



钢铁热处理基础

王仁东等编



四川科学技术出版社

TG161

11=2

3

钢铁热处理基础

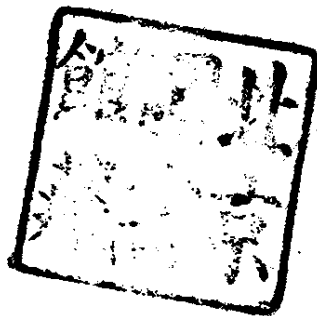
(修订再版)

王仁东 等编
周志光 等审

10785/11

四川科学技术出版社

一九八二年·成都



B 420839

责任编辑：崔泽海

钢铁热处理基础(修订再版) 王仁东等编

四川科学技术出版社出版 (成都盐道街三号)
四川省新华书店发行 雅安地区印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/32 印张13.75 插页4 字数 270 千
1982年2月第1版 1984年12月第2次印刷
印数: 5,001—9,200册

书号: 15298·36

定价: 2.60元

前 言

职工教育是我国教育事业的组成部分，是提高职工科学文化水平、培养技术及管理人员的主要途径。为了适应我国国民经济的调整和四个现代化建设的需要，我们组织了四川省科普创作协会部分会员，以及有关科研、生产、教学单位的科研、教学人员和有丰富实践经验的老工人，编写了一套《工人技术读物》。这套“丛书”，可供具有初中文化程度、又有一定工作实践的工人和管理人员学习，兼作职工技术培训教材。《钢铁热处理基础》就是这套“丛书”之一。

这本工人技术读物，原系工厂职工工业余技术培训教材，经反复试用修改而成。全书共十章，主要地讲述了“金属和合金的机械性能及其试验方法、金属和合金的构造、碳钢及其热处理、压力加工对钢的组织及其性能的影响、钢的热处理原理及工艺、钢的表面热处理、合金钢及其热处理、机器零件的失效及其分析和机器零件材料的选用及工艺分析”等钢铁热处理基础和应用技术。

本书在编写过程中，曾得到四川者、成都市机械工程学会和市计量测试学会的大力支持，不少科研、教学和生产单位为本书提供了许多宝贵的资料和经验，最后由四川省机械研究设计院组织力量审查定稿。以上这些，都为提高本书内容

质量作出了积极贡献，在此一并表示感谢。但由于我们水平有限，书中缺点错误难免，恳请读者批评指正。

四川省科普创作协会工交组

一九八一年五月

目 录

第一章	金属和合金的机械性能及其试验方法	1
第二章	金属和合金的构造	16
第一节	金属的晶体结构	16
第二节	金属的结晶	18
第三节	合金的相结构	21
第四节	铁碳合金的组织	24
第五节	铁碳合金状态图	29
第三章	碳钢及其热处理	39
第一节	钢中碳含量的影响	39
第二节	钢中常存杂质及影响	42
第三节	碳钢的分类	44
第四节	碳钢的牌号、性能、用途和热处理	45
第四章	压力加工对钢组织和性能的影响	62
第一节	冷压加工钢组织和性能的变化	62
第二节	冷压加工后钢的中间退火	67
第三节	热加工后钢组织和性能的变化	72
第五章	钢的热处理原理及工艺	77
第一节	钢在加热时的转变	79
第二节	钢在冷却时的转变	87
第三节	钢的退火和正火	97

第四节	钢的淬火	107
第五节	钢的回火	117
第六节	钢的淬透性	130
第七节	钢的热处理缺陷	140
第八节	低碳钢的淬火强化	152
第九节	钢的锻造余热淬火	169
第六章	钢的表面热处理	173
第一节	火焰表面淬火	174
第二节	感应加热表面淬火	176
第三节	表面化学热处理	189
第七章	合金钢及其热处理	223
第一节	合金元素在钢中的作用	223
第二节	合金结构钢及其热处理	227
第三节	合金工具钢及其热处理	242
第四节	特殊钢及其热处理	272
第八章	铸铁及其热处理	281
第一节	铸铁的一般概念	281
第二节	灰口铸铁及其热处理	285
第三节	可锻铸铁	291
第四节	球墨铸铁及其热处理	294
第五节	合金铸铁	308
第九章	机器零件的失效及分析	313
第一节	零件的工作条件及失效形式	313
第二节	疲劳断裂	318
第三节	表面损伤	333

