

中华人民共和国机械工业部统编

机械工人技术培训教材

金相工基础

(初、中级合用本)

科学普及出版社

中华人民共和国机械工业部统编
机械工人技术培训教材

金 相 工 基 础

(初、中级合用本)

科 学 普 及 出 版 社



B

423926

内 容 提 要

本书是中华人民共和国机械工业部统编的机械工人技术培训教材。它是根据原一机部《工人技术等级标准》和教学大纲编写的。全书共分二十三章,主要内容包:金属学及热处理基础知识、金属材料及金相检验方法、金相试验技术及设备等知识。

根据教学大纲的要求,凡是带*符号的章节为初级工技术培训的内容;凡带**符号的章节为中级工技术培训内容。

本书由于海巢、马培德同志编写,由朱书宝、徐志超、徐风同志审查。

中华人民共和国机械工业部统编 机械工人技术培训教材

金 相 工 基 础

(初、中级合用本)

责任编辑:宝 成

科学普及出版社出版(北京海淀区白石桥路32号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京印刷一厂印刷

开本:787×1092毫米 1/16 印张:25 字数:570千字

1987年6月第1版 1987年6月第1次印刷

印数:1—17,200册 定价:4.35元

统一书号:15051·1201 本社书号:1318

对广大工人进行比较系统的技术培训教育，是智力开发方面的一件大事，是一项战略性的任务。有计划地展开这项工作，教材是关键。有了教材才能统一培训目标，统一教学内容，才能逐步建立起比较正规的工人技术教育制度。

教材既是关键，编写教材就是一件功德无量的事。在教材行将出版之际，谨向为编写这套教材付出辛勤劳动的同志们致以敬意！

机械工业部第一副部长 杨 铎

一九八二年五月

前 言

为了更好地落实中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，对工人特别是青壮年工人进行系统的技术理论培训，以适应四化建设的需要。现确定按初级、中级、高级三个培训阶段，逐步地建立工人培训体系，使工人培训走向制度化、正规化的轨道，以期进一步改善和提高机械工人队伍的素质。一九八一年，根据机械工人队伍的构成、文化状况及培训的重点，我们组织了四川省、江苏省、上海市机械厅(局)和第一汽车厂、太原重型机器厂、沈阳鼓风机厂、湘潭电机厂，编写了三十个通用工种的初级、中级的工人技术培训教学计划、教学大纲及其教材，作为这些工种工人技术理论培训的统一教学内容。

编写教学计划、教学大纲及其教材的依据，是原一机部颁发的《工人技术等级标准》。初级技术理论以二、三级工“应知”部分为依据，是建立在初中文化基础上的。它的任务是为在职的初级工人提供必备的基础技术知识，指导他们正确地使用设备、工装夹具、量具、按图纸和工艺要求进行正常生产。中级以四、五、六级工“应知”部分为依据，并开设相应的高中文化课，在学完了初级技术理论并具有一定实践经验的工人中进行。它的任务是加强基础理论教学，使学员在设备、工装夹具、结构原理、工艺理论、解决实际问题的能力上有所提高(高级以七、八级工“应知”部分为依据，这次未编)。编写的教材计有：车工、铣工、刨工、磨工、齿轮工、镗工、钳工、工具钳工、修理钳工、造型工、化铁工、热处理工、锻工、模锻工、木模工、内外线电工、维修电工、电机修理工、电焊工、气焊工、起重工煤气工、工业化学分析工、热工仪表工、锅炉工、电镀工、油漆工、冲压工、天车工、铆工等工艺学教材和热加工的六门基础理论教材：数学、化学、金属材料及其加工工艺、机械制图、机械基础、电工基础。一九八四年，我们又组织编写了值班电工、划线工、机械性能试验工、粉末冶金工艺学教材和金相工基础：六门基础理论教材：冷加工类的机械基础、机械制图、电工基础、机械加工工艺基础、金属材料及热处理和电工类的电工基础。

在编写过程中，注意了工人培训的特点，坚持了“少而精”的原则。既要理论联系生产实际，学以致用，又要有理论的高度和深度；既要少而精，又要注意知识的科学性、系统性、完整性；既要短期速成，又要循序渐进；在教学计划中对每个工种的培养目标，各门课程的授课目的，都提出了明确的要求，贯彻了以技术培训为主的原则。文化课和技术基础课的安排，从专业需要出发，适当地考虑到今后发展和提高的要求，相近工种的基础课尽量统一。

