

本书是中华人民共和国第一机械工业部统编的机械工人技术培训教材。它是根据一机部《工人技术等级标准》和教学大纲编写的,可供各企业对机械类热加工各工种工人进行初、中级技术理论培训使用的基础技术课教材。全书内容共分三篇,第一篇为金属材料的基本知识,第二篇为金属学和热处理的基本知识,第三篇为加工工艺的基本知识。对初级班学员,要求掌握第一篇的内容和第二、第三篇的有关内容;对中级班学员,除要求深入掌握第一篇的内容外,还要求学习第二、第三篇的内容。使用时可根据实际情况和各工种的需要,作适当的增删。

本书由朱熙杰、高忠杰、杨社美等同志编写,由林龙光、叶式炯同志审定。

中华人民共和国第一机械工业部统编
机械工人技术培训教材
金属材料及其加工工艺
责任编辑:罗秀文

*

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
咸宁地区印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 12¹/₄ 字数: 286千字
1983年1月第1版 1985年8月第4次印刷
印数 500,001—575,000册 定价: 1.75元
统一书号: 15051·1068 本社书号: 0553

目 录

绪 论

第一篇 金属材料的基本知识

第一章 金属材料的性能	2
第一节 金属的物理性能和化学性能	2
第二节 金属的机械性能及其试验	5
第三节 金属的工艺性能	21
第二章 碳素钢	23
第一节 碳和杂质对钢性能的影响	23
第二节 碳素钢的分类	24
第三节 碳素结构钢	25
第四节 碳素工具钢	29
第五节 铸钢	30
第三章 合金钢	32
第一节 合金元素在钢中的作用	32
第二节 合金钢的分类及编号	33
第三节 合金结构钢	34
第四节 合金工具钢	37
第五节 特殊用途钢	39
第四章 铸铁	43
第一节 铸铁的成分、性能和分类	43
第二节 灰口铸铁	44
第三节 可锻铸铁	46
第四节 球墨铸铁	47
第五节 合金铸铁	49
第五章 钢铁的简易鉴别	51
第一节 火花鉴别法	51
第二节 断口鉴别法	55
第三节 钢的涂色标志	55
第六章 有色金属材料	57
第一节 铝和铝合金	57
第二节 铜和铜合金	60
第三节 轴承合金	63
第四节 硬质合金	65

第二篇 金属学和热处理的基本知识

第七章 金属学的基本知识	68
第一节 金属的晶体结构及其结晶	68
第二节 合金的构造	72
第三节 铁碳合金的基本组织	73
第四节 铁碳合金状态图	76
第八章 钢的热处理	86
第一节 钢在加热时的组织转变	86
第二节 钢在冷却时的组织转变	88
第三节 钢的退火与正火	91
第四节 钢的淬火	93
第五节 钢的回火	98
第六节 钢的表面热处理	101
第九章 铸铁的热处理	108
第一节 灰口铸铁的热处理	108
第二节 球墨铸铁的热处理	109

第三篇 加工工艺的基本知识

第十章 毛坯生产的一般知识	111
第一节 铸造	111
第二节 金属压力加工	121
第三节 焊接和切割	134
第四节 少无切削加工简述	144
第十一章 冷加工工艺的一般知识	146
第一节 金属切削加工的概念	146
第二节 车削	154
第三节 铣削	160
第四节 磨削	165
第五节 其它几种机械加工方法	170
第六节 钳工加工及装配	174
第七节 机械加工工艺过程的基本知识	181
附录 世界各国的钢材编号简介	187

绪 论

金属材料是机械工业的物质基础，各种机床、矿山机械、农业机械、交通运输工具等都离不开金属材料，它们都是以各种不同的金属材料制造出来的。因此作为机械系统的技术工人，有必要了解金属材料及其加工工艺。

本书系统介绍金属材料的性能、牌号及加工方法。它是根据机械类热加工专业各工种，如铸造、锻造、焊接、热处理等的工人技术等级标准来编写的，包括下列内容：

(1) 第一篇介绍金属材料的基本知识 介绍金属材料的物理性能、化学性能、机械性能和工艺性能，以及金属材料的种类、牌号、成分和用途。

金属材料之所以得到如此广泛的应用，是因为金属材料具有能满足生产过程和使用过程需要的各种性能。而金属材料在使用时又是有千差万别的，它们具有不同的种类、规格、牌号，各自有不同的成分和用途。这些是机械类热加工专业各工种工人需要了解的。本篇将着重介绍这方面的基本知识。

