

工人技术培训教材

热处理工

辽宁省工人技术培训教材编委会主编



辽宁科学技术出版社

工人技术培训教材

热 处 理 工

辽宁省工人技术培训教材编委会主编

辽宁科学技术出版社
1983年·沈阳

编著者 赵镛浩
审稿者 宋佩华 韩成志

工人技术培训教材
热处理工

Rechuligong

辽宁省工人技术培训教材编委会主编

辽宁科学技术出版社出版 (沈阳市南京街6段1里2号)

辽宁省新华书店发行 朝阳六六七厂印刷

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张: $9 \frac{5}{8}$ 字数: 213,000

1983年10月第1版 1983年10月第1次印刷

责任编辑: 陈慈良 责任校对: 马玉德

封面设计: 曹太文

印数: 1—14,000

统一书号: 15288·57 定价: 0.82元

出版说明

加强职工教育,是开发智力、培养人才的重要途径,是提高青年工人的文化与科学技术水平、搞好国民经济的调整、加速四个现代化进程的重要环节。为了适应开展职工教育的需要,辽宁省和沈阳市劳动局与辽宁科学技术出版社组成了工人技术培训教材领导小组,下设工人技术培训教材编委会,组织编写了一套工人技术培训教材。首批有《看图》、《尺寸公差与形位公差》、《量具》、《机械工程材料》、《机械基础》、《维修电工》、《电机修理工》、《电焊工》、《气焊与气割》、《无线电调试工》、《油漆工》、《管道工》、《木工》、《木模工》、《划线工》、《铆工》、《铣工》、《齿轮工》、《磨工》、《装配钳工》、《锅炉工》、《车工》、《缝纫工》、《裁剪工》24种,自一九八二年起陆续出版。

这套教材是根据国家劳动总局对培训工人的要求,参照国务院有关部制订的“工人技术等级标准”与工人的现有水平,本着“少而精”的原则编写的。具有学时短、见效快、理论联系实际的特点。书中附有例题和习题,既可作为1—4级工人的培训教材,也可供各类技工学校、职工业余学校使用。

这套教材在编写过程中得到了辽宁省职工教育管理委员会的支持和帮助,在此表示感谢。

目 录

第一章 热处理基础知识.....	1
第一节 概述.....	1
第二节 金属材料的物理性能与化学性能.....	2
第三节 金属材料的机械性能指标.....	4
第四节 钢的分类与编号.....	18
第五节 金属的晶体结构.....	23
第六节 金属的结晶理论与合金相结构.....	38
第二章 铁碳合金状态图.....	50
第一节 铁碳合金状态图的分析.....	50
第二节 典型铁碳合金的室温平衡组织.....	56
第三节 合金元素对铁碳合金状态图的影响.....	57
第四节 含碳量对铁碳合金平衡组织 与性能的影响.....	59
第五节 铁碳合金状态图的应用.....	61
第三章 钢的热处理原理.....	64
第一节 钢在加热时的组织转变.....	64
第二节 钢在冷却时的组织转变.....	69
第三节 钢的珠光体转变.....	73
第四节 钢的马氏体转变.....	77
第五节 钢的贝氏体转变.....	89
第六节 钢的回火转变.....	98

第四章 钢的热处理工艺	110
第一节 普通热处理.....	110
第二节 淬火介质及其冷却特性.....	132
第三节 钢的表面淬火与化学热处理.....	142
第四节 可控气氛与真空热处理.....	169
第五节 热处理缺陷及其防止措施.....	175
第五章 铸铁及其热处理	190
第一节 铸铁的石墨化过程.....	191
第二节 灰口铸铁及其热处理.....	194
第三节 可锻铸铁及其热处理.....	197
第四节 球墨铸铁及其热处理.....	199
第五节 特殊性能铸铁.....	202
第六章 合金钢及其热处理	206
第一节 合金元素在钢中的存在形式及其作用.....	206
第二节 合金结构钢及其热处理.....	211
第三节 合金工具钢及其热处理.....	215
第四节 特殊性能钢及其热处理.....	224
第七章 有色金属合金的热处理	233
第一节 铝合金的热处理.....	233
第二节 铜合金的热处理.....	241
第三节 钛合金的热处理.....	245
第八章 热处理车间常用设备	249
第一节 热处理炉的分类与筑炉材料.....	249
第二节 传热的基本知识与热处理电阻炉.....	255
第三节 浴 炉.....	265
第四节 可控气氛热处理炉.....	270
第五节 冷却设备.....	271