这套教材的出版，得到了有关省、市机械厅(局)、企业、学校、研究单位和科学普及出版社的大力支持，在此特致以衷心的感谢。

编写在职工人培训的统一教材，是建国三十年来第一次。由于时间仓促，加上编写经验不足，教材难免还存在不少缺点和错误，我们恳切地希望同志们在试行中提出批评和指正，以便进一步修改、完善。

机械工业部工人技术培训教材编审领导小组

一九八五年三月

目 录

第一章 金属学基础知识.....	1
*第一节 金属材料的基本性能.....	1
*第二节 金属的晶体结构	11
*第三节 金属的结晶及同素异构转变	13
*第四节 合金的结构	15
**第五节 二元合金状态图	17
*第六节 铁碳合金及其组织	21
*第七节 钢的生产加工过程对钢组织和性能的影响	31
复习题	39
*第二章 钢的热处理及其金相组织	40
第一节 钢在加热时的组织转变	40
第二节 钢在冷却时的组织转变	44
第三节 珠光体、马氏体和贝氏体	47
第四节 钢的退火、正火及其组织	55
第五节 钢的淬火及其组织	57
第六节 钢的回火及其组织	61
第七节 常见的热处理缺陷	67
复习题	72
*第三章 钢的化学热处理及其渗层金相检验	73
第一节 概述	73
第二节 钢的渗碳及渗碳层检验	73
第三节 氮化及氮化层的金相检验	77
第四节 碳氮共渗及其渗层检验	86
复习题	91
第四章 常用热处理炉及测温仪表.....	92
*第一节 常用热处理炉	92
**第二节 热处理常用测温仪表	93
复习题	98
*第五章 碳钢及其金相检验	99
第一节 碳和杂质元素对钢性能的影响	99
第二节 碳钢的分类.....	100
第三节 碳素结构钢及其金相检验.....	100
第四节 碳素工具钢及其金相检验.....	105
第五节 碳素铸钢.....	109
复习题	110
**第六章 合金钢的分类编号及合金元素在钢中的作用.....	111
第一节 合金元素在钢中的作用.....	111

第一节	合金钢的分类及编号	112
复习题		113
第七章	合金结构钢及其金相检验	114
第一节	普通低合金结构钢及其金相检验	114
第二节	合金渗碳钢及其金相检验	116
第三节	合金调质钢及其金相检验	120
第四节	弹簧钢及其金相检验	122
第五节	滚动轴承钢及其金相检验	125
第六节	合金工具钢及其金相检验	132
第七节	合金刀具钢及其金相检验	133
第八节	高速工具钢及其金相检验	137
第九节	模具钢及其金相检验	146
第十节	量具钢	154
复习题		155
第八章	特殊性能钢及其金相检验	156
第一节	不锈钢及其金相检验	156
第二节	耐热钢及其金相检验	171
第三节	耐磨钢	177
复习题		178
第九章	粉末冶金及其制品金相检验	179
第一节	粉末冶金工艺简介	179
第二节	铁基、铜基粉末冶金制品的金相检验	180
第三节	硬质合金的金相检验	183
复习题		188
第十章	铸铁及其金相检验	189
第一节	铁碳双重状态图	189
第二节	铸铁分类及牌号	189
第三节	影响铸铁石墨化的因素	192
第四节	铸铁的金相检验	193
复习题		212
第十一章	有色金属及其合金的金相检验	213
第一节	铝及铝合金及其金相检验	213
第二节	铜及铜合金的金相检验	226
复习题		233
第十二章	焊接金相简介	234
第一节	焊接接头的特征区域	234
第二节	焊接接头各特征区的组织	234
第三节	焊接接头的缺陷	246
第四节	焊接金相检验注意事项	252
复习题		254
第十三章	钢的低倍组织检验	255

