

建筑安装企业专业管理
人员岗位培训教材

安装材料学

建设部人事教育劳动司 组织编写
中国安装协会

四川科学技术出版社

ANZHUANG

建筑安装企业专业管理人员岗位培训教材

安 装 材 料 学

建设部人事教育劳动司 组织编写
中 国 安 装 协 会

宋 志 张 鹏 于德海 马正刚
黄忠英 赵世厚 邢宝斌 编

王祺泰 审

江苏工业学院图书馆
藏书章

四川科学技术出版社

1996·成都

建筑安装企业专业管理人员岗位培训教材

书 名 / 安装材料学

编 著 者 / 建设部人事教育劳动司 中国安装协会 组织编写

责任编辑·刘阳青

封面设计·韩健勇

版面设计·杨璐璐

责任校对·杨晓黎 王初阳

出版、发行 四川科学技术出版社

成都盐道街3号 邮编610012

经 销 新华书店重庆发行所

印 刷 内江新华印刷厂

版 次 1998年1月成都第一版

1998年1月第一次印刷

规 格 787×1092毫米 1/32

印张17.25 435千字

印 数 1—6700 册

定 价 18.50 元

ISBN7-5364-3099-X/TU·102

出版说明

根据(91)建教字522、524号文件和建教(1994)267号文件《关于实行建筑安装企业专业管理人员岗位培训制度的通知》的精神,1996年安装企业专业管理人员将实行持证上岗,为保证岗位培训工作的顺利进行,我司与中国安装协会组织编写了这套“安装企业专业管理人员岗位培训教材”。

该套教材覆盖了施工员、预算员、材料员、安全员、质量员、机械管理员等岗位,其中施工员分为机械设备、电气、管道、通风与空调四个专业工种,并附有一本《安装企业专业管理人员岗位培训教学大纲》与之配套。各地进行培训时,应按该大纲要求进行。

本套教材编写旨在突破以往教材的编写模式,充分体现针对性、实用性、先进性,即针对在岗安装企业专业管理人员,面向岗位需要,体现岗位特点,适用岗位需要,跳出普教模式,具有成人教育特点。在书中体现先进的新材料、新工艺、新技术、新设备,力求做到理论和实践相结合,应知和应会相结合,侧重于岗位实际工作能力的提高。

本套教材及教学大纲已通过全国各省市有关方面的专家审定,现由四川科学技术出版社出版,可作为安装企业专业管理人员岗位培训、自学用,也可作为中等学校学生参考用书。在使用过程中如发现问题,请及时函告我司和四川科学技术出版社,以便修正。

建设部人事教育劳动司

1994年5月

目 录

第一章 金属材料的性能 1	
第二章 铁、碳合金 8	
第一节 金属的同素异构转变..... 8	
第二节 铁、碳合金的基本相..... 9	
第三节 碳钢.....10	
第四节 合金钢.....17	
第五节 铸铁.....26	
第三章 钢的热处理34	
第一节 钢的退火与正火.....34	
第二节 钢的淬火与回火.....36	
第三节 钢的表面热处理.....38	
第四节 安装工程中热处理的应用.....40	
第四章 有色金属43	
第一节 纯铜.....43	
第二节 黄铜.....45	
第三节 青铜和白铜.....47	
第四节 纯铝.....49	
第五节 铝合金.....51	
第六节 锌 铅 锡 铋.....53	
第七节 钨 钛和硬质合金.....57	
第五章 非金属材料60	
第一节 塑料.....60	
第二节 常用润滑油.....86	
第三节 胶粘剂.....100	
第六章 钢结构工程材料107	
第七章 管道工程材料110	
第一节 无缝钢管.....110	
第二节 焊接钢管.....126	
第三节 铝管.....129	
第四节 纯钛管材 管件 阀门.....130	
第五节 铸铁管及管件.....133	
第六节 常用管件及法兰.....138	
第七节 钢管及管件的检验.....146	
第八节 阀门检验与阀门型号组成...147	
第八章 金属容器与锅炉工程材料152	
第一节 金属压力容器用材料.....152	
第二节 锅炉用材料.....157	
第九章 焊接工程材料168	
第一节 常用焊接方法.....168	
第二节 焊接材料.....172	
第十章 电气仪表工程材料180	
第一节 电气工程材料.....180	
第二节 仪表工程材料.....224	
第十一章 筑炉工程材料247	
第十二章 防腐 保温材料150	
第一节 防腐材料.....250	
第二节 保温材料.....257	
第十三章 工程材料的腐蚀与控制261	
第一节 金属的腐蚀.....261	
第二节 非金属材料的腐蚀.....264	
第三节 材料腐蚀的控制.....266	

第一章 金属材料的性能

在工业工程的设备安装中，使用金属材料量大，种类很多，正确合理地选择、保管好金属材料，对确保工程质量，减少材料消耗有着非常重要的意义。因此，每个工程技术人员与管理人员，了解、掌握金属材料的性能、用途、分类、供应状态是非常必要的。

