

钢铁热处理 基本知识

胡占元 袁明 编

161

冶金工业出版社

钢铁热处理基本知识

胡占元 袁 明 编

冶金工业出版社

钢铁热处理基本知识

胡占元 袁 明 编

*

冶金工业出版社出版

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/32 印张 5 1/4 字数 112 千字

1974年8月第一版 1974年8月第一次印刷

印数00,001~60,400册

统一书号: 15062·3131 定价(科三) 0.43 元

前 言

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，在无产阶级文化大革命和批林批孔运动的推动下，冶金工业战线呈现一派朝气蓬勃的大好形势。

为了适应冶金工业迅速发展的需要，我们在1964年出版的《热处理基本知识》一书基础上，进行修改补充编写成本书——《钢铁热处理基本知识》。

本书用较通俗的语言，叙述了钢铁热处理的基本理论和各种操作方法。同时，介绍了碳钢、合金钢、铸铁的热处理，以及金属学方面的基本知识。书中还列举了典型零件的热处理实例。可供冶金厂和机械厂从事热处理工作的工人及有关人员阅读。

本书编写过程中，曾深入到一些冶金厂和机械厂的热处理车间收集资料，征求意见，得到了有关领导、工人和技术人员的大力支持和热情帮助，在此表示感谢。

由于我们水平有限，经验不多，书中可能有不少缺点和问题，希望同志们批评指正。

编 者 1973. 12

目 录

前言

第一章	金属和合金的性能	1
一	金属和合金的物理性能.....	1
二	金属和合金的化学性能.....	5
三	金属和合金的机械性能.....	6
四	金属和合金的工艺性能.....	19
第二章	金属和合金的构造	21
一	金属的构造.....	21
二	金属的结晶过程.....	25
三	金属在固态下的转变.....	28
四	合金的构造.....	30
第三章	铁碳合金相图	34
一	钢铁的基本组织.....	34
二	铁碳合金相图分析.....	37
三	铁碳合金在冷却时的转变.....	41
四	铁碳合金相图的实际用途.....	45
第四章	热处理基础知识	48
一	什么是热处理.....	48
二	钢在加热时的转变.....	50
三	钢在冷却时的转变.....	54
四	退火.....	60
五	正火.....	66
六	淬火.....	68
七	回火.....	78

八	表面热处理·····	81
九	热处理时产生的缺陷及防止方法·····	89
第五章	碳钢的热处理·····	93
一	碳和杂质对钢性能的影响·····	93
二	碳钢的分类、编号和用途·····	96
三	碳素结构钢的热处理·····	103
四	碳素工具钢的热处理·····	105
第六章	合金钢的热处理·····	109
一	合金钢的分类和编号·····	109
二	合金钢热处理的特点·····	111
三	普通低合金钢的热处理·····	113
四	滚动轴承钢的热处理·····	117
五	高速钢的热处理·····	121
六	不锈钢的热处理·····	123
第七章	铸铁的热处理·····	127
一	铸铁的组织 and 性能·····	127
二	灰口铸铁的热处理·····	133
三	可锻铸铁的热处理·····	136
四	球墨铸铁的热处理·····	137
第八章	热处理常用设备·····	141
一	热处理炉·····	141
二	冷却设备·····	147
三	测量温度的仪器·····	148
附录一	洛氏硬度、布氏硬度及强度换算表·····	153
附录二	压痕直径与布氏硬度对照表·····	157

第一章 金属和合金的性能

在自然界里至今已发现的 103 种元素中，凡具有良好的导电、导热和可锻性能的元素称为金属，如铁、锰、铝、铜、铬、镍、钨等。而合金则是由两种或两种以上的金属元素，或者金属元素与非金属元素所组成的具有金属性质的物质，如钢是由铁和碳所组成的合金；黄铜是铜和锌的合金；青铜是铜和锡的合金等。这些合金在使用中的某些性能远比组成它的金属要好，所以现代工业中，合金已成为应用很广的金属材料，特别是钢和铁应用得更为广泛。