第一节	断口检验	255
第二节	酸蚀试验	263
第三节	塔形车削发纹检验法	273
第四节	硫印试验	276
	复习题	278
*第十五章	钢的非金属夹杂物、晶粒度及脱碳层金相检验方法	279
第一节	钢中非金属夹杂物检验	279
第二节	钢的晶粒度测定	287
第三节	钢的脱碳检验	291
	复习题	294
*第十六章	定量金相简介	295
	复习题	301
**第十七章	废品金相分析概述	302
第一节	断口分析简介	302
第二节	废品分析的一般步骤	305
第三节	废品成因	307
第四节	废品分析实例	308
	复习题	311
**第十八章	金属材料的物理、化学检测方法简介	312
第一节	电子显微镜技术简介	312
第二节	热膨胀分析法简介	315
第三节	金属材料的无损检验简介	316
第四节	金属材料的化学成分分析简介	319
	复习题	323
*第十九章	金相试样的制备	324
第一节	金相试样的选取	324
第二节	金相试样的镶嵌	325
第三节	金相试样的磨制	326
第四节	金相试样的抛光	328
第五节	金相显微组织的显示	333
	复习题	337
第二十章	金相显微镜	338
*第一节	金相显微镜的原理、构造及放大倍数的实测校准	338
*第二节	物镜和目镜的类型和性能	340
第三节	金相显微镜的调整及附件的使用	344
*第四节	金相显微镜的维护保养	349
第五节	显微硬度试验	350
	复习题	354
第二十一章	金相显微摄影技术	355
*第一节	摄影原理概述	355
*第二节	暗室技术	360
**第三节	金相彩色摄影简介	368

复习题.....	372
*第二十二章 钢的火花鉴别	373
复习题.....	379
第二十三章 金相试验室技术管理及安全技术知识	380
复习题.....	384
附录 I 常用显影、定影液配方	385
附录 II 表面光洁度及其符号与表面粗糙度及其符号对照表	389
附录 III 本书所用非法定计量单位与法定计量单位对照表	389

第一章 金属学基础知识

第一节 金属材料的基本性能

一、金属与合金的概念

1. 金属的一般概念 金属通常是具有光泽、良好的导电性和导热性以及可锻性的物质。但不是所有金属都具有上述特征，不能以这些特征作为区别金属与非金属的根本标志。实际上金属与非金属的最根本的区别在于原子间的结合方式不同。

众所周知，各种物质都是由无数原子组成的，而原子又是由带正电荷的原子核和一定数目绕核运转、带有负电荷的电子所组成的。金属原子结构的特点是最外层电子数目较少，除少数为3~4个外，一般只有1~2个。并且这些电子与原子核的结合力较弱，容易摆脱原子核的引力，脱离外层轨道在金属内部作自由运动，这些电子称作自由电子。与此同时，失去价电子的金属原子则变成正离子。金属中总是存在着大量的自由电子和正离子。其中正离子按照一定的几何形式规则地排列，并在其固定位置上作微弱的热振动，而自由电子则在正离子之间自由运动，为整个金属中的正离子所共有，形成所谓“电子气”，见图1-1。金属就是靠正离子与公有化的自由电子间的相互作用而牢固地结合，金属原子的这种结合方式叫做金属键。

根据金属键的简单模型，可以粗略地解释金属的某些特性。例如金属的导电性是在外电压的作用下自由电子作定向运动的结果，当定向运动的自由电子受到偏离平衡位置的金属正离子的阻碍时，在宏观上就表现为电阻。随着温度的升高，正离子的热振动加剧，自由电子作定向运动也将受到更大阻碍。金属的电阻就随着温度的升高而增加，因此凡是金属一定具有正的电阻温度系数。可以认为正的电阻温度系数是区别金属与非金属的根本物理特性。

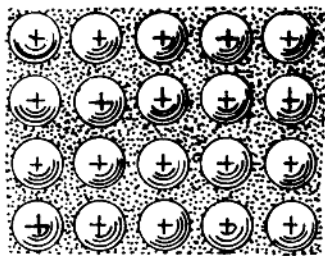


图 1-1 金属结构示意图

2. 合金的一般概念 由一种金属和另外一种或几种金属或非金属材料所组成的具有金属性质的物质称为合金。工业上常用的碳钢和铸铁就是铁和碳组成的合金。

实际上，由于冶炼的原因，绝对纯的金属是不存在的。工业上或科研中使用的所谓纯金属，都是或多或少地含有某些杂质的。由于合金往往比纯金属具有更好的机械性能，所以合金得到了更广泛的应用。

3. 金属材料的一般概念 金属和合金统称为金属材料。工业用的金属材料可分为黑色金属和有色金属两大类。以铁为基础形成的合金称为黑色金属材料，如钢和铁。除此以

外的金属材料统称为有色金属材料，如铜及铜合金，铝及铝合金等。

机械工业生产中使用的金属材料种类很多，要正确合理地选用金属材料，充分发挥其性能潜力，就必须了解金属材料的基本性能。

二、金属材料的物理性能和化学性能

金属材料的主要物理性能有密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性和磁性等。主要化学性能有耐腐蚀性、抗氧化性及化学稳定性等。