一、金属材料的物理化学性能

金属材料的物理性能包括重度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性和磁性等。

1. 金属的重度

金属的重度是金属的重量和其体积之比值或是单位体积金属的重量，符号用 γ 表示，计算公式如下：

$$\gamma = \frac{G}{V} \text{ (克/厘米}^3\text{)}$$

式中：

G ——金属的重量（克）

V ——金属的体积（厘米³）

γ ——金属的重度（克/厘米³）

根据重度的大小可将金属分为轻金属与重金属，重度小于5（克/厘米³）以下的为轻金属，重度大于5（克/厘米³）以上的为重金属。常见金属的重度见表1—1。

表1—1 常见金属材料的重度 克/厘米³

材 料 名 称	重 度	材 料 名 称	重 度
镁	1.7	金	19.3
铝	2.7	铂	21.45
锌	7.19	灰口铁	6.8~7.4
锡	7.3	白口铁	7.2~7.5
铁	7.85	碳 钢	7.81~7.85
镍	8.5	黄 铜	8.5~8.85
铜	8.89	青 铜	7.5~8.9
钨	10.5	铝 合 金	2.55~2.84
铅	11.3	镁 合 金	1.75~1.85

2. 熔点

金属从固体状态向液体状态转变时的熔化温度称为熔点。每种金属都有自己的熔点。

3. 导电性

金属具有传导电流的能力称为导电性。导电性的好坏用电阻系数表示。电阻系数小的导电的性能好。金属导电性最好的是银，次之是铜和铝或它们的合金。长1米，截面积1毫米²的物体在一定温度下所具有的电阻数称为电阻系数ρ，单位是欧姆·毫米²/米。电阻系数的倒数 $\gamma = \frac{1}{\rho}$ 称为电导率。

4. 导热性

金属具有的传导热的能力称为导热性。金属大多是热的良导体。银的导热性最好，铜、铝次之。若银的导热性是1，则铜的导热性是0.9，铝则为0.5，铁为0.15。在金属的加热过程中要考虑导热性的影响，凡是导热性差的金属加热速度应慢一些，以防止加热不均。在一般情况下金属导热性越好，其导电性也越好。

5. 热膨胀性

金属在温度升高时产生体积膨胀的现象称为热膨胀性。反之，当温度下降时，金属的体积发生收缩称为热胀冷缩。绝大多数金属是这个规律，但也有异常，如铋、镓等，有热缩冷胀的特性。在加工选料、安装设备时都必须考虑金属的上述性能。金属的热膨胀通常用线胀系数d表示， $d = \frac{1}{l} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t}$ ，即金属在温度升高1℃时其单位长度伸长的数值。

6. 磁性

金属被磁铁磁化或吸引的性能称为磁性，根据磁性的不同常把金属分为铁磁材料、顺磁材料、逆磁材料三种。铁磁材料在外加磁场中能强烈的被磁化如钴、钼、镍等。顺磁材料有锰、铬、钨等，它们在外加磁场中只是微弱的被磁化。逆磁材料有铜、锡、铅、锌等能抗拒和削弱外加磁场对材料本身的磁化作用。就铁磁材料磁性也不是不变的，当加热到某一温度时就失去磁性，例如铁加热到768℃时就失去磁性。

表 1—2 常用金属的物理性能

金属名称	符号	密度* ρ(20℃) (克/厘米 ³)	熔 点 (℃)	导热系数 λ (卡/厘米·秒·℃)	线膨胀系数 α(0~100℃) (10 ⁻⁶ /℃)	电阻系数 ρ(0℃) (10 ⁻⁸ 欧姆·厘米)
银	Ag	10.49	960.8	1.0	19.7	1.5
铝	Al	2.6984	933.0	0.53	23.6	2.655
铜	Cu	8.96	1083	0.94	17.0	1.67~1.68(20℃)
铬	Cr	7.19	1903	0.16	6.2	12.9
铁	Fe	7.87	1537	0.18	11.76	9.7
镁	Mg	1.74	650	0.367	24.3	4.47
锰	Mn	7.43	1244	0.0119(-192℃)	37	185(20℃)
镍	Ni	8.90	1453	0.22	13.4	6.84
钛	Ti	4.508	1677	0.036(α)	8.2	42.1~47.8
锡	Sn	7.298	231.91	0.150	2.3	11.5
钨	W	19.3	3380	0.397	4.6(20℃)	5.1

* 密度：单位体积的质量。 $\rho = \frac{m}{V}$ (克/厘米³)，m物体的质量，V物体的体积。

7. 耐腐蚀性

金属材料在常温下抵抗氧水蒸汽等介质腐蚀的能力，称为耐腐蚀性。

8. 热安定性

金属在高温下对氧化抵抗的能力。例如：工业锅炉、加热设备、汽轮机等在高温下工作的零件其材料就要有良好的热安定性。

二、金属材料的力学性能

材料的力学性能是指金属材料抵抗不同形式外力（如拉力、压力、剪切力等）的能力，表达材料力学性能的基本指标有强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。

