

# 钢的热处理

哈尔滨工业大学  
《钢的热处理》编写小组 编

黑龙江人民出版社

# 钢 的 热 处 理

哈尔滨工业大学《钢的热处理》编写小组 编

封面设计：张若一

## 钢的热处理

哈尔滨工业大学《钢的热处理》编写小组 编

---

黑龙江人民出版社出版

(哈尔滨市道里森林街14-5号)

黑龙江新华印刷厂印刷 黑龙江省新华书店发行

---

开本787×1092毫米·1/32·印张 $4\frac{10}{16}$ ·插页5·字数93,000

1978年10月第1版 1978年10月第1次印刷

印数1-67,000

---

统一书号：15093·16

定价：0.47元

## 内 容 提 要

本书较系统地介绍了钢的热处理的基本原理和工艺，包括：钢的基本知识、铁碳合金状态图、钢在加热和冷却时的转变、钢的淬火和回火、钢的退火、正火以及钢的化学热处理等。内容比较全面，力求联系实际。可供从事这方面工作的工人和技术人员学习参考。

# 目 录

第一章	钢的基本知识 .....	( 1 )
第一节	钢的基本力学性能指标 .....	( 1 )
第二节	钢的基本力学性能指标的综合分析 及它们与硬度的关系 .....	( 13 )
第三节	钢的内部结构 .....	( 15 )
第二章	铁碳合金状态图及钢的分类 .....	( 25 )
第一节	铁碳合金状态图及其分析 .....	( 25 )
第二节	碳钢的平衡组织与基本力学 性能的关系 .....	( 34 )
第三节	钢的分类及编号 .....	( 41 )
第三章	钢在加热和冷却时的转变 .....	( 45 )
第一节	钢在加热时的转变 .....	( 45 )
第二节	钢在冷却时的转变 .....	( 50 )
第三节	钢的奥氏体等温转变 .....	( 51 )
第四节	影响奥氏体等温转变的因素 .....	( 56 )
第五节	奥氏体等温转变产物及其性能 .....	( 59 )
第六节	钢的淬透性 .....	( 62 )
第四章	钢的淬火 .....	( 67 )
第一节	钢的淬火加热 .....	( 67 )
第二节	钢的淬火冷却 .....	( 82 )
第三节	钢的淬火组织与性能 .....	( 91 )

第四节	钢的淬火缺陷·····	( 96 )
第五章	钢的回火 ·····	(103)
第一节	回火时钢的组织转变·····	(103)
第二节	回火时钢的性能变化·····	(105)
第三节	合金元素对回火的影响·····	(108)
第四节	回火在生产中的应用·····	(112)
第六章	钢的退火和正火 ·····	(117)
第一节	钢的完全退火·····	(118)
第二节	钢的球化退火·····	(120)
第三节	钢的正火·····	(122)
第七章	钢的化学热处理 ·····	(126)
第一节	钢的渗碳·····	(126)
第二节	钢的渗氮(氮化)·····	(137)
第三节	钢的氰化·····	(140)

热处理工艺与金属的其他加工工艺（锻压、铸造、焊接和切削加工）不同，它在不改变金属材料的外形和尺寸的条件下，改变金属内部的组织、结构，以提高或获得各种优良使用性能和工艺性能，从而最大限度地发挥金属材料的潜在能力，达到合理使用金属材料的目的。

热处理工艺在机器制造业中占有很重要的地位，其质量好坏在很大程度上影响着机器零件的使用寿命。

在机器制造中广泛应用的热处理工艺是淬火和相应的回火，以及退火、正火和渗碳等。

为了掌握热处理工艺就必须了解钢的基本力学性能指标、金属与合金的内部结构及其与基本力学性能指标的关系。同时要了解铁碳合金状态图和钢在加热与冷却时的转变等基本理论。

## 第一章 钢的基本知识

### 第一节 钢的基本力学性能指标

用于制造各种构件、机械零件和工具的金属材料的主要使用性能是其力学性能。金属的力学性能，又称机械性能，它是金属材料抵抗外力作用的能力。现代工业的发展，对减轻机器重量，延长零件的使用寿命，提高安全可靠程度和节

