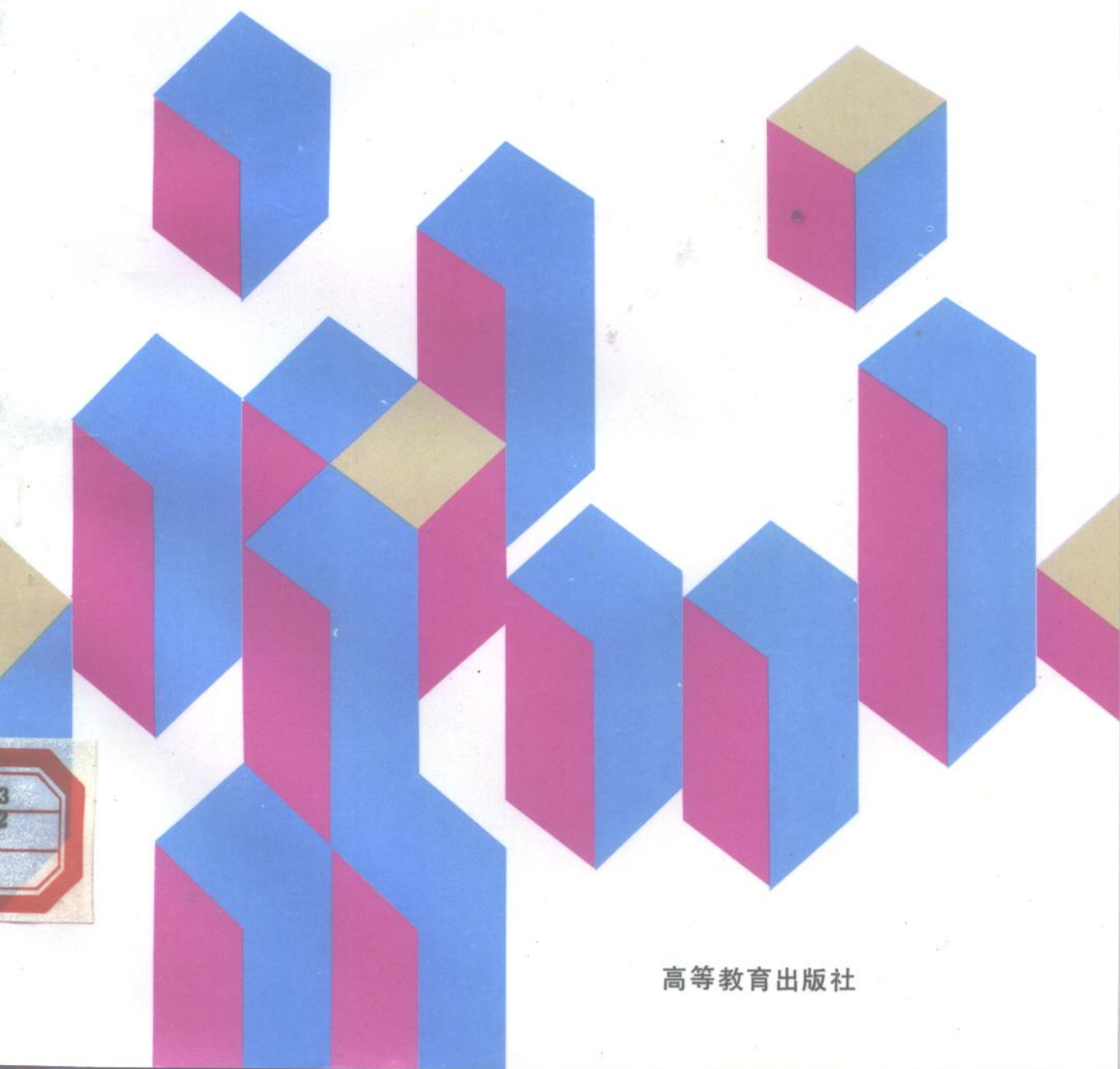


高等学校教材
(非机械类专业用) 第二版

金属工艺学

实习教材

同济大学金属工艺学教研室编



高等教育出版社

TG-43

T79-2

(2)

高等学校教材

金属工艺学实习教材

(非机械类专业用)

第二版

同济大学金属工艺学教研室 编

10

高等教育出版社

(京)112号

内 容 提 要

本书是在总结第一版实践经验和兄弟院校使用意见的基础上,根据国家教委批准印发的非机械类专业“金工实习教学基本要求”,并考虑高等工程教育改革和发展的需要而修订的。

本书保持了第一版的体系和特色,内容上作了增删和改写,增强了基础理论、基本知识和常用加工方法。

全书共分六章:机械工程材料,铸造,锻压,焊接,机械加工,钳工等。

本书经高等学校工程材料及机械制造基础课程教学指导小组审查通过,可作为高等工业学校非机械类专业金属工艺学实习教材用,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学实习教材/同济大学金属工艺学教研室编.
2版. —北京:高等教育出版社,1992.4(1999重印)
高等学校教材
ISBN 7-04-003819-6

I.金… II.同… III.金属加工-实习-高等学校-教材
IV.TC-45

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第00463号

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街55号 邮政编码 100009
电 话 010-64054588 传 真 010-64014048
网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 北京金顺印刷厂

开 本 787×1092 1/16 版 次 1984年10月第1版
印 张 10.5 1992年4月第2版
字 数 238 000 印 次 1999年8月第9次印刷
定 价 9.00元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

第二版序

本教材是在第一版的基础上，以国家教委 1987 年批准印发的非机械类专业“金工实习教学基本要求”为指导思想，总结第一版使用的实践经验和兄弟院校的意见，并考虑高等工程教育改革和发展的需要而修订的。