金属材料所受的外力作用称为载荷（或称负荷、负载）。载荷因其性质不同分为静载荷、冲击载荷、交变载荷。

1. 强度

指在外力的作用下金属抵抗塑性变形和断裂的能力。材料的强度可通过拉伸试验求得。

1) 拉伸试样。进行拉伸试验前，应做出同种材料的试样如图 1—1 (a)、(b) 所示。其试样尺寸及形状可按 GB228 规定选取。

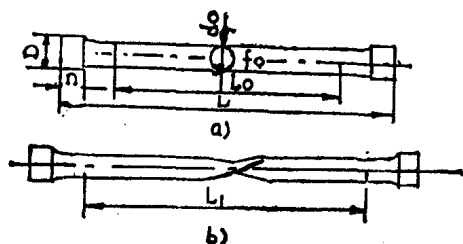


图1—1 钢的标准拉伸试样

(a) 拉伸前 (b) 拉伸后

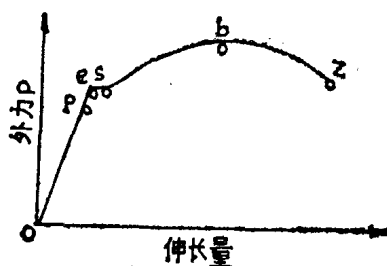


图1—2 低碳钢的拉伸曲线图

2) 拉伸曲线图。试样在拉力试验机上根据载荷增加与变形量的相应变化可绘出曲线。图 1—2 为低碳钢的拉伸曲线图。图中可以观察出低碳钢拉伸时可分为三个阶段。Ope 为弹性变形阶段，此阶段内，当载荷在一定限度 P_e 之内时，载荷与伸长量成正比，载荷除去后试样恢复原来的形状和尺寸。当载荷超过 P_e 且不大于 P_s 时，试样的伸长不再与载荷成正比关系，但仍属弹性变形阶段。即当外力除去变形仍立即消失。esb 为弹性—塑性变形阶段。s 点出现的水平线段表示，在载荷不变的情况下，试样继续伸长即材料产生了塑性变形。材料变形后使内部产生加工硬化，金属要继续变形，必须再增加载荷。过 b 点后开始出现缩颈现象，使变形集中在缩颈处。bz 为断裂阶段，由于缩颈出现后截面剧烈减小，试样不足以抵抗外力的作用，因此在 z 点发生断裂。

根据拉伸曲线上各种特殊点的外力与原截面的关系可以测定材料的强度指标。为了比较各种材料的强度指标，常用单位面积上材料的抗力来表示称应力，其计算为：

$$\sigma = \frac{P}{F}$$

式中： σ ——应力

P——外力

F——横截面积

有许多金属或合金材料，并没有明显的屈服现象发生，为表明这些材料的屈服极限，规定以试样产生伸长量为试样长度的 0.2% 时的应力作为材料的条件屈服极限，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。屈服极限是选择金属材料非常重要的机械性能，设备零件所受的应力，一般都应小于屈服极

限, 否则就会产生明显的塑性变形。

2. 塑性

金属的塑性是指在外力作用下, 能引起金属永久变形而不发生破裂, 并在外力消除后仍能保持变形后的形状的能力, 并以试样在拉伸试验中的延伸率和断面收缩率两指标表示金属塑性。

1) 延伸率。是指试样拉断后标距增长量与原始标距之长度比值的百分率, 即:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中: l_0 ——试样的原始标距长度

l_1 ——试样拉断后标距长度

δ ——延伸率

2) 断面收缩率: 是断口面积的缩减量与原截面面积之比值的百分率, 即:

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中: F_0 ——拉伸前试样的截面积

F_1 ——试样断后细颈处最小截面积

ψ ——断面收缩率

3) 冷弯试验: 容器、工业管道与锅炉的零部件由于需要进行大量弯曲和冲压等冷变形加工, 因此常用冷弯试验衡量材料室温的塑性。试样在规定的冷弯条件下弯到规定的角度, 一般根据试样弯曲表面有无裂纹或折断等破坏情况, 来评定材料的质量。冷弯的条件依据材料及试样厚度不同而定, 在材料有关技术标准中加以规定。因此冷弯试验的目的仅为在一定弯曲条件下比较材料的塑性。

3. 硬度

是金属抵抗比它更硬的物体压入的能力, 或者说是金属表面抵抗变形的能力。硬度表示材料坚硬的程度, 它是重要的机械性能指标之一。

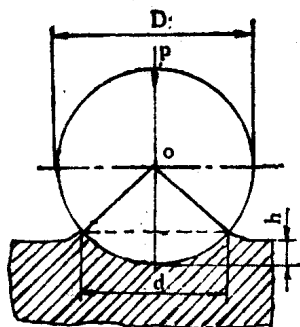


图1-3 布氏硬度试验

硬度的测定方法很多, 最常用的有布氏硬度试验、洛氏硬度试验和维氏硬度试验及肖氏硬度试验。

1) 布氏硬度。布氏硬度试验法是在一定的载荷P作用下, 将直径为D的钢球, 压入试样表面(如图1-3)保持一定的时间, 使塑性变形稳定后再卸去载荷, 然后根据试样表面留下的压痕球面积, 求出压痕单位面积所承受的平均压力($\frac{P}{F}$)作为被测金属的布氏硬度值。

$$HBS(HBW) = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中: P——加在试件上的压力

F——试件表面球压痕面积

HBS(HBW)——布氏硬度符号。HBS压头为淬火钢球; HBW压头为硬质合金

球。HBS适用低于450的金属材, HBW适用于450~650的金属材

D——钢球直径

d——压痕球面积直径

从式中可以看出，压痕直径 d 越大，说明材料对钢球压入变形抗力越低，即HB值越小材料越软，反之 d 值越小，HB值越大材料越硬。

通常，试验后用放大镜测得 d 值后从专用的布氏硬度换算表中直接查出HB值。

由于被测金属有软、硬不同，尺寸薄厚不同，大小之别，因此选用不同大小的球体直径 D ，施加载荷 P 和载荷保持时间。按GB231，球体直径有10、5、2.5、2和1五种，载荷与球体直径平方 $\left(\frac{P}{D^2}\right)$ 有30、15、10、5、2.5、1.25和1七种，其保持时间为，黑色金属10~15s，有色金属30s，布氏硬度值小于35时为60s。可根据材料的种类和布氏硬度值的范围，按表1—3选定 $\frac{P}{D^2}$ 值。