1. 密度 金属的密度是单位体积金属的质量，常用符号 ρ 表示，它的单位是克/厘米³。在体积相同的情况下，金属的密度越大，重量也越大。

按照密度的大小，金属可分为轻金属和重金属。密度小于5克/厘米³的金属叫做轻金属，例如铝的密度为2.7克/厘米³，属于轻金属。密度大于5克/厘米³的叫重金属，例如铁的密度7.8克/厘米³，属于重金属。金属材料的密度是很重要的性能，用它可以计算零件的重量。若达到同样的强度，密度越小的材料制成的零件越轻。飞机上的许多零件采用铝合金、镁合金及钛合金，就是因为它们的密度小。

常见金属材料的密度，见表1-1。

2. 熔点 金属或合金由固态转变为液态时的温度称作熔点。熔点一般用摄氏温度(°C)表示。纯金属都有固定的熔点，即它是在恒定温度下开始和结束熔化过程的，而合金则是在一个温度范围内实现其熔化过程的。

熔点对于热处理、冶炼、铸造、压力加工温度的选择都很重要。常见金属材料的熔点，见表1-1。

3. 热膨胀性 金属物体随温度升高而产生体积膨胀的性能称作热膨胀性。通常用线胀系数 α 表示。温度每升高1°C时，金属材料所增加的长度与其原来长度之比称作线胀系数，单位是1/°C。

各种金属材料的线胀系数不同，线胀系数愈大时，热胀冷缩也就愈大。线胀系数大的材料在加热冷却过程中会引起较大变形。因此在生产过程中要考虑零件的热胀冷缩的特点。常见金属材料的膨胀系数，见表1-1。

4. 导热性 金属传导热量的能力称作导热性。一般用导热系数 λ 表示。单位是卡●/(厘米·秒·°C)。它的物理意义是单位长度金属上温差为1°C时，单位时间内通过单位面积，由高温端传递到低温端的热量。

金属材料的导热系数愈大说明导热性愈好。一般来说金属愈纯，其导热性愈好。在金属中即使含有少量杂质时，也会显著地影响它的导热能力。因此合金钢的导热性一般都比碳钢低。而且当钢中合金元素越多时，导热性能也就越差。导热性对热加工有十分重要的意义。由于金属材料具有导热性的缘故，金属材料在加热或冷却过程中，表面和中心会产生内外温差，导致内外不同的膨胀或收缩，从而产生内应力，引起变形和破坏。所以在生产过程中，对于导热性差的金属材料常采用预热或缓慢加热和冷却措施，以防止零件的变