第四节	过量变形.....	339
第五节	机器零件失效的分析方法.....	340
第十章	机器零件材料的选用及工艺分析.....	343
第一节	选材的一般原则和方法.....	343
第二节	热处理技术条件的标注.....	352
第三节	热处理技术条件标注举例.....	355
第四节	机械加工减小变形及开裂的措施.....	357
第五节	热处理与切削加工性之间的关系.....	365
第六节	典型机器零件的选材及工艺分析.....	366

附录

附录 1	中外部份钢号对照
附录 2	常用钢的临界点
附录 3	布氏、洛氏、维氏、肖氏硬度换算表
附录 4	常用化学元素符号表
附录 5	专业用钢简介
附录 6	钢铁表示方法

第一章 金属和合金的机械性能 及其试验方法

机器零件在使用中，都会因外力作用，发生变形。变形可分两种：一种是弹性变形，即外力去掉后，变形就会消失；另一种是塑性变形，即外力去掉后，变形不会消失。外力又叫载荷（载荷大小和方向有所不同）。外力有静止的、冲击的、变化的和不变化的等。当零件所受外力和变形超过一定的限度时，零件将引起破裂。因此，作为机器零件的金属材料在外力作用下，必须具有抵抗破裂的能力。

金属和合金的机械性能主要有强度、弹性、塑性、韧性、硬度、疲劳和蠕变等。这可用专门的仪器和用机械试验方法加以测定。

金属和合金的机械性能试验，可在不同的加载条件下进行。可分为：

1. 静力试验——缓慢而均匀地增加载荷，如拉力试验、弯曲试验等。

2. 动力试验——高速增加载荷，如一次冲击试验。

3. 反复变向载荷试验——试验过程中，载荷的数值或数值与方向均发生变化，如疲劳试验。

下面分述金属和合金的机械性能。

一、强度

金属在外力的作用下抵抗变形和破坏的能力叫强度。

金属材料抵抗外力的能力愈大，则强度越高。根据受力情况不同，强度可分为抗拉、抗弯、抗压、抗剪等。但实际应用最普遍的是抗拉强度。

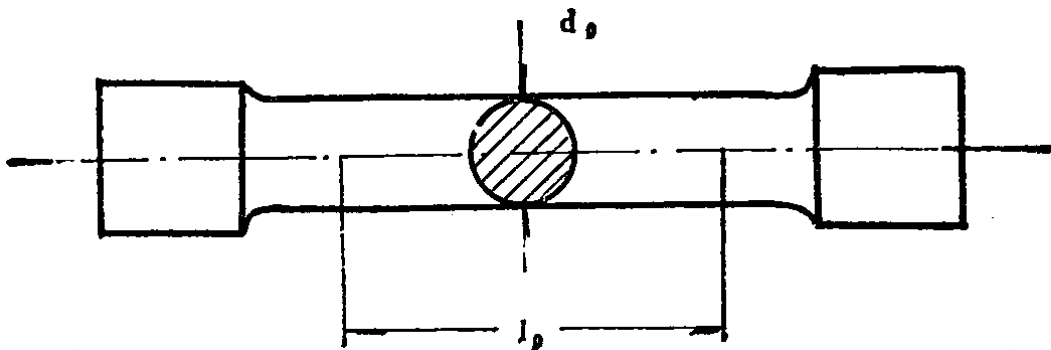


图1—1 拉伸试验标准试样

金属材料的抗拉强度指标，可通过把材料制成标准试样（图1—1）在材料试验机上进行拉伸试验测得。试验时，将试样夹在试验机的夹头中，然后施加拉力，从表盘上可读出拉力的大小，拉力与试样伸长量的关系可画出拉伸曲线图（图1—2）。由图可知，试样受拉后，当载荷不超出 P_p 时，曲线为一直线，外力与变形成正比，此时的 P_p 称为比例极限载荷。外力大于 P_p 时，曲线稍偏离直线。