省材料等方面都提出了日益严格的要求。为实现这些要求，需要制造具有更优良的力学性能的材料。

金属材料（特别是钢铁材料）之所以得到广泛的应用，不仅因为它具有良好的使用性能，而且因为它具有优良的加工工艺性能。

金属材料的使用性能和某些工艺性能在很大程度上都可以用实验所获得的力学性能指标来表示。

一般标志金属材料力学性能的常用指标，如强度、塑性和韧性等，称为基本力学性能指标。

在制定热处理工艺时，必须以满足设计所规定的力学性能为依据，在热处理后，也必须按规定进行性能测试，以检查热处理的质量。由于硬度试验方法简单易行，而所测得的硬度指标在一定条件下与材料的使用性能和工艺性能间又有确定的关系，因此在试验技术中有很重大意义。在生产条件下往往用硬度试验部分地或全部地代替其他性能指标的测试。例如，热处理车间经常按零件的硬度要求来确定热处理工艺，并以硬度作为热处理后质量检查的标准。

## 1. 强度

钢材在外力作用下抵抗塑性变形和破断的能力称为钢的强度。

例如，吊车的钢丝绳在悬吊物件时受到拉力作用，当物件的重量超过允许值时，就发现钢丝绳产生了永久性伸长（物件去掉后伸长部分仍然保留），这部分伸长称为塑性变形。若悬吊物太重，钢丝绳承受不了这样大的拉力就发生破断。



在实验室中,钢材的强度通常用静力拉伸试验法测定\*。在静力拉伸试验时,对试样逐渐加力,使之不断产生变形,直至破断为止。试验机的测力机构可以准确地测出各个时刻试样所承受的外力,相应的变形可用专门仪器进行测量。试验机的附加装置也可自动绘出外力和变形之间的关系曲线——拉伸曲线,图 1—1 为一种典型的拉伸曲线。由图 1—1 可知,钢材在外力不断增加的情况下,经历了不同的变形阶段。

当外力达到  $\alpha$  点以前(外力较小时),试样仅发生弹性变形,外力去除后,变形随之消逝。

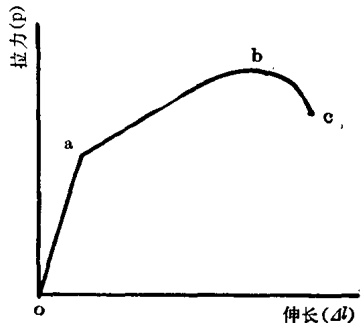


图 1—1 拉伸曲线

当外力继续增加超过  $\alpha$  点后,试样除继续发生弹性变形外,还产生塑性变形,当外力去除后仍有一部分变形继续保留。试样产生塑性变形以后,随着外力的增加,其塑性变形量不断增加(弹性变形量也在增大),到达  $b$  点时,外力达到最大值。超过  $b$  点后,试样的塑性变形将集中在局部截面上,产生所谓“颈缩”的现象。当这一截面逐渐减小时,试样在继续变形所需要的外力开始变小。产生“颈缩”后,试样的伸长只是依靠颈缩区断面的减小来达到的。试样拉伸至  $c$  点时发生破断。

\* 对于较脆的材料,例如铸铁或经淬火及低温回火的工具钢,通常采用静力弯曲试验法。

钢材的强度指标，可以从拉伸过程中所测得的上述数据中求得。

①屈服强度（屈服极限）：金属材料在外力作用下开始产生明显的塑性变形的应力，通常用  $\sigma_{0.2}$  或  $\sigma_s$  表示。可以近似地认为，它就是拉伸曲线相应于  $a$  点上的应力，即

$$\sigma_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{F_0} \text{ (公斤/毫米}^2\text{)}$$