修订版保持了第一版的体系和特色，与第一版相比，在内容上主要作了以下的增删和改写：

(1) 根据“金工实习教学基本要求”，为了开设专题报告或课堂讲授，增加了部分基础理论、基本知识及常用加工方法。在工程材料中补充了金属学基础知识、非金属材料及材料的选择；锻压中增加了压力加工原理基本知识；焊接中增加了焊接质量及其控制；切削加工中加强了切削原理基础知识，并适当补充了一部分常用的工艺方法、微机控制车床及机械加工工艺流程的概念。这样不仅能满足专题讲授的需要，也能在理论指导下便于学生操作，有利于学生掌握操作技能。

(2) 删去了一些次要的工艺内容和操作方法，其中有些内容以观察与思考题的形式，给学生以启示，使学生带着问题实习或通过参观、技工示范等环节学习和掌握有关知识。

(3) 采用了国家已颁布的新标准、名词和符号。

参加本版教材修订工作的有：孙鼎伦（兼主编）、钱增新、陈全明、张庆云、李金伯等同志。

本书修订稿由广东机械学院王世平（主审）、西安交通大学范全福同志审阅，并经工程材料及机械制造基础课程教学领导小组复审通过。他们提出了许多宝贵意见和建议，提高了本教材的质量，在此表示衷心的感谢。

由于我们实践经验不足，修订工作做得还很不够，缺点和不妥之处，敬希读者批评指正。

编 者

1991.7.

目 录

| | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 第一章 机械工程材料 1 | 第四节 常用金属的焊接75 |
| 第一节 金属材料的机械性能..... 1 | 第五节 焊接质量及其控制76 |
| 第二节 金属学基础知识..... 4 | 第六节 焊接结构工艺性79 |
| 第三节 热处理的概念..... 9 | 第五章 机械加工81 |
| 第四节 常用金属材料.....12 | 第一节 金属机械加工的基础知识.....81 |
| 第五节 工程塑料.....18 | 第二节 车削加工.....92 |
| 第六节 机械工程材料的选择.....19 | 第三节 钻削与镗削..... 109 |
| 第二章 铸造22 | 第四节 刨削、插削与拉削..... 114 |
| 第一节 砂型铸造工艺.....23 | 第五节 铣削加工..... 121 |
| 第二节 铸铁的熔炼及浇注.....35 | 第六节 磨削加工..... 130 |
| 第三节 常见的铸造缺陷及产生原因.....37 | 第七节 机械加工方法的选择及工艺 |
| 第四节 特种铸造.....39 | 过程的概念..... 134 |
| 第五节 铸件的结构工艺性.....42 | 第八节 机械加工零件结构的工艺性..... 138 |
| 第三章 锻压45 | 第六章 钳工 141 |
| 第一节 压力加工原理的基本知识.....46 | 第一节 划线..... 141 |
| 第二节 金属的加热.....48 | 第二节 凿削..... 145 |
| 第三节 锻造.....50 | 第三节 锯切..... 147 |
| 第四节 冲压.....58 | 第四节 锉削..... 148 |
| 第四章 焊接61 | 第五节 攻丝和套扣..... 150 |
| 第一节 手工电弧焊.....61 | 第六节 刮削..... 152 |
| 第二节 气焊和气割.....68 | 第七节 操作示例..... 154 |
| 第三节 其它常用焊接方法简介.....72 | 第八节 装配..... 158 |

第一章 机械工程材料

目的要求

- (1) 了解常用金属材料和工程塑料的种类、牌号、性能和用途。
- (2) 了解退火、正火、淬火、回火的目的和方法。
- (3) 进行一种或两种热处理操作。

选用机械工程材料是否合适,对机械设备的可靠性和使用寿命有直接影响,与机械设备的制造工艺、成本和生产率也密切相关。作为一名工程技术人员,凡从事机械设备的设计、制造、使用或维修,都必须了解材料的性能、牌号及其用途,才能正确地选用。本章主要介绍常用的金属材料,对近年来应用较多的工程塑料亦作扼要阐述。

第一节 金属材料的机械性能

金属材料的机械性能是指金属材料在外力作用下表现出来的性能,如强度、塑性、硬度和冲击韧性等。

一、强度

强度是金属材料在外力作用下,抵抗塑性变形或断裂的能力。

为了测定金属材料的强度,可进行拉伸试验。首先将标准拉伸试样(图 1-1)夹持在拉伸试验机的两个夹头中,然后逐渐增加载荷,直至试样被拉断为止。

把试样所受的载荷(F)和试样相应的伸长量(Δl)绘成曲线,称为拉伸曲线。图 1-2 为低碳钢的拉伸曲线。在 oe 范围内,当外力去除后,试样恢复原长,表明材料处于弹性变形阶段;

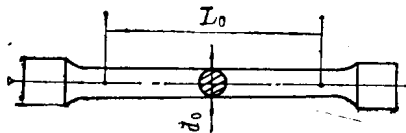


图 1-1 标准拉伸试样

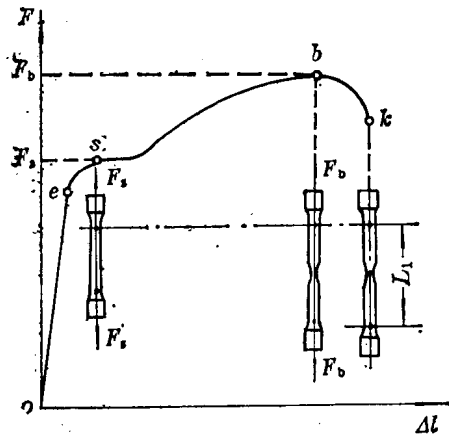


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

超过 e 点,材料除产生弹性变形外,还有塑性变形,即外力去除后,试样不能恢复原长,尚有部分伸长量残留下来。 s 点开始出现水平线段,表示外力虽未增加,而试样继续伸长,这种现象称为屈服。此后,欲使试样继续伸长,又需增加外力,达到 b 点后试样出现局部变细的缩颈现象。由于试样截面缩小,继续变形所需的外力开始减小,直到 k 点,试样在缩颈处断裂。