● 卡 = 4.1868 焦耳 (卡为国际蒸汽表卡)。在下面凡是非法定计量单位应换成法定计量单位，其换算关系，见本书附录 III。

形和开裂。常见金属材料的导热系数，见表 1-1。

常用金属与非金属材料的性能参考表 表 1-1

名 称	元 素 符 号	物 理 性 能				机 械 性 能				色 泽
		密 度 (克/厘米 ³)	熔 点 (°C)	导 热 系 数 (千卡①/米·时·°C)	线 膨 胀 系 数 (1/°C)	抗拉强度 σ_b (公斤力/毫米 ²)②	延伸率 δ (%)	断面收 缩率 ψ (%)	布氏 硬度 HB	
铁	Fe	7.86	1539		11.7×10^{-6}	25~33	25~55	70~85	65	灰白
铝	Al	2.70	660.2	175	23.1×10^{-6}	8~11	32~40	70~90	20	银白
钴	Co	8.90	1495		12.5×10^{-6}	25	5	—	140	钢灰
铬	Cr	7.19	1855		6.2×10^{-6}	20~28	9~17	9~23	110	灰白
铜	Cu	8.94	1083	338	16.6×10^{-6}	20~24	45~50	65~75	40	红
镁	Mg	1.74	650		25.7×10^{-6}	20	11.5	12.5	36	银白
锰	Mn	7.43	1245		23×10^{-6}	脆	—	—	210	灰白
钼	Mo	10.2	2622		4.9×10^{-6}	70	30	60	160	银白
镍	Ni	8.9	1455	51	13.5×10^{-6}	40~50	35~40	60~70	80	白
铅	Pb	11.34	327.4	30	29.1×10^{-6}	1.8	45	90	4	苍灰
锑	Sb	6.69	630.5		11.4×10^{-6}	0.5~1	脆	脆	30	银白
锡	Sn	7.3	231.9	54	23×10^{-6}	2	40	90	5	银白
钛	Ti	4.51	1660		9×10^{-6}	25~30	50~70	76~88	100	暗灰
钒	V	6.1	1919		8.3×10^{-6}	22	17	75	264	淡灰
钨	W	19.3	3410		4.3×10^{-6}	105	0~4	0~20	290	钢灰
锌	Zn	7.14	419.4	95	33×10^{-6}	15	20	70	30	苍灰
铌	Nb	8.57	2497		7.5×10^{-6}					
铸铁		6.6~7.4	1200	40~80	$(8.7 \sim 11.7) \times 10^{-6}$					
铸钢		7.8	1425							
碳钢		7.85	1400~1500	40	$(10.6 \sim 12.2) \times 10^{-6}$					
铬钢					11.2×10^{-6}					
黄铜		8.85	950	80	17.8×10^{-6}					
锡青铜		8.8	995	55	17.6×10^{-6}					
铝青铜		7.8			17.6×10^{-6}					
硼	B	2.34	2300		8×10^{-6}					
碳	C	2.22	3600		6.6×10^{-6}					
硅	Si	2.33	1440		4.2×10^{-6}	脆				
磷	P	1.83	44.1		125×10^{-6}					
硫	S	2.06	112.8		67.5×10^{-6}					

5. 导电性 金属材料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，电阻系数愈小，导电性愈好。长一米，截面一平方毫米的物体在一定温度下所具有的电阻数，叫做电阻系数，用符号 ρ 表示，单位是 $\frac{\text{欧姆} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}}$ 。

导电性最好的是银，其次是铜和铝，合金的导电性最差(即电阻系数很高)，可用作电阻炉的电热丝材料。

6. 磁性 金属导磁的性能称为磁性。具有导磁能力的金属，都能被磁铁吸引。铁、钴、镍等都具有较高的磁性，称为铁磁性金属。但对于某些金属来说，磁性也不是固定不

变的,当温度升高时,铁磁性金属或合金,有的会失去磁性,如铁在 770°C 以上时,磁性就消失了。

7. 耐腐蚀性 金属材料抵抗水蒸气、酸、碱等介质的腐蚀能力,称为耐腐蚀性。常见的钢铁生锈、铜生铜绿等,就是腐蚀现象。

金属材料的耐蚀性,是一个重要性能,特别是在腐蚀性介质中工作的金属材料更为重要。如石油化工机械设备,接触腐蚀介质,要考虑材料的耐腐蚀性。

8. 抗氧化性 金属材料在高温下抵抗氧或氧化介质氧化的能力,称为抗氧化性。加热时,由于高温促使表面强烈氧化而产生氧化皮,并造成氧化脱碳等缺陷。因此,当零件加热时,常在保护气氛或真空炉中进行,以免金属材料的氧化。

9. 化学稳定性 化学稳定性是指金属材料的耐腐蚀性和抗氧化性。金属材料在高温下的化学稳定性,也叫做热稳定性。如工业中的锅炉、汽轮机、喷气发动机等,因为有许多零件在高温下工作,所以制造这些零件的金属材料,要有良好的热稳定性。

三、金属材料的机械性能

1. 机械性能的含义 金属材料在外力作用下表现出来的抵抗外力作用的特性,称为机械性能或力学性能。

金属材料的机械性能包括强度、弹性、塑性、硬度、韧性、疲劳强度等。

(1) 强度。金属材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力称为强度。随着外力作用形式的不同,分别有抗拉强度(σ_b)、抗弯强度(σ_{bs})、抗压强度(σ_{bs})、抗扭强度等。其中以抗拉强度为工程上最常用的强度指标。

(2) 弹性。金属材料受外力作用时产生变形,当外力去除后,变形随即消失,材料恢复到原来形状的性能称为弹性。这种随外力去除而消失的变形称为弹性变形。

(3) 塑性。金属材料在外力作用下变形而不致引起破坏,当外力去除后,仍能使其变形保留下来的性能称为塑性。这种在外力去除后能保留下来的永久变形称为塑性变形。

(4) 硬度。粗浅地说,硬度是表示金属材料的软硬程度。实质上,硬度是反映了材料表面抵抗硬物压入而引起塑性变形的能力。一般说来,材料硬度越高,越不易变形,硬度越高,也越耐磨。