式中  $P_{0.2}$ ——试样开始产生塑性变形时的拉力(公斤)，在工程上，通常规定为试样产生 0.2% 塑性变形所对应的拉力。

$F_0$ ——试样的原始断面积(毫米<sup>2</sup>)。

屈服极限是表征金属材料力学性能的一个极重要的指标，它反映金属材料对产生微小塑性变形的抗力。因为任何零件、构件都不允许在工作中产生塑性变形，所以屈服极限是设计静荷下工作零件截面尺寸的主要依据。

②强度极限：金属材料在拉伸试验时所能承受的最大负荷(外力)所对应的应力，通常用  $\sigma_b$  表示。即

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

式中， $P_b$ ——试样所能承受的最大拉力(公斤)，也就是开始产生颈缩时所对应的拉力。

$F_0$ ——试样的原始断面积(毫米<sup>2</sup>)。

由于试样开始产生颈缩时通常已发生了很大的塑性变形，试样的实际截面已大为减小，因此按上式计算的应力比试样所受的真实应力小很多。

③破断强度：金属材料在拉伸试验中发生破断时所承受

的真实应力，通常用  $S_k$  表示。

$$\text{即 } S_k = \frac{P_0}{F_k} \text{ (公斤/毫米}^2\text{)}$$

式中， $P_0$ ——试样破断时所对应的外力（公斤）。

$F_k$ ——试样破断时颈缩处的最小截面积（毫米<sup>2</sup>）。

显然，对破断前不产生很大塑性变形的材料而言， $S_k \approx \sigma_0$ 。此时，强度极限  $\sigma_0$  表示材料的破断抗力。

## 2. 塑性

金属材料破断前在外力作用下进行塑性变形的能力称为塑性。

观察拉断的试样可知，材料的塑性变形表现为试样长度的增长与断面的减小，所以塑性可以相应的用延伸率和断面收缩率两个指标来表示。

①极限延伸率\*：拉伸试样在破断后长度的增量（塑性变形）与原长的百分比，通常用  $\delta_k$  表示。

$$\text{即 } \delta_k = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\% \text{ 或 } \delta = \frac{\Delta l_k}{l_0} \times 100\%$$

式中， $l_0$ ——试样受力前的原始长度。

$l_k$ ——试样拉断后的长度（通常是将断成两段的试样对接起来后用卡尺测得）。

为使同一种材料的极限延伸率测量结果一致，并且便于不同材料的极限延伸率进行相互比较，在拉伸试验时应采用标准试样或比例试样。 $l_0 = 5d_0$  的试样（ $l_0$ ——试样的有效长度， $d_0$ ——试样的直径）称为五倍试样，所测得的极限延伸率