一 金属和合金的物理性能

金属和合金的物理性能包括有：比重、熔点、导电性、导热性、热膨胀性和磁性等。

1. 比重

比重是一个物体的重量与同等体积水的重量的比值。在相同体积下，比重愈大的物体其重量愈大。

几种常见金属材料的比重见表 1。

根据比重大小，可将金属分为轻金属和重金属。凡比重在“5”以下的金属叫做轻金属，而把比重超过“5”的金属叫做重金属。例如，镁和铝是轻金属；铁、铜、铅等为重金属。

对于金属材料来说，比重是一个重要的物理性能，特别是在航空工业中，为了增加有效载重量和减少燃料消耗，比重更是需要考虑的因素。例如，飞机的零件一半以上是用比

重较小，而强度足够高的铝和铝合金制造的。

表 1 几种常见金属材料的比重

材料名称	比 重	材料名称	比 重	材料名称	比 重
镁	1.7	铜	8.89	白口铁	7.2~7.5
铝	2.7	银	10.5	钢	7.8~7.9
锌	7.19	铅	11.3	黄铜	8.5~8.6
锡	7.3	金	19.3	青铜	7.4~9.2
铁	7.85	铂	21.45	铝合金	2.55~3.00
镍	8.9	灰口铁	6.8~7.4	镁合金	1.75~1.85

2. 熔点

金属和合金从固体状态向液体状态转变时的熔化温度，称为熔点。

每种金属和合金都有它自己的熔点，表 2 列出了几种常见金属材料的熔点。钢是铁碳合金，其熔点受钢中碳含量的影响。

表 2 几种常见金属材料的熔点

材料名称	熔点(°C)	材料名称	熔点(°C)	材料名称	熔点(°C)
钨	3400	镍	1455	锌	419
钼	2622	锰	1230	铅	327
钛	1800	铜	1083	锡	232
铬	1765	金	1063	铸铁	~1200
钒	1900	铝	658	碳钢	1450~1500
铁	1535	镁	627	青铜	865~900

熔点对于冶炼、铸造、焊接、配制合金等方面都很重要。金属的熔点低可以大大改善铸造工艺和焊接工艺。易熔合金可以用来制造印刷铅字、保险丝和防火安全阀的零件等；难熔合金可以用来制造耐高温的零件，在火箭、导弹、

燃气轮机、喷气飞机等方面获得了广泛的应用。

3. 导电性

金属能够导电的性能称为导电性。

金属是良好的导电体，但各种金属的导电性也各有不同。银的导电性最高，其次为铜和铝。如果以银的导电性当作100，那么铜的导电性为94，铝为55，铁为2，而钛的导电性仅为0.3。

当材料截面大小及其他条件相同时，导电性愈高的金属，电流通过时所产生的热量就愈小，所以在电气工程上多采用铜和铝作为输电用的导体。这样在送电过程中，电能的损失较小。

与导电性相反的性能称为电阻。电阻愈大的金属，电流通过它们所产生的热量就愈大。比如电加热炉的电热元件，像电阻丝、电阻带等，就可以选用电阻大的金属材料，如镍铬合金和铁铬铝合金等。

4. 导热性

金属能传导热的性能称为导热性。一般情况下，金属在导热方面的能力，比非金属大得多；善于导电的金属，一般也善于导热，反之亦然。导热的能力，以银为最好，铜次之。

在加热金属时，常需考虑金属的导热性。例如，合金元素较高的合金钢其导热性比碳钢差，所以对它们加热时速度应比碳钢慢些，这样才能保证内外温度均匀一致。

5. 热膨胀性

金属在温度升高时，产生体积胀大的现象称为热膨胀性。各种金属的热膨胀性能也不相同。通常用线胀系数来表示金属的热膨胀性，它的单位是毫米/毫米·°C或1/°C，即金属在温度升高1°C时其单位长度所伸长的大小（毫米）。