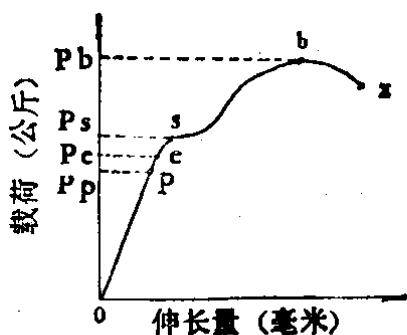


图1—2 拉伸曲线图

达曲线上的 e 点时, 载荷 P_e 称为弹性极限载荷。在这一载荷下, 试样产生的塑性变形, 等于它自己原有长度的 0.005% 。载荷继续增加超过 P_e 时, 则曲线大大离开直线, 达到 P_s 载荷时, 曲线变成一水平线, 虽外力维持不变, 而试样的变形却继续增加, 这种现象叫“屈服”, P_s 就叫屈服载荷, S 点叫屈服点。若继续增加载荷, 试样继续变形, 当达到某一最大值 P_b 时, 试样会局部发生缩颈。由于试样缩颈处截面减小, 因而载荷下降, 下降到 Z 点时, 试样即在缩颈处断裂。拉伸曲线图可在现代材料试验机上自动绘出。

强度可用其横截面的单位面积 (毫米²) 上所能承受的载荷 (公斤) 来表示, 单位为公斤/毫米²。

拉伸试验时得到的四种载荷数值分别比以原来的截面积, 则可获得四种强度值:

$$\text{比例极限 } \sigma_p = \frac{P_p}{F_0} \text{ (公斤/毫米}^2\text{)}$$

$$\text{弹性极限 } \sigma_e = \frac{P_e}{F_0} \text{ (公斤/毫米}^2\text{)}$$

$$\text{屈服极限 } \sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \text{ (公斤/毫米}^2\text{)}$$

$$\text{强度极限 } \sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \text{ (公斤/毫米}^2\text{)}$$

有些金属材料在拉伸试验时, 没有明显的屈服点出现, 难以直接测其屈服强度, 因此, 需借助引伸仪测其 $\sigma_{0.2}$, 即材料产生 0.2% 永久变形量时的强度。

二、塑性

金属材料的塑性, 是由两个指标 δ (伸长率) 和 ψ (断

面收缩率)来表示的。

1. 伸长率 δ ——试样拉断后, 长度增加量与原来长度之比, 以百分数表示:

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中: l —试样拉断后的长度(毫米)

l_0 —试样原来的长度(毫米)

2. 断面收缩率——试样拉断后, 拉断处的横截面积减小量与原来横截面积之比, 以百分数表示:

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

式中: F —试样拉断处的横截面积(毫米)

F_0 —试样原来的横截面积(毫米)

金属的压力加工, 就是利用材料的塑性来实现的。例如某一金属的 $\delta_{10} = 25\%$, $\psi = 65\%$, 而另种金属的 $\delta_{10} = 12\%$, $\psi = 30\%$, 很明显, 前者在冷态下塑性良好, 可以进行冷压力加工, 而后一种塑性较差, 冷压力加工时易产生裂纹。又如钢板的冲压, 变形量大, 一般都选用低碳钢。铸铁塑性几乎为零, 不能用来压力加工, 只能铸造。