强度通常以应力的形式来表示。当材料受外力作用而未被破坏时,其内部产生与外力相平衡的抵抗力(即内力)。单位截面积上的内力,称为应力。

常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度。

(一)屈服强度(σ_s)

指材料在载荷保持不变而变形继续增加,即产生屈服现象时的应力:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (\text{MPa})$$

式中 F_s ——试样产生屈服现象时的载荷(N);

A_0 ——试样原来的横截面积(mm^2)。

由于许多金属材料(如高碳钢、铸铁等)没有明显的屈服现象,工程中规定产生 0.2% 塑性变形时的应力,称为条件屈服强度($\sigma_{0.2}$)。

(二)抗拉强度(σ_b)

指材料在断裂前能承受的最大应力:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (\text{MPa})$$

式中 F_b ——试样在断裂前的最大载荷(N);

A_0 ——试样原来的横截面积(mm^2)。

对于大多数机械零件,工作时不允许产生塑性变形,所以屈服强度是零件设计的主要参数;而对于因断裂而失效的零件,则用抗拉强度作为零件设计的主要参数。

二、塑性

塑性是金属材料在外力作用下,产生永久变形而不破坏的性能。常用的塑性指标有延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 。

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

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

式中 L_0 ——试样原来的标距长度(mm);

L_1 ——试样拉断后的标距长度(mm);

A_0 ——试样原来的横截面积(mm^2);

A_1 ——试样断裂处的横截面积(mm^2)。

同样材料用不同长度的试样测得的延伸率数值不同，应分别标以不同符号。用长试样 ($L_0=10d_0$) 测得的延伸率，以 δ_{10} 表示，通常简写成 δ ；用短试样 ($L_0=5d_0$) 测得的延伸率，以 δ_5 表示。在比较不同材料的延伸率时，应采用同样规格的试样。由于测定 δ 比较方便，一般情况下用 δ 作为塑性指标。

金属材料的塑性好坏，对零件的加工和使用具有重要意义。塑性好的材料能顺利地进行锻压、轧制等成形工艺；使用时万一超载，由于产生塑性变形，不致立即断裂。因此，大多数零件除要求具有较高强度外，还必须具有一定塑性，一般 δ 达到 5% 或 ψ 达到 10% 已能满足使用要求。过高地追求材料的塑性指标，将导致强度降低，是不恰当的。

三、硬度

硬度是金属材料抵抗硬物压入的能力。

常用的硬度表示法有布氏硬度(HBS 或 HBW)和洛氏硬度(HRC)两种。

(一)布氏硬度(HBS 或 HBW)

布氏硬度测定(图 1-3)是用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球，在规定载荷 F 作用下，压入试样表面并保持一定时间，然后卸除载荷，在试样上留下直径为 d 的压痕，以压痕单位球面积上所承受载荷的大小，作为试样的硬度值。布氏硬度值的单位为 $\text{kgf}\cdot\text{mm}^{-2}$ ，通常只标其数值而不注明单位。布氏硬度值可按试验时压痕直径 d ，直接查表得出。

根据 GB231—84 《金属布氏硬度试验方法》规定，硬度值写在布氏硬度符号前。当压头用淬火钢球时，符号为 HBS；压头用硬质合金球时，符号为 HBW。淬火钢球压头用于测定较软的金属材料 (<450 HBS)，如灰铸铁、有色金属及经过退火、正火和调质处理的钢材。测定较硬的金属材料 (>450 HBS)，可用硬质合金球压头。

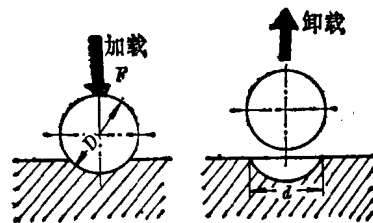


图 1-3 布氏硬度测定示意图

(二)洛氏硬度(HRC)

洛氏硬度(HRC)测定是用顶角为 120° 的圆锥形金钢石压头压入试样，根据压痕深度，可从硬度计刻度盘上直接读出洛氏硬度值。其应用范围为 HRC 20~67。

与布氏硬度比较，洛氏硬度测定简便迅速，但由于压痕较小，对组织不均匀的材料，测量误差较大。

洛氏硬度和布氏硬度在数值上有以下近似关系：

$$\text{HRC} \approx \frac{1}{10} \text{HBS}$$

由于硬度测定简便易行，在不破坏产品的情况下就能进行，而且硬度值和其它机械性能指标(如抗拉强度)有一定的关系，所以在零件的技术条件中常标注硬度要求。

四、冲击韧性

有些机械零件(如汽车上的齿轮、起重机吊钩等)在使用过程中, 经受较大冲击载荷作用, 从而产生比静载荷作用大得多的应力和变形。因此, 对承受冲击载荷的零件, 不仅要有较高的强度, 还必须具有足够的韧性。金属材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力, 称为冲击韧性。

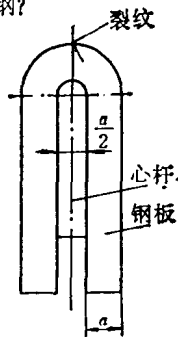
冲击韧性的测定是在冲击试验机上, 用一定高度的摆锤落下将试样冲断, 测出冲断试样所需的冲击功 A_{KV} , 单位为 J, 再用试样断口处截面积 $A(\text{cm}^2)$ 去除, 所得的商值, 即为冲击韧性值

$$a_{KV} = \frac{A_{KV}}{A} \quad (\text{J}/\text{cm}^2)$$

〔观察与思考〕

1-1-1 已知某钢材的 $\sigma_s = 240\text{MPa}$ 、 $\sigma_b = 400\text{MPa}$, 在 $\phi 20\text{mm}$ 的拉杆上分别承受以下的拉力: $F_1 = 5 \times 10^4\text{N}$; $F_2 = 1 \times 10^5\text{N}$; $F_3 = 1.5 \times 10^5\text{N}$ 。试问会产生什么现象?