表 3 为几种金属的线胀系数。

表 3 几种金属的线胀系数(0~100℃)

金属名称	线 胀 系 数 $\alpha \times 10^6 (1/^\circ\text{C})$	金属名称	线 胀 系 数 $\alpha \times 10^6 (1/^\circ\text{C})$
锌	39.5	铜	17.0
锰	37	镍	13.4
镁	24.3	铁	11.76
锡	23	铬	6.2
铝	23.6	钛	8.2

铁道路轨间留有缝隙，就是为了防止温度升高时，铁轨发生膨胀而设计的。在轧钢时，轧辊温度升高，辊形会发生变化。因此，在设计辊型时也应从热膨胀方面予以考虑。

6. 磁性

在冶金工厂原料场地上的电磁吊车，它没有吊钩，而是用一块纯铁板绕了许多线圈，通电时，则能牢牢吸住成吨的钢铁料，并把它们吊起。这是因为在通电线圈的周围产生了磁场，使铁板强烈地被磁化而显示出磁性。

如果把纯铁板换成其它的金属板，如铝板或铜板，则它们在外加磁场作用下，有的磁化程度很微弱，有的还抗拒磁化。

这样，根据金属材料在磁场中受到磁化程度的影响，可把它们分为：铁磁性材料，即在外加磁场中，能强烈地被磁化到很大程度，如铁、钴、镍、钆等；顺磁性材料，即在外加磁场中，只是微弱地被磁化，如锰、铬、钼等；抗磁性材料，即抗拒或削弱外加磁场对材料本身的磁化作用，如铜、金、银、铅、锌等。

铁磁性材料在现代电力工业中占有重要的地位。根据使

用中对电磁性能的要求不同，又有软磁材料和硬磁材料之分。软磁材料是当外加磁场去除后，剩磁易被消除，同时在反覆磁化和退磁时，电能损耗最小，材料也不易发热，变压器、电机、测量仪表等用的铁心——硅钢片便属于软磁性材料。硬磁材料是当外加磁场去除后，材料本身留存很高的磁性，并且不易消除，直流发电机、电话机中的永久磁铁便属于硬磁材料。

顺磁性和抗磁性材料也统称为弱磁或无磁性材料。高合金奥氏体钢即所谓的无磁钢，是用来制造要求磁化程度很弱，或避免干扰电磁场的零件和结构材料，如电机转子的护环、甲板室、罗盘盒、仪表壳，以及变压器或电器的零件等。

二 金属和合金的化学性能

在我们的生活与工作环境中，常会看到金属材料受到周围介质的作用而发生破坏的现象。比如，潮湿的铁生了锈；盛了盐的铝制器皿长了斑痕；在高温锻造的钢坯，有一层层氧化铁皮的剥落……等等。

金属因介质的侵蚀作用受到破坏的现象，称为金属的腐蚀。金属抵抗各种介质（大气、水蒸气、有害气体、酸、碱、盐等）侵蚀的能力，称为金属的耐腐蚀性能，也叫金属的化学性能。

腐蚀对金属材料的危害很大。腐蚀不仅使金属材料本身受到损失，严重时还会使金属结构遭到破坏。因此，提高金属材料的耐腐蚀性能，对于节约金属消耗，延长金属材料使用寿命，具有现实的经济意义。

根据使用条件的不同，要求材料的耐腐蚀性能有所差

〔 5 〕

别，例如，制药、化肥、制酸、制碱等化工部门常应用很多耐酸性好的材料，如耐酸不锈钢；在制造锅炉和汽轮机零件等时，应用抗氧化性能高的耐热不起皮钢等。

钢的耐腐蚀性能与许多因素有关，例如，钢的化学成分、加工性质、热处理条件、组织状态以及介质和温度条件等，所以选用金属材料时，必须综合考虑这些因素，否则达不到耐腐蚀的效果。