表 1—3 布氏硬度试验的 P/D^2 值的选择

材 料	布 氏 硬 度	P/D^2 ①
钢及铸铁	<140	10
	>140	30
铜及其合金	<35	5
	35~130	10
	>130	30
轻金属及其合金	<35	2.5(或1.25)
	35~80	10(或5、15)
	>80	10(或15)
铅、锡		1.25(或1)

① 试验条件允许时，应尽量选用10 mm球和无括号的 P/D^2 值。

用布氏法测定金属材料的硬度准确度高，但因压痕面积大，不适用于成品及薄片金属的硬度测试，并且不宜测定高硬度值的表面，因为钢球易变形和碎裂。

2) 洛氏硬度。洛氏硬度试验是将顶角为 120° 的金刚石锥体（用于硬质材料）或直径为1.59毫米的钢球，在一定载荷作用下压入被测金属表面，然后根据压痕的深度来测定试件的硬度值。用洛氏法测定硬度时载荷分两次加上，开始先加预载荷10公斤，使金刚石圆锥体或钢球压入金属表面，然后加主载荷140公斤（金刚石锥体）或90公斤（对于钢球）连续加载压入金属表面，待总载全部加上并稳定后，将主载荷除去，而在预载荷作用下测得的压痕深度 b 如图1—4所示。洛氏硬度值可以从硬度仪刻度盘上的指针直接指出，数值反映试件硬度高低，而无单位。洛氏硬度应用范围很广，可用于检验、试验各种钢材、有色金属、热处理后的机件及硬质合金等，在试验、检验时估计材料可能具有的硬度值而采用不同的压头与载荷，所得的硬度分别用三种符号表示HRA、HRB、HRC。洛氏硬度试验压头与载荷的关系，见表1—4。

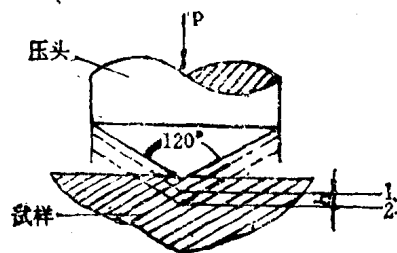


图1—4 洛氏硬度试验示意图

定后，将主载荷除去，而在预载荷作用下测得的压痕深度 b 如图1—4所示。洛氏硬度值可以从硬度仪刻度盘上的指针直接指出，数值反映试件硬度高低，而无单位。洛氏硬度应用范围很广，可用于检验、试验各种钢材、有色金属、热处理后的机件及硬质合金等，在试验、检验时估计材料可能具有的硬度值而采用不同的压头与载荷，所得的硬度分别用三种符号表示HRA、HRB、HRC。洛氏硬度试验压头与载荷的关系，见表1—4。

3) 维氏硬度、肖氏硬度。维氏硬度试验原理是将一个金刚石四棱锥体，在一定载荷作

表 1—4

常用洛氏硬度标尺的试验条件和应用

标尺符号	所用压头	总载荷/kgf	测量范围① HR	应 用 范 围
HRA	金刚石圆锥	60	60~85	碳化物、硬质合金、淬火工具钢、浅层表面硬化钢
HRB	1/16" (φ1.588mm) 钢球	100	25~100	软钢、铜合金、铝合金、可锻铸铁
HRC	金刚石圆锥	150	20~67	淬火钢、调质钢、深层表面硬化钢

① HRA、HRC所用刻度盘满刻度为100，HRB为130。

用下，压入试样表面然后根据对角线长度 d 计算出压痕的面积 F ，以单位面积上的应力值表示维氏硬度值，符号以HV表示。维氏法可以测试从极软到极硬和微薄层的试样硬度。维氏硬度试验原理示意图如 1—5。

肖氏硬度试验原理：它是利用一个一定重量（2~5克）钢球或冲头，自一定高度（254毫米）自由落到试样表面，借助试样弹性使之回跳，根据回跳的高度来确定试样的硬度，用符号HS表示。用来测定大型制品的硬度。