第六节	辅助设备·····	273
第七节	热电偶与温度测量仪表·····	276
第八节	热处理的安全技术·····	286

附表1 热处理时火色与温度之间的关系

附表2 淬火钢回火温度与硬度的关系

附表3—1 洛氏硬度HRC与其它硬度及强度换算表（试行）

附表3—2 洛氏硬度HRB与其他硬度及强度换算表（试行）

附表4 压痕直径与布氏硬度对照表

附表5 各种压力单位的换算表

附图 铁碳合金的平衡组织

第一章 热处理基础知识

本章主要内容有：金属材料的物理性能与化学性能；金属材料的机械性能指标；钢的分类与编号；金属的晶体结构；金属的结晶理论与合金相结构等，这些都是热处理的基础知识。

第一节 概 述

所谓热处理，就是将工件加热到一定的温度，在此温度保温一段时间，然后以一定速度冷却下来，从而改变金属内部组织结构，以得到预期的性能，其中包括机械性能、工艺性能、物理性能和化学性能等。据初步统计，现代机床工业中要经过热处理的工件占60~70%，在汽车拖拉机工业中占70~80%，而轴承和各种工模具，则几乎100%。

热处理的目的是任务，不是改变工件的形状而是改变工件的组织与性能。

目前，热处理技术是向着新技术、新工艺和新设备的方向发展的。

今后热处理发展的主要内容和趋势是：省能源、无公害、无氧化与脱碳、表面强化、强韧化、控制变形与开裂、高度机械化与自动化等。

热处理，不单是一门工艺方法，而且是研究“化学成分

“一热处理—组织—性能”之间内在规律的、完整的、独立的现代科学。它又是从生产实践中发展起来，并直接为生产服务的科学理论。因此，在学习时，不仅要注意学好系统的理论知识，而且一定要注意理论密切联系实际。这样，所学的理论才会更牢固、更扎实。

将要学习的内容有：热处理基础知识；铁碳合金状态图；钢的热处理原理；钢的热处理工艺；铸铁及其热处理；合金钢及其热处理；有色金属材料的热处理；热处理车间常用设备。为了学好这些内容，要注意其内在联系和各自的作用：金属及合金材料的化学成分，是工件获得各种不同组织与性能的基础或前提条件；热处理工艺，是工件获得所需性能的一种手段；最终所得到的合格的组织与优良的性能，则是热处理目的所在；热处理设备，可以说是实现热处理工艺的保证因素或条件。可见，这些内容是不可分割的整体，其中成分、热处理工艺与设备都是为最终获得工件的合格组织和优良性能服务的。

第二节 金属材料的物理性能与化学性能

一、物理性能

金属材料的物理性能有：比重、熔点、导电性与绝缘性、导热性、热膨胀性和磁性等。

（一）比重

物质单位体积的重量称为比重，以克/厘米³为计量单位。如铁的比重为7.85克/厘米³。在金属中最轻的是镁，比重为1.74克/厘米³；最重的是铂，比重为21.45克/厘米³。

按金属的比重大小，可分为轻金属（比重小于 5 克/厘米³）和重金属（比重大于 5 克/厘米³）。例如铝、镁、钛及其合金，属于轻金属；铜、铅、锡、铂及其合金，属于重金属。

（二）熔点

当金属材料缓慢加热时，由固体熔化为液体金属时的温度，叫做熔点。各种金属的熔点相差很大，例如纯铁的熔点为 1538℃，而铅的熔点为 327℃。根据金属材料熔点的高低，在工业上可以有不同的用途，例如低熔点的铅，可以制作电闸上的保险丝；用熔点高的钨，可以制造电灯泡里的灯丝等。

（三）导电性与绝缘性

金属传导电流的能力，称为导电性。阻碍传导电流的能力，叫绝缘性。金属具有良好的导电性，其中银最好，其次是铜和铝。我们通常所看到的电线，一般都是用铜丝或铝丝制作的，而其外皮包有橡胶或塑料，因为铜和铝都是电的良导体，而橡胶和塑料具有良好的绝缘性能。

（四）导热性

金属传导热量的能力，称为导热性。金属材料一般具有良好的导热性，非金属材料的导热性能都比较差些。因此，作为隔热和保温的材料多用非金属材料，如石棉、塑料等。高速钢的导热性比碳钢差一倍，所以在热处理和锻轧时，必须缓慢加热，以防止出现裂纹。