1-1-2 用中碳钢板弯成 U 形(见图 1-1-2), 结果在钢板外侧出现裂纹, 试问这是由于哪个机械性能指标低而造成的? 为避免钢板开裂, 应选用何种钢?



题图 1-1-2

1-1-3 为什么零件图上通常标注硬度值, 而不标注其它机械性能指标?

第二节 金属学基础知识

一、金属的晶体构造

一切固态物质按其原子排列情况, 可分为非晶体和晶体两种。非晶体的原子呈无规则排列, 如塑料、玻璃、松香等; 晶体的原子呈有规则排列, 如食盐、石墨和金属及其合金等。

晶体中原子的排列情况可用 X 射线分析等方法测定。晶体中最简单的原子排列如图 1-4 a) 所示。为了便于描述晶体中原子排列的规则, 把每个原子看成一个点, 把这些点用假想线连接起来, 便形成一个空间格子, 称为晶格, 如图 1-4 b) 所示。晶格中的每个点称为结点。组成晶格的最基本单元称为晶胞, 如图 1-4 c) 所示。

金属的晶格类型很多, 最常见的有体心立方晶格和面心立方晶格两种:

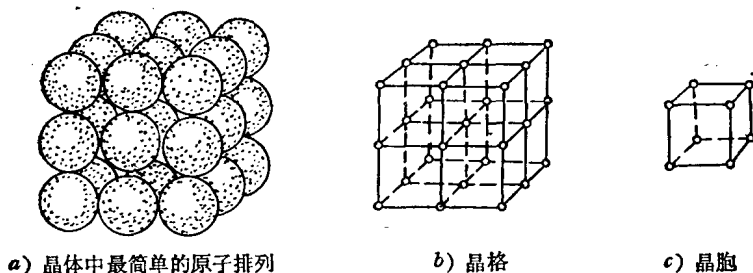


图 1-4 晶体构造示意图

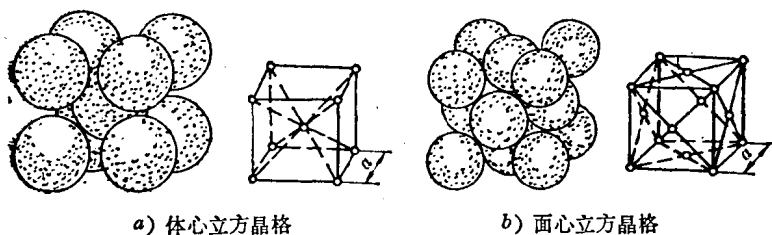


图 1-5 最常见的金属晶格类型

(1) **体心立方晶格** 它的晶胞是一个立方体，原子分布在立方体的各结点和中心处，如图 1-5 a) 所示。属于这种晶格类型的金属有铬、钼、钨、 α 铁(温度在 912°C 以下的纯铁)等。

(2) **面心立方晶格** 它的晶胞也是一个立方体，原子分布在立方体的各结点和各面的中心处，如图 1-5 b) 所示。属于这种晶格类型的金属有铝、铜、镍、 γ 铁(温度在 $1394\sim 912^{\circ}\text{C}$ 的纯铁)等。

金属的晶格类型不同，其性能随之不同。例如，同样是铁元素，面心立方晶格的 γ 铁比体心立方晶格的 α 铁具有较好的塑性。

二、铁碳合金状态图

合金是在一种金属元素基础上，加入其它元素，组成具有金属特性的新材料。例如，钢铁是以铁为基础的铁碳合金。

铁碳合金状态图是研究铁碳合金的含碳量、温度和组织之间的关系。

(一) 纯铁的同素异晶转变

金属在固态时晶格类型随温度升降而发生变化的现象，称为同素异晶转变。

纯铁在 1538°C 凝固后呈体心立方晶格(称为 δ 铁)；当温度降至 1394°C ，原子重新排列成面心立方晶格(称为 γ 铁)；继续冷却到 912°C 时，纯铁又呈体心立方晶格(称为 α 铁)。

由于纯铁在不同温度时具有不同晶格类型，对碳和合金元素的溶解能力不同，因此通过加热和冷却的方法(热处理)，可以改变其组织，从而达到改善性能的目的。

(二) 铁碳合金的基本组织

铁碳合金有以下五种基本组织：

1. 铁素体

铁素体是碳在 α 铁(α -Fe)中的固溶体^①,用符号 F 表示。由于 α 铁中溶解的碳很少(20°C时仅为0.0008% C),故铁素体的性能接近纯铁,即 $\sigma_b=230$ MPa, HBS=80, $\delta=50\%$, $a_{KU}=160\sim 200$ J/cm²。