三、韧性

进行拉力试验时, 某些金属在拉断前有显著的变形(如铜、黄铜、低碳钢等); 另一些金属则没有什么变形, 或变形不大即被拉断(如铸铁、淬火钢等)。显著变形后拉断的金属叫韧性金属, 这种断裂叫韧性断裂; 变形不大或不变形即被拉断的金属叫脆性金属, 这种断裂叫脆性断裂。

外力作用引起金属的变形和破裂，不仅与加力大小有关，而且还与加力的速度有关，某些韧性金属在加力速度很大时，也可能出现脆性断裂，这就说明，增大加力速度可能使金属变脆。

在机械工厂生产中，有许多机器零件是在冲击载荷作用下服役的，如蒸气锤的锤杆、锤头、冲模、锻模等。由于它们受到的冲击载荷较静载荷大得多，因此要求不仅有很高的强度和硬度，而且要有抵抗冲击载荷的能力，即所谓足够的冲击韧性。

韧性就是金属材料在冲击载荷的作用下抵抗破坏的能力。

韧性是在冲击试验机上测定的，它是属于加载速度很大的动力试验。测定时将标准试样（图1—3）放在试验机支座上，试样缺口背向摆锤的冲击方向（图1—4），然后将摆锤抬高到一定的高度 H （图1—5），用插销固定，扳动手柄使插销离开，摆锤落下将试样冲断，摆锤又摆过一定的高度 h ，此时与摆锤连在一起的指针，在刻度盘上指出摆锤冲断试样所消耗的功 A_k 值：