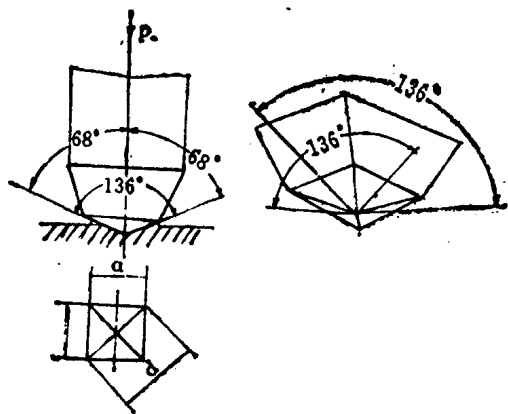


图1—5 维氏硬度试验原理示意图

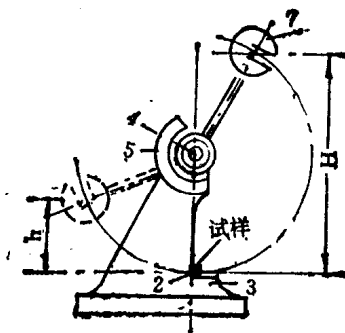


图1—6 冲击试验示意图

1—摆锤 2—试样 3—机架
4—指针 5—刻度盘

4. 冲击韧性

一些机械零件在工作中往往受冲击负荷的作用，即以很快速度作用于零件的负荷，而零件具有的抗冲击负荷的能力称为冲击韧性，以 a_K 表示。其计算方法如下。

$$a_K = \frac{A_K}{F}$$

式中： A_K ——冲断试样消耗的功

F ——试样断面截面积

冲击试验方法有冲击弯曲、冲击拉伸、冲击扭转等。以冲击弯曲应用最为普遍。通常是在摆锤试验机上进行，如图 1—6 所示。为了使试验结果能互相比较，所用试样必须标准化。按GB229和GB2106规定，其试样按标准有U与V两种缺口两种，其两种试样形式如图 1—7 所示。

冲击试验主要应用于：①评定材料的低温变脆倾向，有些金属材料在室温20℃试验时并不显示脆性，而在低温下则可能发生脆断，这一现象称为冷脆现象。为了测定金属材料开始

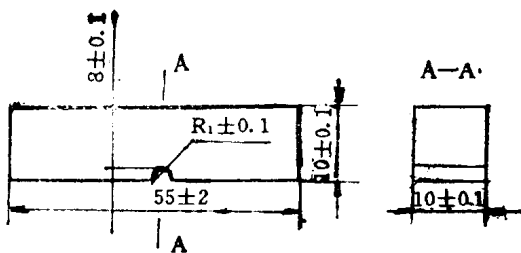


图1-7 冲击韧性的标准试样

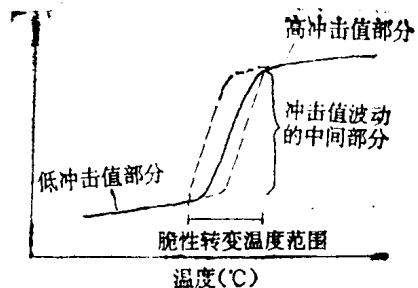


图1-8 冲击值-温度曲线示意图

发生冷脆的温度，要在不同温度下进行一系列冲击试验。如图1—8所示为某些材料的冲击韧度值—温度曲线示意图。这一低温脆性对于在寒冷地区或低温条件下工作的工程结构如输油管道、化工设备等尤为重要。②反映厚材料的冶金质量和零件热加工质量。冲击韧度值 a_K 对材料的内部结构、缺陷等具有较大的敏感性。很容易揭示出材料的某些物理现象如晶粒粗化、冷脆、回火脆性、夹渣、气泡、偏析等。故常用来检验金属材料的冶炼、热处理、热加工等的构件质量。

5. 疲劳强度

有些构件经常受大小、方向变化的交变载荷的作用，使金属材料长时间在小于强度极限载荷作用下产生断裂，这种现象叫金属材料的疲劳。金属材料在经受交变载荷作用下，不致引起断裂的最大应力称为疲劳强度，用 σ_{-1} 表示。碳素钢 $\sigma_{-1} \approx (0.4 \sim 0.55) \sigma_b$ ，灰口铁 $\sigma_{-1} \approx 0.4 \sigma_b$ ，有色金属 $\sigma_{-1} = (0.3 \sim 0.4) \sigma_b$ 。

6. 蠕变

在小于屈服强度的长期固定载荷作用下，金属材料逐渐产生塑性变形，这种现象称为蠕变。各种材料的蠕变情况与温度有关。钢材的蠕变在350℃以上才发生。为了确保金属材料使用的可靠性，需要掌握金属材料的蠕变极限，即金属在一定温度下，产生一定蠕变速度的应力。金属材料的蠕变极限愈大材料使用愈可靠。

三、金属材料的工艺性能

金属材料的工艺性能，指金属材料通过各种加工工艺方法易于加工成形的性能，如可切削性、可焊性、可铸造性、可锻造性等。

1) 铸造性：即金属能否用铸造方法制成优良铸件的性能，包括金属液态的流动性、冷却时的收缩率和偏析倾向等。

2) 锻压性：即金属能否用锻压方法制成优良锻件的性能，一般与材料塑性与塑性变形抗力有关。

3) 可焊性：即金属是否容易用一定的焊接方法焊成优良的接头的性能，可焊性好的金属能获得没有裂纹、气孔等缺陷的焊缝，并且焊缝具有一定的机械性能。

4) 切削性：金属材料能否被刀具切削的性能，称为切削加工性。切削性好的金属对刀具的磨损量小、切削用量大，加工表面比较光洁。

5) 冲压性：金属材料在冷态或热态下，受压力加工而产生塑性变化形成需要形状的性能，成形过程往往要在压力设备和胎具协助动作下完成。

第二章 铁、碳合金

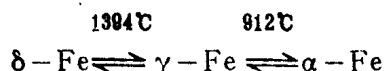
钢铁是现代工业中应用最广泛的金属材料，其基本组元是铁、碳两个元素称为铁、碳合金。普通碳钢与铸铁均属铁、碳合金范畴。而合金钢与合金铸铁实际上是有意加入合金元素的铁碳合金。