图 1-6 为在金相显微镜下观察到的铁素体组织。

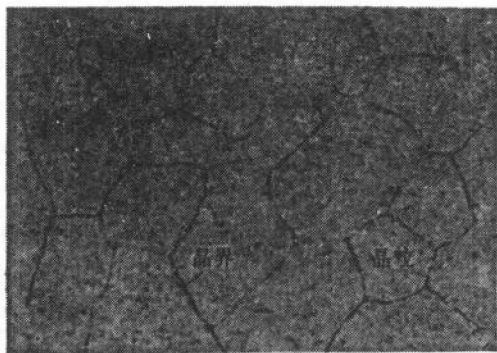


图 1-6 铁素体的显微组织

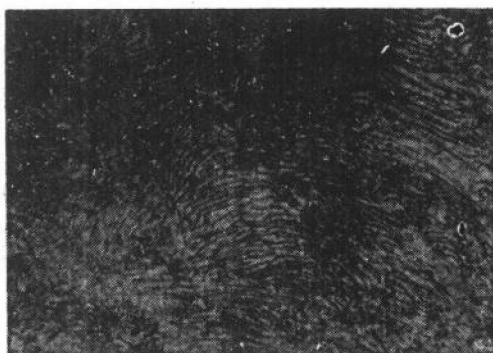


图 1-7 珠光体的显微组织

2. 奥氏体

奥氏体是碳在 γ 铁(γ -Fe)中的固溶体,用符号 A 表示。奥氏体通常在高温(>727 °C)时存在,其强度、硬度不高,塑性很好,故绝大部分钢材锻压前都要加热到奥氏体状态。

3. 渗碳体

渗碳体是碳和铁的化合物,其分子式为 Fe_3C ,含碳量为6.69%。渗碳体是一种硬而脆的组织,几乎没有塑性。渗碳体在一定条件下可分解为铁和石墨,这对铸铁有重要的意义。

4. 珠光体

珠光体(图 1-7)是铁素体和渗碳体呈片状交替排列的机械混合物,用符号 P 表示,其含碳量为0.77%。珠光体具有良好的机械性能,强度、硬度较高,并有一定的塑性和韧性,如 $\sigma_b=750$ MPa, HBS=180, $\delta=20\sim 25\%$, $a_{KU}=30\sim 40$ J/cm²。

5. 莱氏体

莱氏体是珠光体和渗碳体的机械混合物,用符号 $L'd$ 表示。莱氏体的含碳量为4.3%,以渗碳体为基体,故其性能接近渗碳体,也是一种硬而脆的组织。

(三)铁碳合金状态图分析

铁碳合金状态图表示不同成分的铁碳合金在不同温度时具有的组织状态。这种组织是在极其缓慢的加热和冷却条件下获得的,接近于平衡状态,故又称铁碳合金平衡状态图。

为了便于教学,将铁碳合金状态图进行简化,即略去 δ 铁的转变和铁素体的成分变化。图 1-8 为经简化后的铁碳合金状态图。

铁碳合金状态图的纵坐标表示温度,横坐标表示合金成分中的含碳量。当含碳量为6.69%

① 某种元素的晶格中溶入其它元素原子组成的均匀固体称为固溶体。

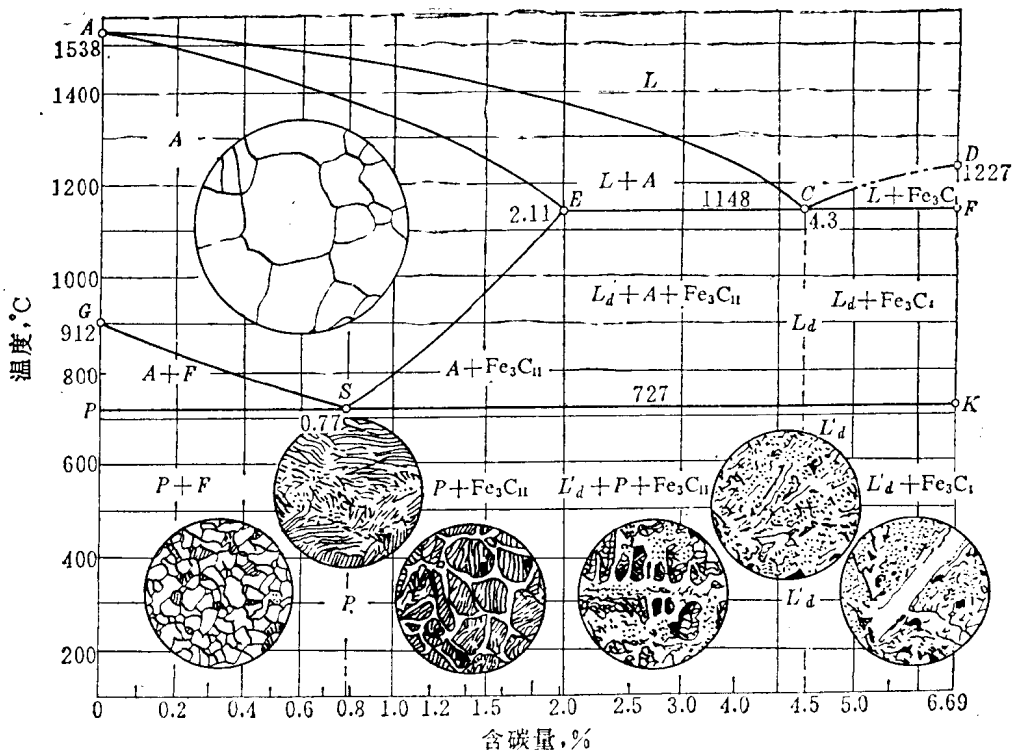


图 1-8 铁碳合金状态图

时,铁和碳全部化合成 Fe₃C。这部分铁碳合金状态图实际上是 Fe-Fe₃C 状态图。

铁碳合金状态图中主要点的含碳量、温度和意义,如表 1-1 所示。

表 1-1 铁碳合金状态图中各主要点的含碳量、温度和意义

| 符号 | 含碳量(%) | 温度(°C) | 意义 |
|----|--------|--------|---|
| A | 0 | 1538 | 纯铁的熔点 |
| D | 6.69 | 1227 | 渗碳体的熔点(理论计算值,因此 CD 线采用双点划线) |
| C | 4.3 | 1148 | 共晶点, $L \rightleftharpoons A + Fe_3C$ |
| E | 2.11 | 1148 | 碳在 γ 铁中的最大溶解度 |
| G | 0 | 912 | α -Fe \rightleftharpoons γ -Fe 的同素异晶转变点 |
| S | 0.77 | 727 | 共析点, $A \rightleftharpoons F + Fe_3C$ |