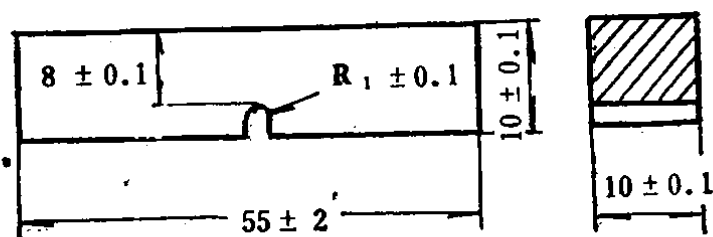


图1—3 冲击试样

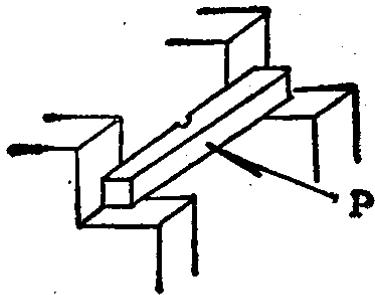


图1—4 冲击试样
安放位置

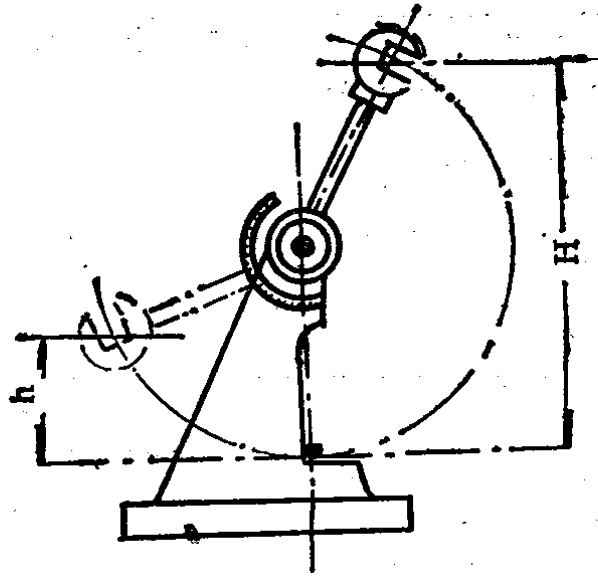


图1—5 冲击试验示意图

$$A_k = P(H - h) \text{ 公斤} \cdot \text{米}$$

金属材料的冲击韧性以单位横截面积上所消耗冲击功的大小来表示。即：

$$a_k = \frac{A_k}{F} \text{ (公斤} \cdot \text{米/厘米}^2 \text{)}$$

式中： A_k —冲断试样所消耗的功（公斤·米）

F —试样缺口处截面积（厘米²）

a_k 值愈大，表示材料的韧性愈好。图 1—3 是钢冲击试样，铸铁冲击试样不开缺口。

近年研究表明，在多数情况下，金属零件所承受的冲击载荷一般属于小能量多次重复冲击载荷，故用大能量的一次冲击（ a_k ）衡量其抗力，就不太恰当了。在能量不太大的情况下，材料承受多次重复冲击的能力，主要决定于强度，而不决定于冲击值；因此，过高追求韧性没有什么必要。目前，国

内已使用多次重复冲击试验机来测定金属材料的冲击韧性。不过，一次冲击试验还是有它的价值和用途的。

四、疲劳强度

将一根铁丝反复弯折几下，铁丝就断了，这就是疲劳造成的。

金属材料在多次交变载荷作用下而不致破坏的性能，就叫疲劳强度。

机器零件在工作中受到的外力，不仅大小可能改变，同时方向也可能改变，这种大小和方向时刻改变的载荷，使零件内部引起交变应力。当受到交变载荷发生破裂时，零件内部应力要比它的屈服强度小得多，有时甚至比弹性极限还小。

测定金属的疲劳强度，广泛采用旋转的试样上加一弯曲载荷，使试样内部产生交变应力（拉力—压力）。弯曲疲劳试验机如图 1—6。

将每次疲劳试验结果，以应力 σ 为纵坐标，循环次数为横坐标，作疲劳曲线（图 1—7）。钢的疲劳强度，相当于在 5×10^6 次交变载荷作用下不发生破裂的最大应力，有色金属