(5) 韧性。金属材料在外力作用下,断裂前所吸收的能量(即外力对物体所做的功)称为韧性。韧性反映了金属材料抗冲击破坏的能力。

2. 拉伸试验 拉伸试验是将具有一定形状和尺寸的标准试样(见图1-2),安放在拉力试验机上,然后施加缓慢递增的轴向拉力,随着载荷的增加,试样逐渐产生伸长变形,直到拉断为止。

通常拉伸用的比例试样可分为长短两种。长试样 $L_0=11.3\sqrt{F_0}$, 短试样 $L_0=5.65\sqrt{F_0}$ 。一般工厂使用的试样直径 $d_0=10\text{ mm}$ 。

低碳钢的拉伸曲线,见图1-3。低碳钢拉伸时可分为三个阶段。

ope 为弹性变形阶段。当作用在试样上的载荷在一定限度 P_e 内时,载荷与伸长量成正比,外力除去后,试样即恢复到原来的形状和尺寸。当载荷超过 P_e 而不大于 P_s 时,试样的伸长量便不再与外力成正比比例关系,但还是属于弹性变形的阶段,即当外力去除后,

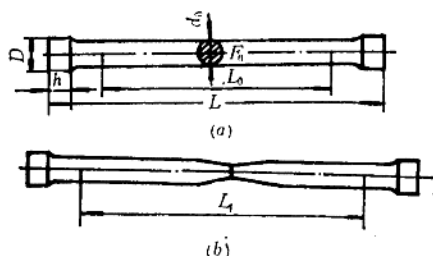


图 1-2 拉伸试验圆形试样

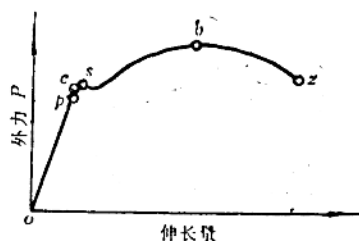


图 1-3 低碳钢拉伸曲线

变形立即消失。

esb 为弹性-塑性变形阶段。 s 点后出现水平阶段，表示在载荷不变的情况下，试样继续伸长，即材料丧失了抵抗塑性变形的能力，称为材料的“屈服”。要使金属继续塑性变形，必须再增加载荷，随着载荷的增加，试样继续伸长，直至 b 点。

bz 为断裂阶段。达到 b 点后，试样开始出现缩颈现象，变形集中在缩颈处，截面急剧减小，试样不足以抵抗外力的作用，在 z 点发生断裂。

(1) 强度的计算。为了便于比较，通常用单位面积上的抗力（又称应力）来表示。应力 σ 的计算公式为：

$$\sigma = \frac{P}{F_0} (\text{kgf/mm}^2)$$

式中 σ ——应力 (kgf/mm^2)；

P ——外力 (kgf)；

F_0 ——原横截面积 (mm^2)。

1) 比例极限及其计算。比例极限是指载荷和伸长成正比例时的最大应力。计算公式如下：

$$\sigma_p = \frac{P_p}{F_0} (\text{kgf/mm}^2)$$

式中 σ_p ——比例极限 (kgf/mm^2)；

P_p ——比例极限载荷 (kgf)；

F_0 ——试样的原横截面积 (mm^2)。

2) 弹性极限及其计算。材料能保持弹性变形的最大应力称为弹性极限，它实际上很难测定，所以弹性极限通常规定为试样所产生的相对塑性变形量为 0.005% 时的应力。其计算公式如下：

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} (\text{kgf/mm}^2)$$

式中 σ_e ——弹性极限 (kgf/mm^2)；

P_e ——试样产生相对塑性变形量为 0.005% 时的弹性极限载荷 (kgf)；

F_0 ——试样的原横截面积 (mm^2)。

3) 屈服极限及其计算。屈服极限是指拉伸过程中，负荷不增加，甚至有所降低，试样不断发生明显变形时的最小应力。其计算公式如下：

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} (\text{kgf/mm}^2)$$

式中 σ_s ——屈服极限 (kgf/mm²);

P_s ——屈服载荷 (kgf);