第一节 金属的同素异构转变

一、金属的同素异构转变

有些金属在固态下，其晶体结构会随着温度变化而发生改变，由一种晶格转变成为另一种晶格，这种现象称为金属的同素异构转变，由同素异构转变所得不同晶格的晶体称为同素异晶体，在常温下的同素异晶体一般用希腊字母 α 表示，在较高温度下的同素异晶体用 β 、 γ 、 δ 等表示，具有同素异晶转变的金属有铁、钴、钛、锡、锰等。

图2—1所示为纯铁的冷却曲线。从图中可看出液态纯铁在1538℃进行结晶得到具有体心立方晶格 δ -Fe，继续冷却到1394℃时发生同素异构转变，转变成具有面心立方晶格的 γ -Fe，继续冷却到912℃又发生同素异构转变为体心立方晶格的 α -Fe，如再继续冷却晶格类型不发生变化。其转变可以用下式表示。



金属的同素异构转变与液态金属的结晶过程相似，实质上是一个重结晶过程，因为它有一定的转变温度，同样遵循晶核形成和晶核长大的结晶规律，转变时也有结晶潜热的放出和过冷现象。

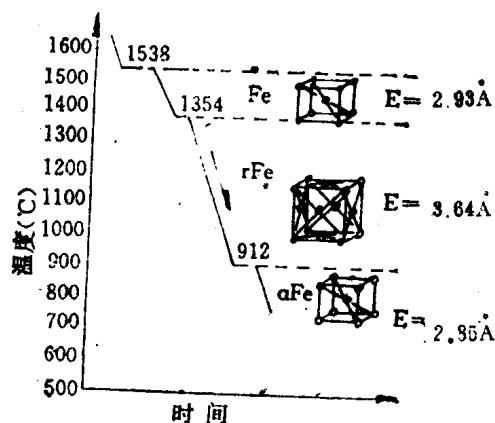


图2—1 纯铁的冷却曲线

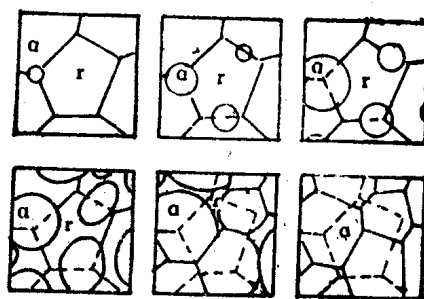


图2—2 γ -Fe $\rightarrow\alpha$ -Fe同素异构转变示意图

二、金属同素异构转变特点

由于同素异构转变是在固态下发生的，转变温度较低，所以与液态金相相比有以下特点：

- 1) 同素异晶体的晶核是在原来晶粒的晶界或某些特定部位形成的，如图 2—2 所示。
- 2) 同素异构转变具有较大的过冷度，这是由于在固态下原子扩散要比液态困难的多，因而结晶过程进行的较为缓慢，在较快的冷却条件下，转变过程就很容易被推到更低的温度发生。
- 3) 同素异构转变往往要产生较大的内应力（组织应力），这是由于晶格转变引起体积变化，例如 $\gamma\text{-Fe}$ 转变为 $\alpha\text{-Fe}$ 时体积膨胀约 1%，值得注意的是这是在较低温度下固态发生的，因此少量的体积变化就可能引起明显的内应力，这是引起金属材料变形甚至开裂的重要原因之一。纯铁的同素异构转变现象具有极其重要的意义，正因如此生产中才有可能对钢和铸铁进行热处理来改变其组织与性能。

第二节 铁、碳合金的基本相

纯铁具有良好的塑性，但其强度、硬度较低，所以工程上很少应用。铁、碳合金根据含碳量不同，碳可与铁组成化合物，也可在铁中形成固溶体或者形成化合物与固溶体的机械混合物。属固溶体的有铁素体与奥氏体。属于化合物的有渗碳体。

一、铁素体

纯铁在 912°C 以下是具有体心立方晶格 $\alpha\text{-Fe}$ 铁，碳溶于 $\alpha\text{-Fe}$ 的间隙固溶体称为铁素体，以符号 F 表示，由于 $\alpha\text{-Fe}$ 是体心立方晶格，其晶格的间隙直径很小，因而溶碳能力极差，在 727°C 时溶碳量最大 ($W_c = 0.0218\%$)，随着温度下降溶碳量逐渐减小，在 600°C 溶碳量更小，因此室温时性能几乎与纯铁相同，数值如下：

抗拉强度 δ_b	180~280MPa
屈服强度 $\delta_{0.2}$	100~170MPa
伸长率 $\delta \times 100$	30~50
断面收缩率 $\psi \times 100$	70~80
冲击韧度值 α_K	160~200J/cm ²
硬 度	~80HBS