三 金属和合金的机械性能

金属材料在进行加工时，以及被制成为机器零件或工具在使用时，都要受到外力的作用。通常把这种外力叫做载荷。载荷有大有小，方向也不尽相同。作用的情形有静止的、冲击的、变化的、不变化的。按照这些特点，可以把载荷区分为：压缩、拉伸、扭转、剪切和弯曲，如图 1 所示。

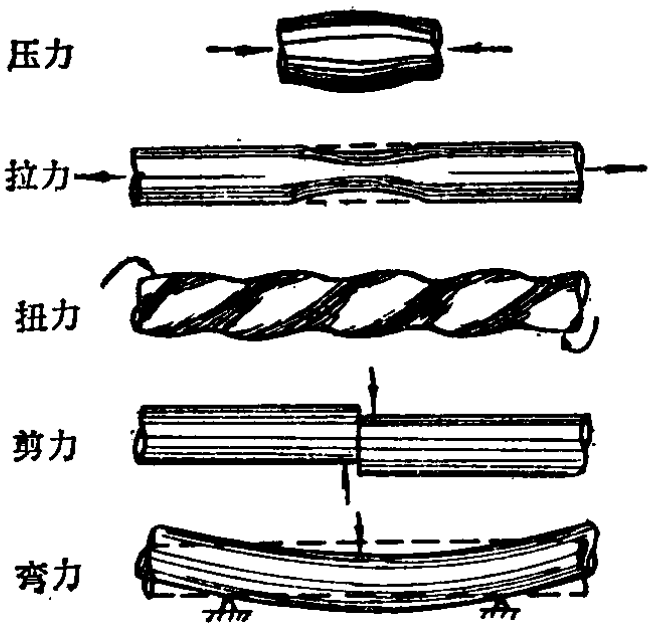


图 1 几种不同力的作用对金属材料引起的变形

金属和合金的机械性能主要包括：强度、塑性、硬度和

韧性等。

1. 强度

为了使钢轨在满载的列车重压下不会压扁，钢索在天车悬吊重载时不致伸长或被拉断，板弹簧在汽车自重和载重作用下不引起断裂，那么钢轨、钢索和板弹簧就应该具备相当的强度。

强度就是材料在外力作用下，能抵抗变形和不受损坏的一种能力。材料的强度可用其横断面上单位面积(1毫米²)所能承受的载荷(公斤)来表示，单位为公斤/毫米²。

按着材料所受外力的状态不同，材料强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗扭强度和抗剪强度五种。强度种类虽多，但在实际应用时主要测量抗拉强度。因为其它强度都与抗拉强度有一定关系，知道抗拉强度便可近似地预测其它强度数值。金属和合金的抗拉强度是通过拉伸试验来测定的。



图 2 拉伸试验的试样

(a) 圆形的； (b) 扁平的

拉伸试验是把被测定的金属材料制成一定尺寸的试样(图 2)，并把它装置在拉力试验机(图 3)上，随后对试样施加一个缓慢增加的拉伸载荷(P 公斤)，观察由于载荷的作用而引起试样变形(伸长量 Δl)和破断的过程(图 4)。

起初，试样的伸长与施加的载荷成正比关系，并且试样的变形是属于弹性性质，即如果把载荷去除，试样就能恢复到原来长度 l_0 ；当载荷逐渐增加到 P_p ，伸长与载荷的正比关系开始消失，即试样的伸长对比以前要相对多些；当载荷继续增加到 P_e ，试样的伸长不再完全属于弹性变形，即在载荷消除后，除部分弹性恢复外，还有极少量的变形被保留下来——塑性变形；当载荷增加到 P_s ，试样发生一种连续伸长的现象——屈服现象；当屈服现象停止后，继续增加载荷，试样继续伸长，一直到载荷超过某一最大值 P_b 后，试样便在较低于