则为 2×10^7 次交变载荷的作用下不破坏的最大应力。

五、蠕变强度

金属材料在高温环境

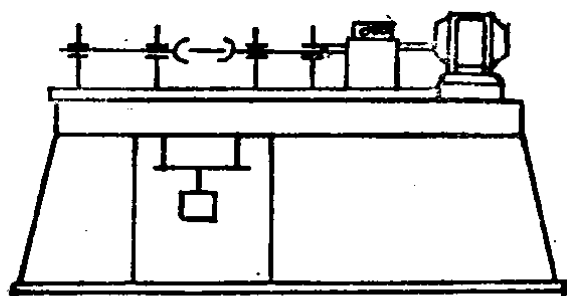


图1—6 疲劳试验机示意图

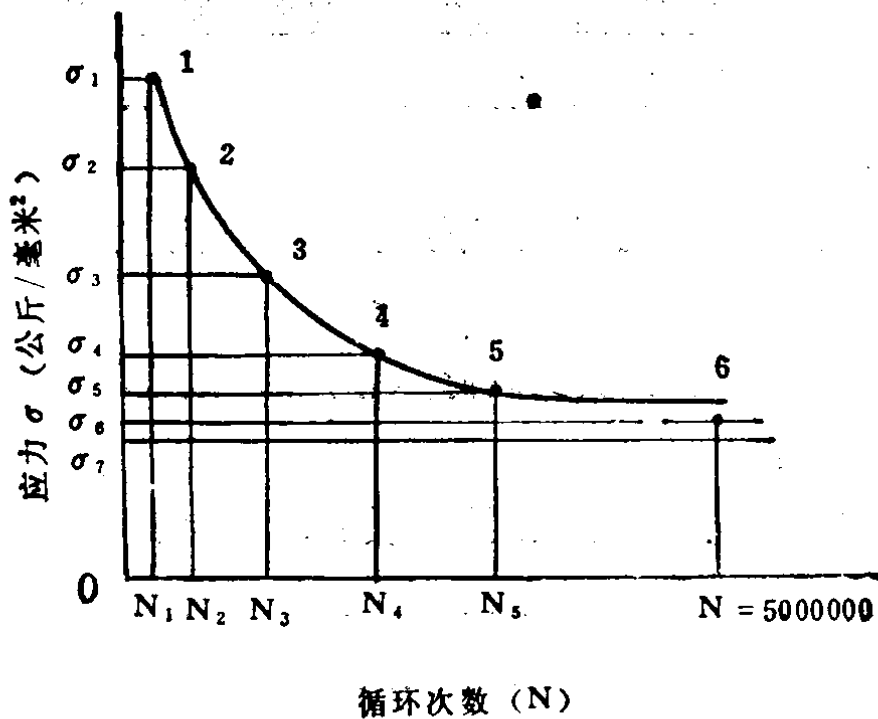


图1—7 疲劳曲线

中，在不变载荷的作用下，抵抗缓慢而连续发生变形的性能，叫蠕变强度。

对钢来说，蠕变在 350°C 以上就开始了。因此，在高温下服役的零件如内燃机、蒸气锅炉、汽轮机、航空发动机的某些零件，进行蠕变试验是十分必要的。

蠕变试验的目的，是要测定金属的蠕变强度，即测定该金属在一定温度下，经过一定时间后，它的相对伸长仍不超过技术条件中所规定的数值时所能承受的最大应力。

蠕变是在特殊的试验装置中进行。

六、断裂韧性

金属材料在裂纹存在的情况下抵抗脆性开裂的能力，称为断裂韧性。近年来这已逐渐成为一个重要的力学性能指标。

使用高强度材料，即使材料本身的塑性和冲击韧性达到所规定的指标，工作应力没有超过屈服强度，甚至远低于屈服强度的情况下，也会发生脆性断裂。中、低强度材料制造的重型件及大型结构，也有类似脆性断裂的事例。产生脆断的原因，是零件内部存在缺陷，如裂纹。对普通强度的材料，在裂纹的尖端可能产生一定程度的塑性变形，使应力松弛，避免了脆性断裂。对于高强度材料，韧性、塑性降低，裂纹尖端松弛应力的能力小，易于发生脆性断裂。

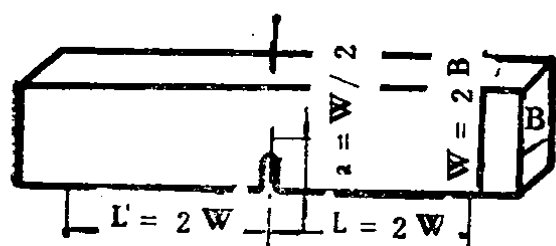
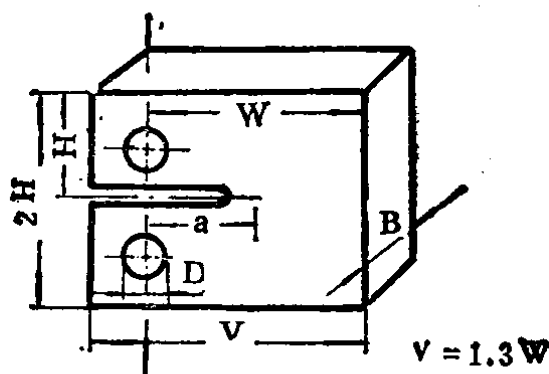


图1—8 三点弯曲试样



$$a = B = W/2 \quad H/W = 0.6 \quad D = B/2$$

图1—9 紧凑拉伸试样

测定材料的断裂韧性(K_{Ic})，首先是制备试样(图1—8，图1—9)，试样毛坯经过铣或刨之后，进行热处理，磨削平面，再开缺口，缺口尖端半径一般为0.08到0.10毫米，一般采用高钼丝机线切割法开缺口。开好缺口的试样，在合适的疲劳试验机上预制裂纹(人工缺陷)。

制备好的试样用专门制作的夹持装置，在一般万能材料试验机上即可进行断裂试验，最后通过计算，求出断裂韧性(K_{Ic})。

七、硬度

硬度概念日常生活中经常碰到，例如一个淬火钢球，在