铁碳合金状态图中几条主要线的意义介绍如下:

ACD——液态线。此线以上合金呈液态,用符号 L 表示。液态铁碳合金冷却到此线开始结晶,在 AC 线以下结晶出奥氏体;在 CD 线以下结晶出渗碳体,称为一次渗碳体,用符号 Fe₃C_I 表示。

AECF——固态线。此线以下的合金全部呈固态。

ECF——共晶线。合金冷却到此线时,将在恒温(1148°C)下进行共晶反应,生成莱氏体。

ES——碳在 γ 铁中的溶解度变化曲线,又称 A_{cm} 线。随着温度降低,碳在 γ 铁中的溶解度减小,从奥氏体中析出二次渗碳体,用符号 Fe_3C_{II} 表示。

GS——奥氏体和铁素体的相互转变曲线,又称 A_3 线。奥氏体冷却到此线,开始析出铁素体。

PSK——共析线,又称 A_1 线。合金冷却到此线,将在恒温(727°C)下进行共析反应,从奥氏体中同时析出铁素体和渗碳体的机械混合物,即珠光体。

根据上述各点、线的意义,可填写出铁碳合金状态图中各区域的组织。铁碳合金中当含碳量小于2.11%时,称为碳钢。根据碳钢中含碳量和组织的不同,可将碳钢分类如表1-2所示。

表 1-2 碳钢按含碳量和组织分类

| 合金类别 | | 含碳量范围(%) | 室温组织 |
|--------|------|-----------|----------------|
| 碳 钢 | 亚共析钢 | 0.02~0.77 | $F+P$ |
| | 共析钢 | 0.77 | P |
| | 过共析钢 | 0.77~2.11 | $P+Fe_3C_{II}$ |

图 1-9 为含碳量 0.45% 碳钢的显微组织,其中呈黑色的是珠光体,白色的是铁素体。

图 1-10 为含碳量 1.2% 碳钢的显微组织,其中呈黑色的是珠光体,呈白亮色网状分布的是二次渗碳体。



图 1-9 含碳量 0.45% 碳钢的显微组织

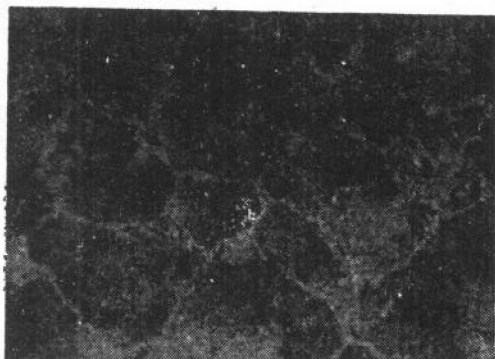


图 1-10 含碳量 1.2% 碳钢的显微组织

(四)铁碳合金状态图的应用

铁碳合金状态图反映了铁碳合金的组织随温度和含碳量变化的规律,是选择钢铁材料和制订铸造、锻压和热处理等热加工工艺规范的重要依据。

1. 在选择钢铁材料方面的应用

根据铁碳合金室温时的组织,可以判断其大致性能,便于合理选择材料。例如,需要塑性、韧性高的材料,应选用低碳钢($C \leq 0.25\%$);需要强度、硬度、塑性和韧性等综合机械性能较好

的材料,应选用中碳钢(C为0.25~0.55%);需要硬度高、耐磨性好的材料,应选用高碳钢(C>0.55%)。对于形状复杂的机器底座和箱体等零件,常采用铸铁材料。铸铁是含碳量大于2.11%的铁碳合金。

2. 在制订热加工工艺规范方面的应用

在铸造方面,从铁碳合金状态图可以判断出铸铁的铸造性能(浇注温度、流动性等)比铸钢好,而铸铁中又以共晶成分的铸造性能最好。

在锻造方面,可以确定锻造温度范围。碳钢在奥氏体状态才具有较好的塑性,易于锻造成形。所以碳钢的锻造温度范围一般控制在800~1200°C之间。

在热处理方面,根据铁碳合金状态图提供的组织转变温度,可以确定退火、正火和淬火等加热温度。应该指出:铁碳合金状态图是反映在极其缓慢加热和冷却条件下的组织变化规律,而热处理是在一定的加热和冷却速度情况下进行的,实际加热条件下的组织转变温度高于状态图的组织转变温度,实际冷却条件下的组织转变温度低于状态图的组织转变温度。例如,铁碳合金状态图的组织转变温度线 A_1 、 A_3 、 A_{cm} ,实际加热条件下应加注“c”,分别为 A_{c1} 、 A_{c3} 、 A_{cm} ;实际冷却条件下应加注“r”,分别为 A_{r1} 、 A_{r3} 、 A_{rcm} 。

〔观察与思考〕

1-2-1 用金相显微镜观察亚共析钢、共析钢和过共析钢室温时的平衡组织,并在 $\phi 30$ mm的圆中画出它们的示意图。

1-2-2 应用铁碳合金状态图解释下列现象的原因:

- (1) 中碳钢比低碳钢的强度高、塑性低;
- (2) 锯高碳钢比锯中碳钢费力,且锯条容易磨损;
- (3) 碳钢能锻造,而生铁不能锻造,适合于铸造;
- (4) 碳钢锻造时要加热到一定的温度范围。

第三节 热处理的概念

热处理是将金属在固态下通过加热、保温和不同的冷却方式,以改变金属内部组织结构,从而得到所需性能的一种工艺方法。热处理能充分发挥材料潜力,节省金属,延长机械的使用寿命。目前机器中大多数零件都要进行热处理,至于刀具、量具、模具等则全部要进行热处理。由此可见,热处理在机械制造中具有重要的作用。

钢的热处理工艺主要有退火、正火、淬火、回火和表面热处理等。

一、退火

退火是将钢加热到高于或低于临界温度,保温后随炉冷却的热处理方法。

对亚共析钢常进行完全退火。将钢加热到 A_3 以上30~50°C,保温后缓冷得到铁素体和珠光体,以达到细化组织、降低硬度和消除内应力的目的。

对过共析钢常进行球化退火。这是因为过共析钢未经退火时的组织为片状珠光体和网状渗碳体，硬度高，不利于切削加工。若将过共析钢加热到 A_1 以上 $20\sim 30^\circ\text{C}$ 进行退火，其组织为在铁素体基体上分布着粒状渗碳体，称为球状珠光体。这种组织硬度较低，适合于切削加工，并能防止淬火时产生裂纹。

若目的仅是消除内应力，可将钢加热到 $500\sim 650^\circ\text{C}$ ，进行去应力退火（又称低温退火）。由于加热温度低于 A_1 ，钢的组织基本上不发生变化，只是在缓冷过程中，使工件各部分均匀冷却和收缩，从而消除了内应力。

二、正火

正火是将钢加热到 A_3 以上 $30\sim 50^\circ\text{C}$ （对亚共析钢）或 A_{cm} 以上 $30\sim 50^\circ\text{C}$ （对过共析钢），保温后在空气中冷却的热处理方法。

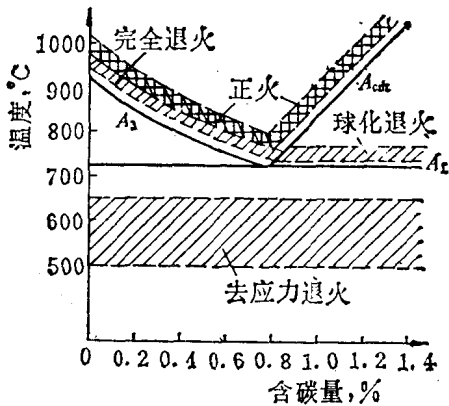


图 1-11 退火和正火的加热温度范围

保温后在空气中冷却的热处理方法。

上述退火和正火的加热温度范围，如图 1-11 所示。

正火和退火的主要区别是冷却速度较快，过冷度较大，奥氏体在较低温度（ $650\sim 600^\circ\text{C}$ ）下分解，获得片层较细的渗碳体和铁素体的机械混合物，比退火组织有较高的强度和硬度，但消除内应力不如退火彻底。正火时钢在炉外冷却，不用设备，生产率较高，故正火比退火经济。对于低碳钢，正火可使硬度有所提高，从而改善切削加工性能，所以低碳钢大都采用正火来代替退火。对于比较

重要的零件，正火常作为淬火前的预备热处理；对于普通结构零件，正火常作为最终热处理，以提高其机械性能。

三、淬火及回火

淬火是将钢加热到 A_3 以上 $30\sim 50^\circ\text{C}$ （对亚共析钢）或 A_1 以上 $30\sim 50^\circ\text{C}$ （对过共析钢），保温后在水中或油中进行快速冷却的热处理方法。

淬火操作为了保证快速冷却，一般情况下，碳钢采用水冷，合金钢采用油冷。钢在如此快速的冷却条件下，使奥氏体的转变温度很低（共析钢为 230°C 以下），由于碳原子无法进行扩散，奥氏体不可能转变为珠光体，只有 γ 铁转变成 α 铁，碳全部保留在 α 铁中，形成碳在 α 铁中的过饱和固溶体，称为马氏体。因为 α 铁中溶解了过量的碳，使晶格发生畸变，增加了塑性变形的抗力，所以马氏体具有很高的硬度，可达 HRC 65。

马氏体是一种不稳定组织，并存在较大内应力和脆性。为了消除淬火钢的内应力，降低脆性，并获得所需的机械性能，淬火后必须进行回火。

回火是将淬火钢加热到低于临界温度（ A_1 线），保温一段时间，然后冷却下来的热处理方

法。回火后的性能主要不是取决于冷却方法,而是取决于加热温度。根据加热温度不同,回火可分为以下三种:

(1) 低温回火 在 150~250°C 温度范围内进行的回火。其目的是降低淬火钢的内应力及脆性,而保持淬火钢的高硬度和耐磨性。低温回火适用于刀具、量具等工具。

(2) 中温回火 在 350~500°C 温度范围内进行的回火。其目的是提高淬火钢的弹性和屈服强度。中温回火适用于弹簧、锻模等。

(3) 高温回火 在 500~650°C 温度范围内进行的回火。其目的是获得强度、塑性和韧性等都较好的综合机械性能。生产上把“淬火+高温回火”称为“调质处理”。它广泛应用于各种重要的结构零件,如连杆、齿轮、主轴等。

四、表面热处理

表面热处理是强化零件表面的方法。生产上广泛应用的有表面淬火和化学热处理两种。

(一) 表面淬火

表面淬火是以极快的速度将零件表面加热到淬火温度,然后快速冷却下来的热处理方法。表面淬火可采用火焰加热或感应电流加热等。表面淬火的常用材料有 40、45、40Cr、40MnB 等。进行表面淬火及低温回火后,使工件表层硬而耐磨,而心部仍保持原来韧性,适用于重要的齿轮、曲轴等结构零件。