由以上数值可看出铁素体的强度、硬度不高，但具有良好的塑性和韧性，铁素体在 770°C 以下具有铁磁性。

二、奥氏体

铁在 1394°C 以下具有面心立方晶格为 $\gamma\text{-Fe}$ ，碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的间隙固溶体称为奥氏体以符号 A 表示，其晶格间隙的直径要比 $\alpha\text{-Fe}$ 大，故溶碳能力较大，在 1148°C 时溶碳量最大 ($W_c = 2.11\%$)，随温度下降，溶碳量逐渐减少在 727°C 时的溶碳量为 $W_c = 0.77\%$ 。奥氏体的性能与溶碳量和晶粒大小有关。一般奥氏体硬度为 170~220HBS，伸长率 δ 为 40%~50%。因此，奥氏体的硬度较低而塑性较高。奥氏体存在 727°C 以上高温范围内，并且有非铁磁性。

三、渗碳体

渗碳体分子式为 Fe_3C ，它是一种具有复杂晶格的间隙化合物，渗碳体的 $W_c = 6.99\%$ ，

熔点为1227℃不发生同素异晶转变，但有磁性转变，它在230℃具有软磁性，在230℃以上则失去磁性，硬度很高（950~1050HV），而塑性和韧性几乎为零，脆性极大。渗碳体碳原子可被氮等小尺寸原子置换（Cr，Mn等）。这种渗碳体为溶剂的固溶体称为合金渗碳体如 $(\text{FeMn})_3\text{C}$ 、 $(\text{FeCr})_3\text{C}$ 。渗碳体在钢中、铸铁中与其它相共存时呈片状、球状、网状或板状，渗碳体是碳钢中主要的强化相，它的形态与分布对钢的性能影响很大。

第三节 碳 钢

钢是一种非常重要的工程材料，尽管有色金属、陶瓷、塑料及复合材料用途日益广泛，但钢仍然是应用最广泛的工程材料。钢按化学成份分为碳钢、合金钢两大类。碳钢除铁、碳为主要成份外，还含有少量的锰、硅、硫、磷等杂质元素。碳钢即含碳量低于2.16%的铁碳合金。

一、杂质对碳钢性能的影响

碳钢常存杂质有锰、硅、硫、磷、氧、氮、氢等。

1. 锰的影响

锰是炼钢时用锰铁脱氧而残留在钢中的元素。锰具有很好的脱氧能力，能够清除钢中的FeO，大大的改善钢的品质，特别是降低钢的脆性。锰可以和硫形成MnS，消除硫的有害作用，改善钢的加工性，因此碳钢中常保持一定的含锰量。锰在铁中有一定的固溶度形成含锰铁素体，对钢起到强化作用，也溶于渗碳体中形成合金渗碳体。总的看锰对碳钢的性能有良好的影响，是一个有益的元素。

2. 硅的影响

硅也是作为脱氧剂加入钢中的，其脱氧作用比锰还要强。能消除杂质FeO对钢品质的不良影响。硅大部份溶于铁素体中，它能提高钢的强度。

3. 硫的影响

硫是炼钢时由矿石与燃料带到钢中来的杂质。硫在铁中几乎不能溶解，而与铁形成化合物FeS。FeS与Fe形成低熔点的共晶体（熔点985℃），它低于钢热加工的起始温度（1150~1200℃）。在热加工时，由于分布在晶界上的共晶体，已经熔化，而导致加工时开裂，这种现象叫热脆性。为了消除硫的影响应增加钢中锰的含量，因为锰和硫有更大的亲合力而形成硫化锰（MnS）。硫化锰的熔点（1620℃）比钢材加热温度高，由此可消除钢的热脆性。硫对钢的焊接性有不良的影响即容易导致焊缝热裂，在焊接时硫易于氧化生成SO₂以致焊缝中产生气孔和疏松。

因此，一般将硫作为钢中的有害杂质加以限制。但硫能改善钢材的切削性，对机械加工有益。

4. 磷的影响

磷是从矿石中带入钢中的，在炼钢中难以除尽。钢中磷的含量即便有千分之几，也会因析出脆性化合物Fe₃P，而使钢的脆性增加，此外，磷在结晶过程中易产生晶内偏析，使局部区域含磷量过高导致低温冷脆。特别是低温时，磷会降低钢的可焊性，含量过高时易产生焊接裂纹。对高寒和其它低温条件下工作的结构件具有严重的危害性。为此一般限制钢中的含磷量。但磷能改善切削性及提高抗蚀性，故在易切削钢中，可适当增加磷的含量。

5. 氧的影响

炼钢实际是一个氧化过程，在炼钢时为了促进碳和杂质的氧化，必需加入氧化剂（或吹氧）。因此钢液中常存留过剩的氧，虽然在冶炼末期进行脱氧，但不可能除尽，部份形成 FeO 、 Al_2O_3 等非金属类杂物，对钢的性能起着恶劣的影响。随着氧的含量增加，使钢的强度、塑性和韧性降低，疲劳强度显著下降，造成钢的冷、热加工性能变坏。而且脱氧不完全的钢，可焊性很差，易产生气孔和裂纹。

6. 氢的影响

钢中的氢一般是由锈、含氢炉料或浇注系统带入。钢中含氢会引起钢的氢脆、白点等缺陷。氢脆即是指氢能扩散到钢中应力集中区，并间隙溶解到承受张应力的晶格中去，使其塑性下降到几乎等于零。白点是指热轧钢坯中特殊的小裂纹（称发裂），其形成主要是氢脆和应力共同作用的结果。降低钢液中含氢量，能有效的防止氢脆、白点的产生。