F_0 ——试样原横截面面积 (mm²)。

由于不少金属材料在拉伸时, 没有明显的屈服现象 (即没有明显的屈服点 s), 而金属材料的屈服极限又是零件设计的一个重要依据, 必须进行测定。因此, 一般规定: 用试样产生相对塑性变形量为 0.2% 时, 它所对应的载荷 $P_{0.2}$ 所产生的应力, 作为屈服强度, 并用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

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

式中 $\sigma_{0.2}$ ——试样产生相对塑性变形量为 0.2% 时的应力 (kgf/mm²);

$P_{0.2}$ ——试样产生相对塑性变形量为 0.2% 时的载荷 (kgf);

F_0 ——试样原横截面面积 (mm²)。

屈服极限表示金属材料对发生明显塑性变形的抗力。 σ_s 越高, 表示该金属材料抵抗塑性变形能力越大。

4) 抗拉强度及其计算。抗拉强度又叫强度极限, 它是指试样断裂前受到最大拉力时的应力。强度极限是表示金属材料在破坏前可以承受的最大应力。其计算公式如下:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} (\text{kgf/mm}^2)$$

式中 σ_b ——抗拉强度 (kgf/mm²);

P_b ——最大拉力 (kgf);

F_0 ——试样的原横截面面积 (mm²)。

σ_s 越大, 表示该金属材料抵抗破裂的能力越大, 则强度就越高。

σ_s 和 σ_b 都是金属材料的重要指标, 所以它们用来表示金属材料的强度。

(2) 延伸率和断面收缩率。试样拉断后, 由于产生了塑性变形, 导致试样长度增加, 断面缩小, 显然在断裂前的变形量愈大, 说明材料塑性愈好。由于试样的尺寸可以各不相同, 所以为了说明及比较材料的变形程度, 应以单位长度的伸长 (相对伸长) 和单位面积的收缩 (相对收缩) 来表示。前者称为延伸率, 以 δ 表示, 后者称为断面收缩率, 以 ψ 表示。

延伸率按下式计算:

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L_0 ——试样原来计算长度 (mm);

L_1 ——试样断裂后长度 (mm)。

断面收缩率按下式计算:

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

式中 F_0 ——试样原来的截面积 (mm²);

F_1 ——试样断裂处的截面积 (mm²)。

延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 表示了材料的塑性好坏。 δ 和 ψ 的数值越大,说明金属材料的塑性越好。 δ 和 ψ 的数值越小,说明金属材料的塑性越差,即脆性越大。

3. 硬度 硬度是衡量金属材料软硬程度的一种性能指标。一般认为硬度是金属材料表面对更硬物体压入引起塑性变形的抵抗能力。

实际生产中,硬度试验方法很多,常用的有:布氏硬度试验、洛氏硬度试验、维氏硬度试验等。

(1) 布氏硬度。布氏硬度试验是以已知直径 D 的淬硬钢球,在规定载荷作用下压入试样表面,见图 1-4,并使载荷保持一定时间,去除载荷后,在试样表面形成一个压痕,即以载荷 P 与压痕表面积 F 的比值 $\frac{P}{F}$ 表示其硬度值,这种硬度称为布氏硬度,以 HB 表示。

因此 $HB = \frac{P}{F} (\text{kgf/mm}^2)$, 而 $F = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$ 。

则

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

式中 D ——钢球直径(mm);

d ——压痕直径(mm);

P ——外加载荷(kgf);

F ——压痕面积(mm^2)。

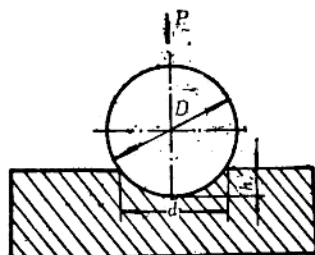


图 1-4 布氏硬度试验原理图

从上式可知,在载荷 P 和钢球直径 D 一定时,硬度只取决于压痕直径 d 。压痕直径越小,材料的硬度越高,反之,则其硬度越低。在实际测试中,硬度值不需经过计算,只要根据压痕直径大小查表即可查出。布氏硬度值的单位是 kgf/mm^2 ,但习惯上都是只写硬度值而不标单位。进行布氏硬度试验,必须根据金属材料的种类和试样的厚度,正确地选择钢球直径、外加载荷及加载时间。其选择原则也可通过查表得到。