(二) 化学热处理

化学热处理是将零件放在某种化学介质中,通过加热和保温,使介质中的元素渗入到零件表面的热处理方法。根据渗入元素的不同,常用的化学热处理有渗碳、氮化和氰化等。

渗碳材料是低碳钢。零件经渗碳后表面层为高碳组织,尚需进行淬火及低温回火,使表面具有高硬度和耐磨性,而心部仍保持良好的韧性。渗碳适用于高速齿轮、凸轮和活塞销等零件。常用的渗碳材料有 15、20 号钢及 20Cr、20CrMnTi 等合金钢。

零件氮化后表面形成一层氮化物,不需淬火便具有高的硬度、耐磨性、抗疲劳性和一定的耐腐蚀性,而且变形也小。38CrMoAlA 钢是典型的氮化用钢。氮化广泛用于精密量具、高精度镗床主轴等。

氰化是碳氮共渗,其中高温氰化以渗碳为主,低温氰化以氮化为主。

[观察与思考]

1-3-1 将废锯条加热到樱桃红色(约 780°C),然后缓慢移开热源,使它逐渐冷却,锯条变软,并能弯曲成所需形状;如重新加热后在水中急冷,则锯条又变硬。试说明产生上述现象的原因。

1-3-2 用含碳量为 1.2% 的钢制成的锉刀,能否锉削同样含碳量钢材制成的工件? 为什么?

1-3-3 一批含碳量为 0.45% 的钢材,因组织粗大、不均匀,需采用退火处理,若加热温度分别为 700°C、760°C、840°C 和 1100°C,试问处理后结果如何? 你认为应选择哪种加热温度? 为什么?

1-3-4 下列零件的最终热处理方法是否正确? 为什么?

- (1) 车床主轴采用淬火及中温回火;
- (2) 一般用途的螺母采用调质处理;
- (3) 弹簧采用淬火及低温回火。

第四节 常用金属材料

常用金属材料有碳素钢、合金钢、铸铁和铜、铝及其合金。

一、碳素钢的编号和用途

碳素钢中,当含碳量小于0.9%时,随着含碳量的增加,钢的强度、硬度增加、韧性降低。但含碳量大于0.9%时,随着含碳量的增加,钢的强度开始降低,所以工业上应用的碳素钢含碳量一般不超过1.4%。碳素钢中除含有铁和碳两种主要元素外,还有少量硅、锰、硫、磷等杂质。其中,硫和磷是有害杂质,使钢的性能变脆,所以钢的质量高低,主要按硫、磷的含量而定。

(一)碳素结构钢

这类钢是参照国际标准 ISO 630《结构钢》,修改旧国家标准 GB 700—79《普通碳素结构钢》,而重新制订的。这类钢供应时,其化学成分和机械性能均须保证,并划分了质量等级,为使我国标准与国际标准相对应,故命名为《碳素结构钢》(GB 700—88)。

碳素结构钢牌号由 Q (屈服强度的“屈”汉语拼音字首)、屈服强度数值(钢材厚度或直径 ≤ 16 mm)、质量等级符号(分 A、B、C、D 四级)和脱氧方法(F 为沸腾钢、b 为半镇静钢、Z 为镇静钢、TZ 为特殊镇静钢,若为 Z 或 TZ 予以省略)等四部分按顺序组成。例如, Q 235-A·F 表示屈服强度为 235 MPa、沸腾钢、A 级碳素结构钢。

表 1-3 碳素结构钢新旧牌号对照、化学成分、机械性能和用途

| 碳素结构钢 GB700-88 | 普通碳素结构钢 GB700-79 | 化学成分(%) | | | 脱氧方法 | 机械性能 | | | 用 途 |
|--|---------------------------------------|-------------|---------------------|----------|-------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|---|
| | | C | S | P \leq | | σ_s (MPa) \geq | σ_b (MPa) \geq | σ_5 (%) \geq | |
| Q195 | A ₁ 、B ₁ | 0.06~0.12 | 0.050 | 0.045 | F、b、Z | 195 | 315~390 | 35 | 承受载荷不大的金属结构件、垫圈、地脚螺栓、冲压件及焊接件 |
| Q215 — A — B | A ₂ — C ₂ | 0.09~0.15 | 0.050 — 0.045 | — | F、b、Z | 215 | 335~410 | 31 | |
| Q235 — A — B — C — D | A ₃ | 0.14~0.20 | 0.050 | 0.045 | F、b、Z | 235 | 375~450 | 26 | 金属结构件,心部要求强度不高的渗碳或氰化零件,钢板、钢筋、型钢、螺栓、螺母、心轴等;Q235C、Q235D可用作重要焊接结构件 |
| | C ₃ | 0.12~0.20 | 0.045 | | | | | | |
| | — | ≤ 0.18 | 0.040 | 0.040 | Z | | | | |
| | — | ≤ 0.17 | 0.035 | 0.035 | TZ | | | | |
| Q255 — A — B | A ₄ — C ₄ | 0.18~0.28 | 0.050 — 0.045 | 0.045 | Z | 255 | 410~510 | 24 | 键、销、转轴、拉杆、链轮、链环片等 |
| Q275 | C ₅ | 0.28~0.38 | 0.050 | 0.045 | Z | 275 | 490~610 | 20 | |

表中 σ_s 、 σ_b 数值适用于钢板厚度(或直径) ≤ 16 mm。考虑钢材的尺寸效应,标准中规定了,随着钢材厚度(或直径)增大, σ_s 、 σ_b 降低后的数值。