材料的导热性，可用导热系数 λ （读音：兰布达）来表示。导热系数 λ 的单位是卡/厘米·秒·℃。

（五）热膨胀性

金属受热时体积胀大的性质，称为热膨胀性。

材料的热膨胀性通常用线膨胀系数 α （读音：阿尔发）

来表示, α 表示材料在温度升高 1°C 时其单位长度的伸长量。例如铁的线膨胀系数为 $\alpha = 11.76 \times 10^{-8}$ 毫米/毫米 $\cdot^{\circ}\text{C}$ 。

(六) 磁性

材料受磁场作用的性能, 称为磁性。铁、镍、钴等易受磁场的作用; 相反, 铜、锡、锌等金属材料, 能抵抗外磁场对它的磁化作用。有些金属的磁性并不是固定不变的, 例如纯铁的磁性, 温度升到 770°C 后就会消失, 温度低于 770°C 又恢复它的磁性。

二、化学性能

通常所说的化学性能, 主要指抗氧化性能和耐腐蚀性能。

(一) 抗氧化性能

许多金属在一定的条件下, 能与氧化合形成氧化物。材料对氧化的抵抗能力, 称为抗氧化性能。用于制造火箭、导弹、锅炉等金属材料, 都要求具有高的抗氧化性能。

(二) 耐腐蚀性能

材料抵抗各种介质(如空气、水蒸气、各种酸、碱、盐及其水溶液)腐蚀的能力, 称为耐腐蚀性能。提高材料的耐腐蚀性能的办法很多, 如改变化学成分、热处理(其中包括各种表面化学热处理)和表面喷漆等。

第三节 金属材料的机械性能指标

金属材料的常用的几种机械性能指标有: 硬度、刚度、弹性、强度、塑性、疲劳和韧性等。这些性能均与受力情况有关。

一、硬度

硬度，是金属材料表面抵抗塑性变形的能力。常用的硬度试验法有布氏硬度法、洛氏硬度法、维氏硬度法、肖氏硬度法等。

应当指出，各种硬度试验方法和依据的原理不同，所得的结果差别很大。因此，用不同试验方法所得的硬度之间，在理论上并没有简单准确的换算关系。现有的一些换算公式或对照表，只不过是一种经验总结。要求准确的硬度值时，不宜采用换算的方法。

（一）布氏硬度法

布氏硬度法，是以单位压痕面积上的平均压力来表示材料硬度值大小的一种方法。通常以符号 HB 或 BHN 表示布氏硬度值。布氏硬度值可按下式计算：

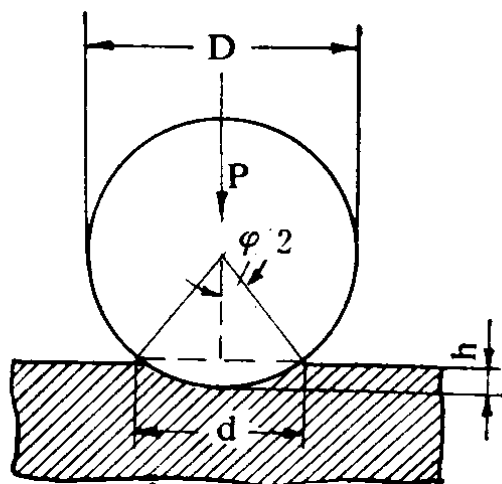


图 1—1 布氏硬度试验原理示意图

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

式中 P 为外加载荷（公斤力）

D 为钢球直径（毫米）

d 为压痕直径（毫米）

π （读音：派）为常数（圆周率，即 $\pi \approx 3.14$ ）

金属材料的布氏硬度试验方法，在国家标准 GB231—63

中有详细规定。布氏硬度试验原理，如图 1—1 所示。对于钢，一般规定采用钢球的直径为10毫米，载荷 P 为3000公斤力，压入时间为10秒。至于其他材料，可根据具体情况相应地进行调整。

采用布氏硬度法时应注意以下几点：

1. 压痕直径应在 $0.25D < d < 0.6D$ 范围内。

2. 试样厚度应不小于压痕深度的10倍，两个相邻的压痕中心的距离不得小于压痕直径的 4 倍，对于较软的金属则不得小于 6 倍。压痕中心离试样边缘的距离不得小于压痕直径的2.5倍，对于软金属则不得小于 3 倍。