布氏硬度试验一般适用于测定 $HB < 450$ 的材料硬度,如铸铁、有色金属及经过退火、正火和调质处理的钢材。

(2) 洛氏硬度。洛氏硬度压头有两种,一种是顶角为 120° 的金刚石圆锥体,另一种是直径为 1.588mm 的淬硬钢球。前者多用于测定淬火钢等较硬的金属材料硬度;后者多用于测定退火钢、有色金属等较软的金属材料的硬度。

洛氏硬度试验都是在先后两次施加载荷(初载荷 P_0 及总载荷 P)的条件下,将压头压入试样表面进行的。图 1-5 为洛氏硬度试验原理示意图。图中 0-0 为压头的初始位置;1-1 为压头受到初载荷 P_0 (规定为 10 公斤力)后压入试样深度为 h_1 时的位置;2-2 为总载荷(初载荷 P_0 + 主载荷 P_1)作用下,压头压入深度为 h_2 时的位置;3-3 为卸去主载荷 P_1 保留初载荷 P_0 时,压头由于试件弹性变形恢复而略提高时的位置。此时,压头实际压入试样的深度为 h_3 。在主载荷作用下,压头压入试样的实际深度 $h = h_3 - h_1$ 便表示了材料硬度的高低。 h_3 越深,则硬度越低;反之,则硬度越高。

为了与习惯上数值越大硬度越高的概念一致,人为的规定采用从一常数 K (0.2mm 或 0.26mm) 减去压痕深度来表示其硬度大小。并以 0.002mm 为一硬度单位(在硬度计的表盘上相当于一格),则洛氏硬度值即为 $[K - (h_3 - h_1)] / 0.002$ 。此值为一无名数,以 HR 表示。

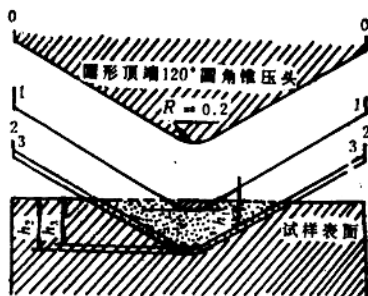


图 1-5 洛氏硬度试验原理示意图

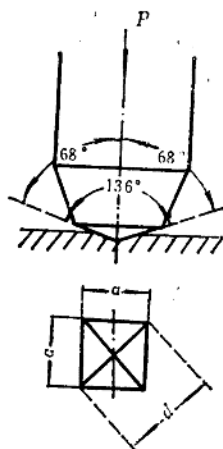


图 1-6 维氏硬度试验原理示意图

洛氏硬度试验时，它的硬度值可以从表盘上直接读出。

为了能用同一硬度计测定从很软到很硬材料的硬度，采用了不同压头和载荷的组合，一共可以组成 15 种不同的洛氏硬度标尺。生产上最常用的是 A、B 和 C 标尺的洛氏硬度。

A 标尺的洛氏硬度用 HRA 表示。压头为金刚石圆锥体，总载荷为 60kgf（预载荷 10 kgf 及主载荷 50kgf）。多用于特别硬的材料及较薄硬化层的硬度测定。许可应用范围 HRA 70~85。

B 标尺的洛氏硬度以 HRB 表示。压头为 1.588mm 直径的淬硬钢球，总载荷为 100kgf。多用于退火工件及有色金属等较软材料的硬度测定。许可应用范围 HRB25~100。

C 标尺的洛氏硬度以 HRC 表示。压头为 120° 金刚石圆锥体，总载荷为 150kgf。多用于淬火工件的硬度测定。许可应用范围 HRC20~67。此种在生产中使用最多。

(3) 维氏硬度。维氏硬度试验的原理类同布氏硬度试验。它是利用顶角为 136° 的金刚石四棱锥体作为压头，在一定的载荷 P 作用下压入试样表面，经规定的保持时间而卸除载荷后，即在试样表面形成一底面为正方形的四方锥形压痕，见图 1-6。测量压痕二对角线的平均长度 d ，据此得出压痕的表面积 F ，即以 $\frac{P}{F}$ 的比值作为维氏硬度值，并以 HV 表示。

$$HV = \frac{P}{F} (\text{kgf/mm}^2)$$

在顶角为 136° 时

$$HV = 1.8544 \frac{P}{d^2}$$

式中 HV——维氏硬度值(kgf/mm²)，

P ——外加载荷(kgf)，

F ——压痕表面积(mm²)，

d ——压痕对角线长度(mm)。

实际使用中，可以直接从硬度计上读出对角线长度 d ，或者测出其对角线平均长度，