---

\* 有时可简称延伸率

用  $\delta_5$  表示。

$l_0 = 10d_0$  的试样称为 10 倍试样，所测得的极限延伸率用  $\delta_{10}$  表示。

② 极限断面收缩率\*：试样拉断后截面的减小量与试样原始截面积的百分比，通常用  $\psi_k$  表示。

$$\text{即 } \psi_k = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100\%$$

式中： $F_0$ ——试样拉伸前的原始断面积。

$F_k$ ——试样拉断后的截面积，对产生颈缩的钢材而言，为颈缩处的最小截面积。

极限延伸率和极限断面收缩率都是材料塑性的定量指标，而从材料破断后的断口也可以定性地分析材料的塑性情况及相应的内部结构。

凡断口呈杯锥状，边缘部分为纤维状，而中部渐凹的，称为塑性断口。具有这种断口的材料，其塑性较好，如中碳钢经退火、正火或调质状态下的工件。

凡断口齐平，无收缩状，内部呈颗粒状结构的，称为脆性断口。如铸铁、淬火钢等工件。

### 3. 冲击韧性：

在冲击负荷作用下，冲断金属材料所消耗的单位功，称为冲击韧性，通常用  $\alpha_k$  表示。

机械零件、构件及切削工具等，在偶然的冲击下发生突然

---

\* 有时可简称断面收缩率

破断的现象，促使人们对钢材抵抗冲击破断的能力进行研究。

因为冲击时确定试样上的力值很复杂，所以冲击试验只测定消耗于冲断试样上的功。

目前应用较广泛的是冲击弯曲试验。在作冲击弯曲试验时，通常采用带有缺口的方形截面试样。图 1—2 为我国的标准试样及冲击位置。

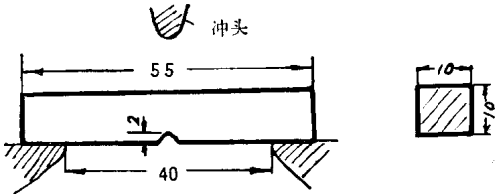


图 1—2 冲击试样及冲击位置

所测得的冲断试样的冲击功 ( $A_k$ ) 除以试样缺口处的断面积 ( $F_0$ ) (上面试样  $F_0 = 0.8$  厘米<sup>2</sup>)，称为冲击韧性，即：

$$\alpha_k = \frac{A_k}{F_0} \text{ (公斤——米/厘米}^2\text{)}$$

当钢材处于脆性状态时，很小的冲击载荷即可造成制件的破断。因此冲击载荷对于脆性状态的制件特别危险。脆性状态的出现有两方面原因：一是由于钢材的化学成分或热处理的原因造成钢材的组织变化，并引起性能的变化，使之在同样的试验条件下较其他材料的塑性低的多；另一方面当使用条件发生变化时，例如制件带有缺口、裂纹，或加荷速度增大，或处于低温时，亦可显著降低其塑性。也就是说，内外两方面的原因均可能使制件处于脆性状态。

上述冲击试验可以在一定程度上反映材料的变脆倾向性。

#### 4. 硬度

硬度试验有许多种方法，按着不同的方法，硬度这一概念的涵义亦有所不同，应用最广泛的是压入硬度试验法。按着这类方法，金属的硬度，可以理解为金属材料抵抗另一具有一定几何形状和尺寸的较硬物体（压头）压入其表面的能力。

##### ①布氏硬度法

在一定直径的淬火钢球上，加以一定的载荷，压入被测金属材料的表面，根据所加载荷的大小和所得凹痕面积来计算压痕球面上的平均压力，以此表示硬度的高低。布氏硬度用  $H_B$  表示。

$$\text{即 } H_B = \frac{P}{F_{\text{凹}}} \text{ (公斤/毫米}^2\text{)}$$

式中， $P$ ——所加载荷； $F_{\text{凹}}$ ——所得压痕面积。

在实际使用中，用放大镜（内带标尺）测量压痕直径  $d$  后，可以直接查表求得硬度值（参见图 1—3）。

为对同一材料获得接近几何形状相似（压痕深度和直径比例在某一范围之内）的压痕，对布氏硬度的压头直径  $D$  和载荷  $P$  不能任意选取，而应按有关规定确定。

对钢铁材料而言，按  $\frac{P}{D^2} = 30$  确定  $P$  与  $D$ ，即当  $D=10$  毫米时， $P$  取 3000 公斤； $D=5$  毫米时， $P$  取 750 公斤； $D=2.5$  毫米时， $P$  取 187.5 公斤。而  $D$  的选择，要考虑到被测制件的厚薄，详见表 1—1。

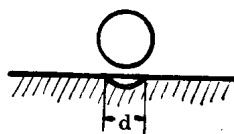
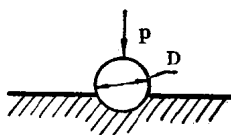


图 1—3

## 根据试样厚度、硬度选择钢球直径和载荷的数值

表 1—1

金属种类	布氏硬度值范围 (HB)	试样厚度 (毫米)	负荷 P 与钢球直径 D 的关系	钢球直径 D (毫米)	负荷 P (公斤)	负荷保持时间 (秒)
黑色金属	140~450	6~3	$P=30D^2$	10.0	3000	10
		4~2		5.0	750	
		<2		2.5	187.5	
有色金属	<140	>6	$P=10D^2$	10.0	1000	10
		6~3		5.0	250	
		<3		2.5	62.5	
有色金属	>130	6~3	$P=30D^2$	10.0	3000	30
		4~2		5.0	750	
		<2		2.5	187.5	
有色金属	36~130	>6	$P=10D^2$	10.0	1000	30
		6~3		5.0	250	
		<3		2.5	62.5	
有色金属	8~35	>6	$P=2.5D^2$	10.0	250	60
		6~3		5.0	62.5	
		<3		2.5	15.6	