(2) 第二篇介绍金属学和热处理的基本知识 介绍金属和合金的构造及其成分、组织与性能之间关系的有关知识，改善钢铁性能的热处理基本知识和各种处理方法。

不同的金属材料，其性能之所以有差异，首先是因为其成分不同。其次是金属材料内部组织结构的变化，对性能的影响也是很大的。金属材料经过铸造、锻造、焊接所获得的内部组织结构不同，同一钢铁材料经过不同的热处理方法获得的内部组织结构也不同，使性能产生差异。本篇将介绍这方面的基本知识，使对钢铁材料的成分、组织和性能之间的关系，有近一步的了解。

(3) 第三篇介绍加工工艺的基本知识 包括制成毛坯的各种热加工基本方法，如铸造、压力加工、焊接以及切削加工中的车、铣、磨、钳等基本加工方法。

任何机器或部件都是由许多零件按一定的设计要求制造和装配而成的。虽然各种零件的材料、结构、形状各不相同，但加工工艺都有共同性。机械制造的生产工艺过程，一般分为：金属材料 $\xrightarrow{\text{铸造、压力加工或焊接}}$ 毛坯 $\xrightarrow{\text{机械加工}}$ 零件 $\xrightarrow{\text{装配}}$ 机器或部件等几个阶段，这几个阶段有相对的独立性，又相互紧密联系，各工种都是生产中不可缺少的环节。本篇将介绍毛坯生产，冷加工工艺的基本知识，使有一概念性的了解。

本书所讲授的内容，与机械制造工艺过程是密切相关的。学习本课程可以获得有关常用金属材料及其加工工艺的基本知识，为进一步学好专业课和搞好生产打下基础。

学习中要注意前后各章的联系，达到融会贯通，反复应用，及时复习，总结巩固；对一些名词术语、符号和材料牌号等应当牢记；学习中要与工厂实践中所获得的知识相联系，以消化课堂上所学的知识；要重视实验和参观，有可能时，积极参与机械性能试验、金相试验、钢铁火花鉴别试验，并到热处理和其它加工车间参观现场生产，以增加感性知识。

第一篇 金属材料的基本知识

第一章 金属材料的性能

任何一台机器都是由许多机械零件组成的。用以制造机械零件的金属材料种类很多，这就要求合理地选择使用材料，满足机械的使用性能和零件所要求的各项技术要求，达到既节约金属又保证产品质量的目的。现就机械工业中常用金属材料的各种性能简要介绍如下。

第一节 金属的物理性能和化学性能

一、物理性能

金属的物理性能，主要包括比重、熔点、热膨胀性、导热性、导电性和磁性等。

(一) 比重

比重是物体重量和其体积的比值。它的单位为克/厘米³或千克/分米³。在体积相同的情况下，物体的比重越大，重量也越大。

按照比重的大小，金属材料可分为轻金属和重金属。比重小于5克/厘米³的金属叫做轻金属；比重大于5克/厘米³的叫做重金属。例如，铜的比重为8.9克/厘米³，铁的比重为7.8克/厘米³，属于重金属；铝的比重为2.7克/厘米³，属于轻金属。

比重是金属材料的一个重要物理性能，特别是在航空工业和汽车工业中，为了增加有效载重量，比重更是需要考虑的因素，例如：飞机零件的一半以上是用比重小、强度高的铝和铝合金制造的。在热加工（如铸造、焊接）中，为了去除金属熔液里的杂质，常添加一些熔剂，和杂质作用生成比重较金属液轻的熔渣上浮，以与金属液分离。

常用金属材料的比重见表1-1。

(二) 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。熔点一般用摄氏温度（°C）表示。

每种金属和合金都有自己的熔点。表1-1列出了几种常见金属材料的熔点。钢和生铁虽然都是由铁和碳这两种元素组成的合金，但是由于钢和生铁的含碳量不同，所以它们的熔点也不同。

熔点对于热加工，尤其是冶炼、铸造、焊接、配制合金等都很重要。如果金属的熔点低，就可以大大改善铸造和焊接工艺，使铸造和焊接都较容易进行。工业上还常将易熔合金用来制造熔断器和防火安全阀等零件，难熔合金则用来制造要求耐高温的零件，广泛用于

常用金属与非金属的性能参考表

表 1-1

名 称	元 素 符 号	物 理 性 能				机 械 性 能				色 泽
		比 重 (克/厘米 ³)	熔 点 (°C)	导 热 系 数 (千卡/米·时·°C)	线 膨 胀 系 数 (1/°C)	抗拉强度 σ_b (公斤力/毫米 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
铋	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
铉	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}					