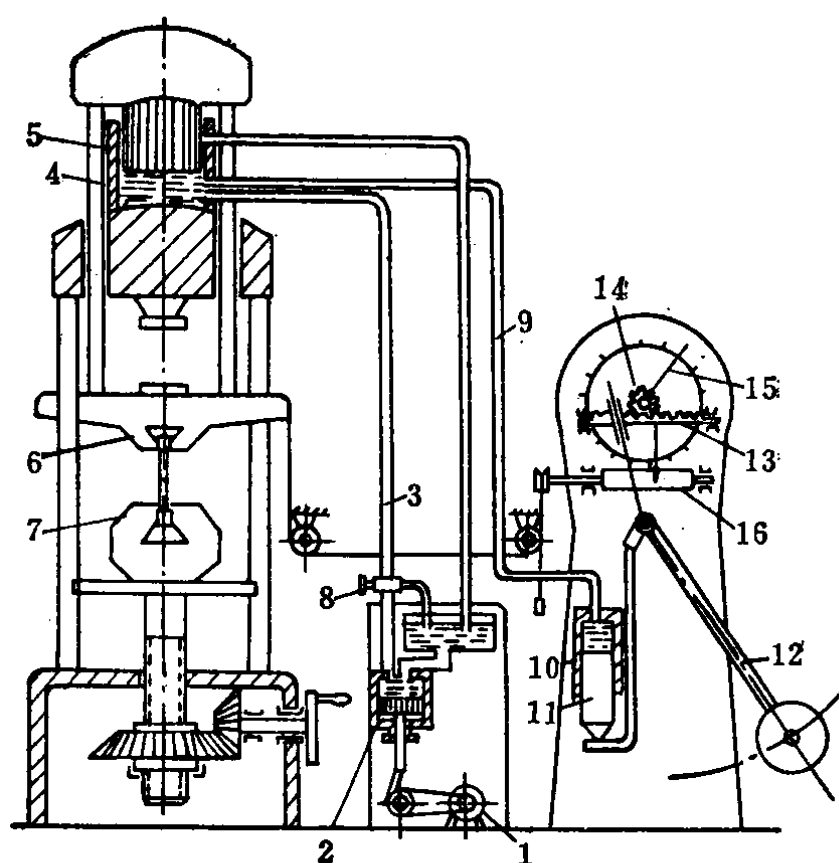


图 3 拉伸试验机示意图

1—电动机；2—油缸；3—油管；4—油缸；5—活塞；6—上夹头；7—下夹头；8—调节阀；9—油管；10—油缸；11—活塞；12—摆锤；13—齿条；14—齿轮；15—刻度盘；16—记录器圆筒

P_b 的载荷作用下拉断。

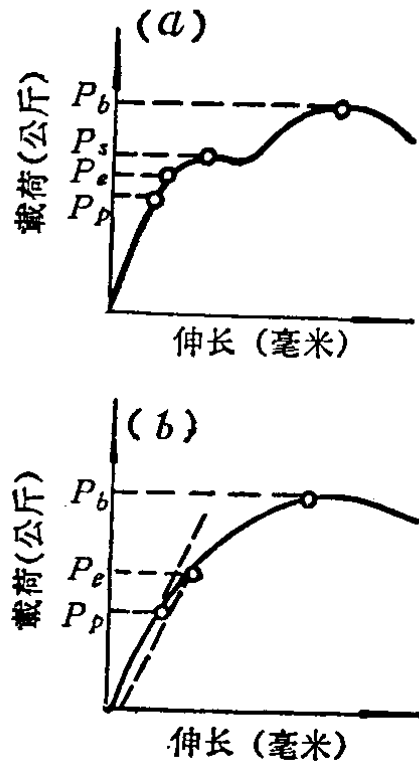


图 4 拉伸图

(a) 有屈服点的拉伸图；(b) 没有屈服点的拉伸图

如果拉伸试验时测得上述四种载荷数 (P_p 、 P_e 、 P_s 、 P_b)，并把它分别被试样的原来断面积除，则可获得被测金属材料四种强度值：

$$\text{比例极限 } \sigma_p = \frac{\text{比例极限点所受的载荷}}{\text{试样原来的断面积}} = \frac{P_p}{F_0} \quad (\text{公斤/毫米}^2)$$