3. 有时试样过薄、面积过小时，可采用较小的圆钢球（直径为 5 或 2.5 毫米）和载荷。由于圆钢球直径变小，故载荷 P 也应相应改变，即当采用 5 毫米直径时：

$$P = KD^2 = 30 \times 5^2 = 750 \text{ 公斤力}$$

当采用2.5毫米直径时：

$$P = KD^2 = 30 \times 2.5^2 = 187.5 \text{ 公斤力}$$

上式中 K 为常数（即采用10毫米直径时

$$K = P/D^2 = 3000/10^2 = 30）。$$

总之，布氏硬度法的测量误差小，试验数据比较稳定。

应当指出，对于太薄或者加工后的零件，不允许有较大的压痕，不宜采用布氏硬度法。对于硬度过高（ $>HB450$ ）的金属材料，也不能用布氏硬度法测量其硬度，因为钢球易变形，难以测得精确数据。

（二）洛氏硬度法

洛氏硬度法，是以压痕深度来表示材料硬度高低的方法。

洛氏硬度法的简单试验原理，如图 1—2 所示。图中

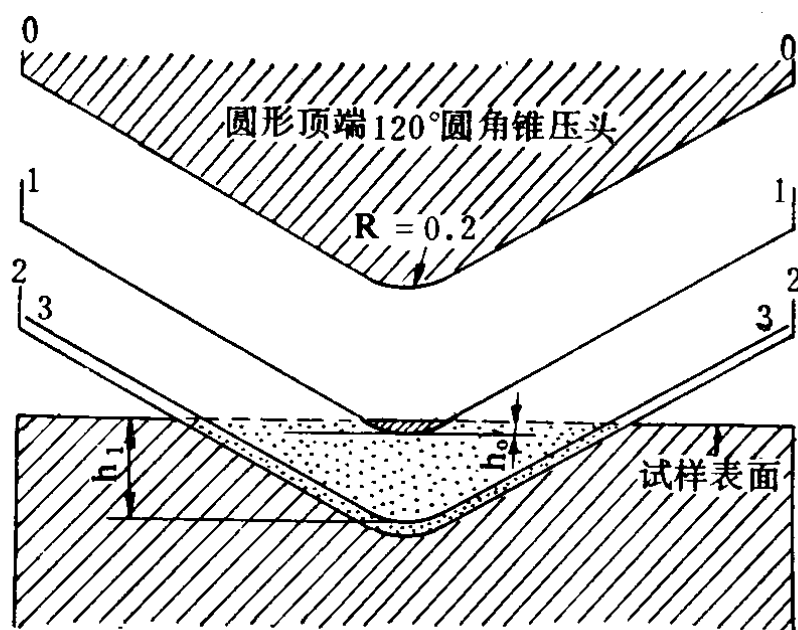


图 1—2 洛氏硬度试验原理示意图

“0—0”为金刚石圆锥压头在没有与试样接触时的位置；
 “1—1”为压头与试样接触并受到初载荷 P_0 （规定为10公斤力）之时压入深度为 h_0 的位置；“2—2”为加上主载 P_1 之后，压头压入试样的位置；“3—3”为去掉主载之后，压头略行提高的位置，此时压头实际压入试样的深度为 h_1 。可见，压头由于受主载荷而压入试样的深度为 $(h_1 - h_0)$ ，此数值越大，表示试样越软，反之，则越硬。为了照顾到习惯上数值越大，则硬度越高的通常思维，采用了自一常数 K 减去 $(h_1 - h_0)$ 来表示硬度的高低，并以每0.002毫米为一硬度单位，可得洛氏硬度值为 $\frac{K - (h_1 - h_0)}{0.002}$ 。此数为无名数。

通常以HR或RHN表示洛氏硬度值（有时简单用R表示）。测量时，洛氏硬度值可直接在试验机上的表盘指示器上读出。

洛氏硬度法，若采用不同的压头和总载荷 $(P = P_0 + P_1)$ ，

则可在同一试验机上测定出从极软到极硬材料的硬度，通常可组合成15种不同的洛氏硬度标度。每一种标度用一个字母附在符号HR 或R之后，以示区别，如 HRA、HRB、HRC……或 RA、RB、RC……等。各种洛氏硬度值符号及应用 举例如表 1—1 所示。