火箭、导弹、燃气轮机、喷气飞机等方面。

(三) 热膨胀性

热膨胀性是指金属材料受热时，它的体积会增大，冷却时则收缩的一种性能。热膨胀的大小，一般用线膨胀系数来表示，线膨胀系数的计算公式如下：

$$\alpha = \frac{L_2 - L_1}{L_1 t} \quad (1/^\circ\text{C})$$

式中 L_1 ——膨胀前长度 (厘米)；

L_2 ——膨胀后长度 (厘米)；

t ——升高的温度 ($^\circ\text{C}$)；

α ——线膨胀系数 ($1/^\circ\text{C}$)。

热膨胀性也是金属材料的一个重要性能。例如，一些精密的测量工具，象千分尺、块规等，为了保持其高度准确性，就要用线膨胀系数很小的金属材料来制造。在使用不同的金属材料制成零件时，如异种金属焊接时，就要考虑它们的热膨胀系数是否接近，否则会因热膨胀量不等，而使零件变形甚至损坏。其它如木模制造、铸锻加工以及切削加工等，都要考虑坯件或工件热胀冷缩的特点。常见金属材料的线膨胀系数见表1-1

(四) 导热性

导热性是指金属材料在加热或冷却时能传导热能的性质。一般用导热系数表示金属材料导热性能的优劣。导热系数大的金属材料，其导热性能良好，导热系数小的，则导热性能差。导热系数的单位为千卡/米·时·°C。

导热性是金属材料重要性能之一。一般来说，纯金属的导热性最好。在金属中，杂质含量对金属材料的导热性的影响很大。由于这个原因，金属材料中加入合金元素后，就会使材料的导热性能降低。钢中成分越复杂，其导热性越差。因此，合金钢的导热性就比碳素钢的导热性差。

导热性对热加工具有十分重要的意义。在进行焊接、铸造、热处理或锻造时，必须掌握金属材料的导热性。由于导热性的缘故，金属材料在加热或冷却过程中，会使工件或坯料产生内外温度差，从而导致内外不同的膨胀或收缩。此时，金属材料内部产生应力（内应力），引起金属材料的变形或破裂。因此，对于导热性差的金属材料（如合金钢，尤其是高合金钢），应采取适当措施，避免急剧的加热或冷却，以防止金属材料产生过大的内应力。例如在生产中经常采用事先预热工件或采取缓慢加热和冷却等措施，以防止材料产生破裂。

常见金属材料的导热系数见表1-1。

(五) 导电性

导电性是指金属材料传导电流的性能。所有的金属材料都具有导电性，其中以银为最好，其次是铜和铝。工业上常用铜和铝作为导电材料。导电性能差的高电阻合金，如康铜、锰铜及镍铬合金等，可用于制造仪表零件或电炉加热元件。

(六) 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。如铁、镍、钴等都具有较高的磁性，称为磁性金属。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，磁性金属或合金，有的会消失磁性，如铁在768°C以上就没有磁性。

二、化 学 性 能

化学性能，主要是指金属材料在室温或高温条件下抵抗氧气和腐蚀性介质对其化学侵蚀的能力。金属材料的化学性能一般包括耐腐蚀性、抗氧化性和化学稳定性等。

(一) 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。常见的钢铁生锈、铜生铜绿等，就是腐蚀现象。

金属材料的耐腐蚀性，是一个重要的性能，尤其对在腐蚀性介质中工作的金属材料，更为重要。对于接触腐蚀介质的机械设备（如石油化工机械设备等），不仅要考虑材料的机

械性能，而且要考虑材料的耐腐蚀性。

(二) 抗氧化性

金属材料在加热时抵抗氧气氧化作用的能力，称为抗氧化性。加热时，金属材料的氧化作用加速，例如钢材在铸造、锻造、热处理、焊接等加热作业时，会发生氧化和脱碳，造成材料的损耗和各种缺陷。因此在加热时，常在坯件或材料的周围制造一种还原气氛或保护气氛，以避免金属材料的氧化。

(三) 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，叫做热稳定性。如工业用的锅炉、加热设备、汽轮机、喷气发动机、火箭、导弹等，因为有许多零件在高温下工作，所以制造这些零件的材料，要有良好的热稳定性。

第二节 金属的机械性能及其试验

工业用的金属材料，最重要的性能是材料的机械性能，它是衡量金属材料的主要指标之一。

机械零件在使用过程中，往往会受到各种外力的作用，如起重机上的钢索受到悬吊物拉力的作用，满载的火车给钢轨以很大的压力，柴油机上的连杆在工作时不仅受拉力、压力的作用，还要承受冲击力的作用等等，这些外力作用，对金属材料有一定的破坏性，这就要求金属材料必须具有有一种抵抗外力作用而不致被破坏的能力，这就是金属材料的机械性能。

