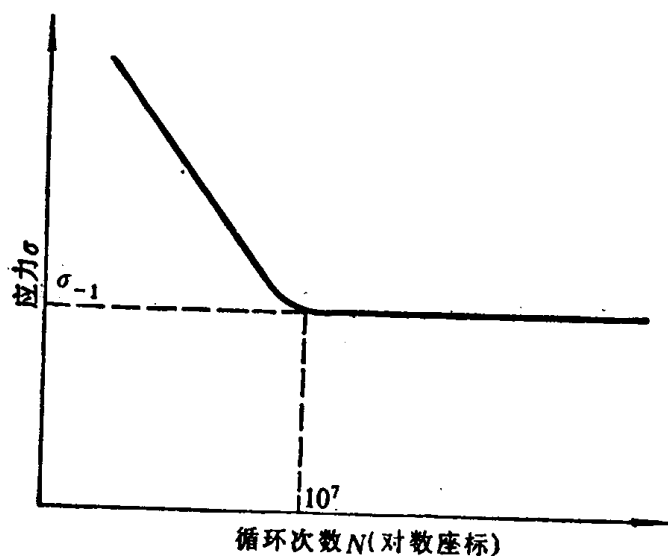


图 2-5 疲劳曲线示意图

循环而不发生疲劳断裂。对有色金属零件 $N=10^8$ 次。

此外，耐磨性也是金属材料的一种重要性能。它表征材料在工作过程中承受磨损的耐久程度。很多机器零件因磨损而失去原有的精度，使用性能下降，从而影响机器的寿命。材料的耐磨性与硬度、表面粗糙度、摩擦系数、载荷大小和运动速度等因素有关。用热处理或在钢中加入合金元素的方法可提高钢的硬度和耐磨性。

二、物理性能与化学性能

金属的物理性能如比重、熔点、热膨胀性、导热性、导电性和磁性等。由于机器零件的用途不同，对物理性能的要求也有所不同。例如，飞机零件应选用比重小的材料来制造；制造电机、