由于布氏硬度是以淬火钢球为压头，所以只能测量硬度不高的材料。当  $H_B$  大于 450 时，由于钢球的严重变形，将使结果不准确。因此布氏硬度法适用于退火、正火及高温回火件的测量。

### ②洛氏硬度法

它以测量压痕深度为硬度计量指标。洛氏硬度用  $H_{RC}$  和  $H_{RB}$  表示。按下式标定硬度值。

$$H_{RC} = 100 - \frac{h}{0.002}$$

$$H_{RB} = 130 - \frac{h}{0.002}$$

式中,  $H_{RC}$ ——C 级洛氏硬度值;

$H_{RB}$ ——B 级洛氏硬度值;

$h$ ——压痕深度(毫米)。

测试时, 硬度值可在硬度计附加千分表上直接读出, 因此较为方便。

$H_{RC}$ 、 $H_{RB}$  两种硬度测量方法所用的压头、载荷及测量范围见表 1—2。

表 1—2

洛氏硬度符号	表盘符号	压头	载荷(公斤)		测量范围	适用材料
			予载	总载		
$H_{RC}$	C	120° 金刚石圆锥	10	150	20~67	淬火及回火钢
$H_{RB}$	B	$\frac{1}{16}$ 吋钢球	10	100	25~100	退火、正火及高温回火钢

其中 C 级洛氏硬度 ( $H_{RC}$ ) 在钢铁热处理质量检查中应用最多。因为它采用金刚石压头, 所以可测量硬度很高的材料, 如淬火和低温回火钢。

### ③ 维氏硬度法

其基本原理与布氏硬度相同, 即以压痕凹陷面积上所作用的平均应力表示硬度值。与布氏硬度法不同之处在于所用压头不是淬火钢球而是金刚石四方角锥。它的测量范围广, 所用载荷可按制件厚薄 (或测硬层厚薄) 任意选取 (一般在 1~120 公斤范围内)。维氏硬度用  $H_V$  表示。

由于维氏硬度所用载荷很小, 压入深度浅, 所以广泛用



来测量表面处理件的表层硬度，如测量渗碳层、氮化层及氰化层的硬度。它也常用来测定小工件，如仪表丝锥、小钻头的硬度。

测量表层硬度的有关数据见表 1—3

维氏硬度试验时选用的载荷 表 1—3

试样的表 面层厚度 (毫米)	维 氏 硬 度(HV)			
	25~50	50~100	100~300	300~900
	所 加 的 载 荷(公斤)			
0.3~0.5	—	—	—	5~10
0.5~1.0	—	—	5~10	10~20
1~2	5~10	5~10	10~20	10~20
2~4	10~20	20~50	20~50	20~50
>4	≥20	≥30	≥50	50、100、120

#### ④大型制件的硬度测量方法

测量大型制件硬度时，因不易搬运和安置，不便在硬度机上进行试验，所以可以将硬度试验设备安放到制件上进行测试。常用的方法有锤击硬度法和肖氏硬度法。

锤击硬度法：试验装置很简单，主要由淬火钢球和标准硬度片组成。测量时，把钢球放在被测制件和标准片之间，用手锤敲击。敲击后制件和标准片上都形成了硬度压痕。因标准片的硬度是已知的，同时钢球作用在制件上和标准片上的力相等，所以可根据两个硬度压痕直径的对比，按事先制好的图表查出制件的硬度值。

肖氏硬度法：硬度计主要由钢球和自动标尺组成。测量硬度时将钢球提升到某一固定高度，然后使之自由落下冲击制件表面。钢球和制件相碰后将自动跳回，根据回跳高度标