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。

金属材料由于受到外力的作用而产生的形状改变称为变形。材料受到的外力称为载荷（或称负荷、负载）。载荷因其作用性质的不同，可以分为静载荷、冲击载荷和交变载荷等。

1. **静载荷** 是指大小不变或变动很慢的载荷。

2. **冲击载荷** 是指突然增加的载荷。

3. **交变载荷** 是指大小或方向作周期性变换的载荷。

材料受载荷作用后的变形，可以分为拉伸、压缩、剪切、扭转和弯曲等。图1-1为金属材料在不同载荷作用下的变形。图1-2为铆钉受剪切载荷的情况。

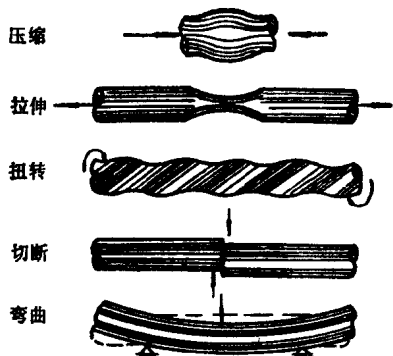


图 1-1 金属材料在受载荷时的变形分类

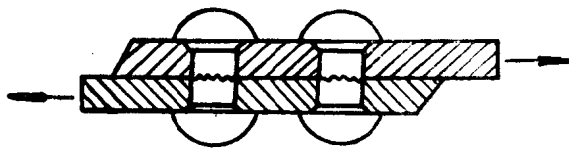


图 1-2 铆钉受剪切载荷的情况

金属材料的机械性能指标，一般都是在专门的试验机上试验和测定的。根据所加载荷的不同，金属材料的机械性能试验可以分为以下三种：

1. **静力试验** 在进行试验时，缓慢而均匀地增加载荷的试验叫做静力试验。

2. **动力试验** 在进行试验时，快速地增加载荷的试验叫做动力试验。

3. **交变载荷试验** 在试验过程中，载荷的数值和方向都发生周期性变化的试验叫做交变载荷试验。

下面我们就对金属材料的机械性能进行介绍。

一、强 度

强度是指材料在载荷作用下抵抗变形和断裂的能力。

金属材料的强度大小，可以通过强度试验来测定，金属材料的强度越高，说明它抵抗载荷作用的能力越大。强度的单位为公斤力/毫米²。

材料抵抗所受载荷的强度有抗拉强度(σ_b)、抗弯强度(σ_{bb})、抗压强度(σ_{bs})、抗扭强度和抗剪强度五种。工程中最常用的强度是抗拉强度。抗拉强度与其它强度之间有一定的换算关系，通过材料的抗拉强度值，可以近似地计算出其它强度的值。金属材料的抗拉强度是通过拉伸试验来测定的。

二、弹 性

金属材料受外力作用时产生变形，当外力取消后，变形消失，材料恢复原状的性能称为弹性。把外力去除而消失的变形称为弹性变形。如日常使用的螺旋弹簧、板弹簧等都具有这种性能。

在弹性变形范围内，金属材料在单位面积上所能承受的最大力，叫做弹性极限，单位用公斤力/毫米²表示。金属材料弹性极限的数据是通过试样进行拉伸试验来测定的。

三、塑 性

金属材料在载荷的作用下产生变形而不破坏，当载荷去除后，仍能使其变形保留下来的性能叫做塑性。这种载荷去除后能保留的永久变形叫做塑性变形。热加工的锻造生产等就是利用了金属材料具有塑性的特性。

一般说来，大多数钢的塑性都较好，可以采用较大的变形量进行轧制和锻造。合金钢的塑性较差，在轧制或锻造时，变形量不能选择得太大，以免引起钢材破裂。铸铁的塑性几乎等于零，所以铸铁不能进行锻造、轧制等压力加工。金属材料的塑性越好，在外力作用下产生塑性变形的能力就越大。

金属材料的塑性是通过试样进行拉伸试验来测定的。它用长度延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 这两个指标来表示。

四、拉 伸 试 验

拉伸试验是将具有一定形状和尺寸的标准试样(图1-3)，安放在拉伸试验机上，然

后施加缓慢递增的轴向拉力（即力由零开始，缓慢、均匀地增加到某一数值），随着载荷的增加，试样逐渐产生伸长变形，直到拉断为止。

拉伸用的试样可分为长短两种。长试样 $L_0 : d_0 = 10$ ，短试样 $L_0 : d_0 = 5$ 。一般工厂使用的试样直径 $d_0 = 10$ 毫米。