表 1—1 各种洛氏硬度值符号及应用举例

标度符号	采用压头	总载荷 KG	表盘刻度 颜色	常用范围 硬 度	应用举例
HRA	金刚石圆锥①	60	黑色	70~85	碳化物、硬质合金、 表面淬火钢
HRB	1.588毫米钢球②	100	红色	25~100	软钢、退火钢、铜合金
HRC	金刚石圆锥①	150	黑色	20~67	淬火钢、调质钢
HRD	金刚石圆锥①	100	黑色	40~77	薄钢板、中等厚度 的表面硬化工件
HRE	3.175毫米钢球③	100	红色	70~100	铸铁、铝、镁合金、 轴承合金
HRF	1.588毫米钢球②	60	红色	40~100	薄软钢板、退火铜 合金
HRG	1.588毫米钢球②	150	红色	31~94	磷青铜、铍青铜
HRH	3.175毫米钢球③	60	红色	—	铝、锌、铅
HRK	3.175毫米钢球③	150	红色	40~100	
HRL	6.350毫米钢球④	60	红色	—	
HRM	6.350毫米钢球④	100	红色	—	
HRP	6.350毫米钢球④	150	红色	—	
HRR	12.70毫米钢球⑤	60	红色	—	
HRS	12.70毫米钢球⑤	100	红色	—	
HRV	12.70毫米钢球⑤	150	红色	—	

注：①顶角为120°±30′，顶角圆弧半径为0.20±0.01毫米

② $\frac{1}{16}$ 吋；③ $\frac{1}{8}$ 吋；④ $\frac{1}{4}$ 吋；⑤ $\frac{1}{2}$ 吋。

总之，洛氏硬度法操作迅速而简便，生产率高，测量范

围广，因压痕小基本上不损伤工件表面。

洛氏硬度与布氏硬度之间大约有1:10的关系，如HRC40相当于HB400左右。但在 $\leq$ HB220 的硬度范围内不能用此法换算。

（三）维氏硬度法

维氏硬度法，是以单位压痕面积上的平均压力来表示材料硬度高低的一种方法。通常以符号HV或HD与DPH表示维氏硬度值。

维氏硬度法采用了布氏硬度法的原理，但其压头不是钢球，而是一个金刚石正四棱锥体，故压痕为正方形。在试验时，首先要测量出压痕两对角线的平均长度，然后可计算出压痕的面积（A），已知外加载荷（P），则不难算出单位压痕面积上的平均压力，即维氏硬度值（ $\frac{P}{A}$ ）。

维氏硬度试验时所用的外加载荷一般为5～100公斤力，或其范围更宽一些，如1～120公斤力。其中1公斤力的载荷特别适用于测量化学热处理（氮化、渗碳等）件的表面硬度。

常见的显微硬度计，实际上也是一种维氏硬度计，其硬度值以Hm表示。也可直接用符号HV、HD及DPH表示。

用显微硬度计来测量硬度时，压痕对角线的长度，是用附在试验机上的显微测微计测得的，精确度可达0.001毫米。测出压痕对角线的平均长度之后，可以通过计算或查表，得到被测件的维氏硬度值。

（四）肖氏硬度法

肖氏硬度法，是根据硬度计上的金刚石圆头重锤由一定高度落到被测工件时的弹性回跳的高度，来确定工件硬度的方法。通常用符号HS表示。肖氏硬度与压痕试验法不同，

是一种动力试验方法。

肖氏硬度的标度，最初是把重锤在淬硬的高碳钢表面上回跳的高度定为 100，然后取其平均刻度。肖氏硬度以符号 HS 表示。

肖氏硬度计常见的有两种：一种是 C₂ 型；另一种是 D 型。

C₂ 型上的重锤是一只重约 2.6 克，底端作锥形，镶有金刚石圆头的圆柱体。重锤装在一只有刻度的垂直玻璃管内，由固定在玻璃管上端的一个气动夹头夹住。试验时，借一橡皮球内空气的吹压作用，松开夹头，使重锤自由落下打到被测物体表面，而观测其回跳的高度。

D 型与 C₂ 型的主要区别在于，前者是用一只表盘计来自动记录重锤回跳的高度，表盘计上的指针直接指出试验结果，即肖氏硬度值。这样可以避免用眼直接观测重锤回跳可能产生的误差。为了使 D 型肖氏硬度计中重锤与 C₂ 型中的重锤有同样的动能，所以，D 型重锤的重量增加到约 37 克。

肖氏硬度计的最大特点是使用方便，可以带到现场，用以测量大型件的硬度并不损伤工件的表面，这些优点，其他硬度法所不能具备的。缺点是操作上的因素对测量结果的准确性影响较大（如重锤不能垂直落下等）。

二、金属材料的拉伸曲线与各种机械性能指标

（一）拉伸曲线

金属材料在外力作用下发生的尺寸与形状的变化称为变形，它包括弹性变形与塑性变形。弹性变形的特点是，变形的大小与外力成正比，外力去掉后材料恢复原状，变形立即消失；塑性变形的特点是，变形大小与外力不成比例，卸载