$$\text{弹性极限 } \sigma_e = \frac{\text{弹性极限点所受的载荷}}{\text{试样原来的断面积}} = \frac{P_e}{F_0} \quad (\text{公斤/毫米}^2)$$

$$\text{屈服点 } \sigma_s = \frac{\text{开始发生屈服现象时所受的载荷}}{\text{试样原来的断面积}} = \frac{P_s}{F_0} \quad (\text{公斤/毫米}^2)$$

$$\text{抗拉强度 } \sigma_b = \frac{\text{断裂前所受的最大载荷}}{\text{试样原来的断面积}} = \frac{P_b}{F_0}$$

(公斤/毫米²)

知道金属和合金的抗拉强度和屈服点有着重要的实际意义。显然，材料决不能在承受超过其抗拉强度的载荷条件下工作，因为这必然导致结构或零件损坏；材料也不能在承受超过其屈服点的载荷条件下工作，因为这会引起金属结构和零件的变形。因此，当我们在设计金属结构或零件时，应根据材料的强度来确定它们所能承受载荷的能力，以使材料的强度得到最充分的利用，或者根据它们承受载荷的大小来选择合适的金属材料。

2. 塑性

塑性是金属材料受力后发生永久变形而不破坏的能力。

为什么要知道材料的塑性呢？这是因为塑性好的金属材料，在压力加工时可以给予大的变形量，如大多数钢，其塑性较好，可以用较大的变形量轧制、锻造使其变形；而有些合金钢塑性较差，轧制或锻造时就要考虑变形量不能太大，以免破裂。对于铸铁来说，其塑性几乎等于零，不能进行变形，所以铸铁只能铸造而不能进行锻造、轧制等压力加工。

金属材料塑性的高低是用两种指标来表示的，即伸长率和断面收缩率（又叫面缩率）。它们的数值也是通过拉伸试验，然后用下式计算求得：

$$\begin{aligned} \text{伸 长 率 } \delta &= \frac{\text{试件拉断后的长度} - \text{试件原来的长度}}{\text{试件原来的长度}} \\ &= \frac{L - L_0}{L_0} \times 100(\%) \end{aligned}$$

$$\text{断面收缩率 } \psi = \frac{\text{试件原来断面积} - \text{试件断裂处的断面积}}{\text{试件原来断面积}}$$

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

上面公式的意义：伸长率是试样破断后的伸长量对于原来长度来说，占百分之多少；断面收缩率是试样在断口处横断面积的缩减量，对于原来的面积占百分之多少。例如，20号钢的 $\delta \geq 26\%$ 、 $\psi \geq 55\%$ ，而60号钢的 $\delta = 12\%$ 、 $\psi = 35\%$ ，所以20号钢的塑性高于60号钢的塑性。

现举一个例子：有一个直径10毫米的中碳低合金钢试件，标距（作检验部分的长度）是50毫米，在拉力试验机上拉断。在试验中测得相当于比例极限的载荷 $P_p = 1650$ 公斤，相当于弹性极限的载荷 $P_e = 1800$ 公斤，相当于屈服点的载荷 $P_s = 2850$ 公斤，试件断裂前的最大拉力是5300公斤。断裂后量它的长度是62.5毫米，断裂处的直径是7毫米。

那么，试件原来的断面积：

$$F_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} = \frac{3.14 \times 10^2}{4} = 78.5 \text{毫米}^2$$

试件断裂处的断面积：

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \times 7^2}{4} = 38.5 \text{毫米}^2$$

式中： d_0 ——试件原来的直径；

d ——试件断裂处的直径；

π ——圆周率。

将拉力试验中所得的各数值代到前介绍的公式中：

$$\text{比例极限 } \sigma_p = \frac{1650}{78.5} = 21 \text{公斤/毫米}^2$$

$$\text{弹性极限 } \sigma_e = \frac{1800}{78.5} = 22.9 \text{公斤/毫米}^2$$