二、碳素钢的分类

钢材的分类方法很多：

- 1) 按化学成份：低碳钢、中碳钢、高碳钢。
- 2) 按用途分：结构钢、工具钢、特殊用钢。
- 3) 按金相组织分：奥氏体钢、马氏体钢。
- 4) 按冶炼方法分：沸腾钢、镇静钢。
- 5) 按质量等级分：普通碳钢、优质碳钢、高级优质碳钢。

现将几种主要分类方法简述如下：

1. 按碳钢化学成份分

- 1) 低碳钢——含碳量小于0.25%；
- 2) 中碳钢——含碳量在0.25%~0.55%；
- 3) 高碳钢——含碳量大于0.55%。

2. 按碳钢用途分

- 1) 碳素结构钢——含碳量在0.7%以下，用于工程结构用钢和机械设备零件；
- 2) 碳素工具钢——含碳量在0.7%以上，用于制造各种工、量、刀具用钢。

3. 按钢的质量分

- 1) 普通碳素钢——钢中硫、磷含量较高。一般硫含量不大于0.055%，磷含量不大于0.045%；
- 2) 优质碳素钢——钢中硫、磷含量较低。硫不大于0.045%，磷不大于0.04%；
- 3) 高级优质碳素钢——钢中硫、磷杂质含量很低，硫含量不大于0.03%，磷含量不大于0.035%。

4. 按冶炼方法分

1) 沸腾钢——在熔炼末期钢液仅用脱氧剂锰铁不完全脱氧，在钢液中保留相当数量的 FeO ，在浇注凝固时，由于碳和 FeO 发生反映，钢液中不断析出 CO 而沸腾，称为沸腾钢，这种钢内部分布许多小气孔，轧成钢坯后头部切除量小，成材率高，成本较低，在钢锭表层有一定厚度的致密层，轧成钢板时质量较好。

但沸腾钢偏析成份大，内部组织不致密，性能不均匀，冲击韧性较差，所以机械性能要求高的零件不采用此钢。

2) 镇静钢——钢液在浇注前经过完全脱氧，凝固时不沸腾称为镇静钢，钢锭结构致密质量较高，但成材率低。

3) 半镇静钢——脱氧程度介于沸腾钢与镇静钢之间的钢。

三、碳结构钢

碳素结构钢在使用中主要用以承受负载，要求有较高的强度、塑性、韧性。按着钢的质量可将碳素结构钢分为普通碳素结构钢与优质碳结构钢二类。

表 2—1 碳素结构钢牌号及化学成分 (摘自GB700—88)

牌 号	等 级	化 学 成 分					脱氧方法
		$\omega_C \times 100$	$\omega_{Mn} \times 100$	$\omega_{Si} \times 100$	$\omega_S \times 100$	$\omega_P \times 100$	
				不 大 于			
Q195	—	0.08~0.12	0.25~0.50	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
Q215	A	0.09~0.15	0.25~0.55	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
	B				0.045		
Q235	A	0.14~0.22	0.30~0.65	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
	B	0.12~0.20	0.30~0.70		0.045		
	C	≤ 0.18	0.35~0.80		0.040	0.040	Z
	D	≤ 0.17			0.035	0.035	TZ
Q255	A	0.18~0.28	0.40~0.70	0.30	0.050	0.045	Z
	B				0.045		
Q275	—	0.28~0.38	0.50~0.80	0.35	0.050	0.045	Z

注：Q235A、B级沸腾钢锰含量上限为0.60%。

表 2—2 碳素结构钢力学性能 (摘自GB700—88)

牌号	等级	拉 伸 试 验													冲击试验	
		屈服点 σ_s /MPa						抗拉强度 σ_b /MPa	伸长率 $\delta_5 \times 100$						温度 ℃	V型冲击吸 收功(纵向) /J
		钢材厚度(直径)/mm							钢材厚度(直径)/mm							
		≤ 16	$\begin{matrix} >16 \\ \sim \\ 40 \end{matrix}$	$\begin{matrix} >40 \\ \sim \\ 60 \end{matrix}$	$\begin{matrix} >60 \\ \sim \\ 100 \end{matrix}$	$\begin{matrix} >100 \\ \sim \\ 150 \end{matrix}$	>150		≤ 16	$\begin{matrix} >16 \\ \sim \\ 40 \end{matrix}$	$\begin{matrix} >40 \\ \sim \\ 60 \end{matrix}$	$\begin{matrix} >60 \\ \sim \\ 100 \end{matrix}$	$\begin{matrix} >100 \\ \sim \\ 150 \end{matrix}$	>150		
		不 小 于							不 小 于							
Q195	—	(195)	(185)	—	—	—	—	315~390	33	32	—	—	—	—	—	—
Q215	A	215	205	195	185	175	165	335~410	31	30	29	28	27	26	—	—
	B														20	27
Q235	A	235	225	215	205	195	185	375~460	26	25	24	23	22	21	—	—
	B														20	27
	C														0	
	D														-20	
Q255	A	255	245	235	225	215	205	410~510	24	23	22	21	20	19	—	—
	B														20	27
Q275	—	275	265	255	245	235	225	490~610	20	19	18	17	16	15	—	—