图 1-4 为低碳钢的拉伸曲线图，低碳钢拉伸时可分为三个阶段。

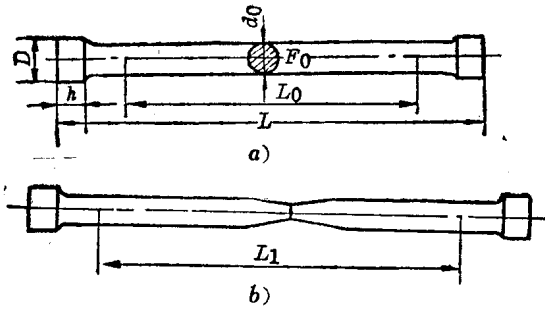


图 1-3 钢的标准试样
(a) 拉伸前；(b) 拉伸后

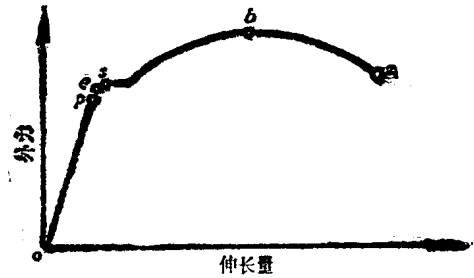


图 1-4 低碳钢的拉伸曲线图

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例关系，但还是属于弹性变形的阶段，即当外力除去后，变形立即消失。

esb 为弹性-塑性变形阶段。 s 点后出现的水平阶段，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。

五、强度与延伸率和断面收缩率的计算

(一) 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：

$$\sigma = \frac{P}{F_0} \quad (\text{公斤力/毫米}^2)$$

式中 σ ——应力（公斤力/毫米²）；

P ——外力（公斤力）；

F_0 ——原横截面面积（毫米²）。

1. 比例极限及其计算 比例极限是指载荷和变形成正比例时所产生的最大应力。计算公式如下：

$$\sigma_p = \frac{P_p}{F_0} \quad (\text{公斤力/毫米}^2)$$

式中 σ_p ——比例极限（公斤力/毫米²）；

P_p ——比例极限载荷（公斤力）；

F_0 ——试样的原横截面面积（毫米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。计算公式如下:

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} \quad (\text{公斤力/毫米}^2)$$

式中 σ_e ——弹性极限 (公斤力/毫米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 (公斤力);

F_0 ——试样的原横截面面积 (毫米²)。

3. 屈服强度及其计算 屈服强度 (又叫屈服极限) 是指试样受到屈服载荷时所产生的应力。屈服强度的计算公式如下:

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \quad (\text{公斤力/毫米}^2)$$

式中 σ_s ——屈服强度 (公斤力/毫米²);

P_s ——屈服载荷 (公斤力);

F_0 ——试样的原横截面面积 (毫米²)。

由于不少金属材料在拉伸试验时, 没有明显的屈服现象 (即没有明显的屈服点 s), 可是, 金属材料的屈服强度又是零件设计的一个重要依据, 必须进行测定。因此, 我们就规定: 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。

故

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

式中 $\sigma_{0.2}$ ——试样产生相对塑性变形量为0.2%时的应力 (公斤力/毫米²);

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

F_0 ——试样的原横截面面积 (毫米²)。

屈服强度表示金属材料对微量塑性变形的抗力。 σ_s 越大, 表示该金属材料抵抗塑性变形的能力越大。

4. 抗拉强度及其计算 抗拉强度又叫做强度极限, 它是指试样受到最大拉力时所产生的应力。强度极限是用来表示金属材料在破坏前可以承受的最大应力。计算公式如下:

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

式中 σ_b ——抗拉强度 (公斤力/毫米²);

P_b ——最大拉力 (公斤力);

F_0 ——试样的原横截面面积 (毫米²)。

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强度指标, 所以它们用来表示金属材料的强度。

应当指出, 钢的强度与其含碳量有密切的关系, 随着钢的含碳量的不断增加, 其强度也将不断增高, 见表 1-2。

● F_0 本来应取试样受相应载荷时相应的横截面面积, 但因测试不便, 且与试样原横截面面积相差不大, 故用试样原横截面面积。

钢的强度与含碳量的关系

表 1-2

含 碳 量 (%)	抗 拉 强 度 σ_b (公斤力/毫米 ²)	屈 服 强 度 σ_s (公斤力/毫米 ²)
0.15	38	23
0.30	50	30
0.45	61	36
0.60	69	41
0.75	110	90

(二) 延伸率及其计算

由上述情况可知, 试样在拉力作用下会产生塑性变形, 使长度增加, 断面面积缩小, 最后试样被拉断。

所谓延伸率是指试样受力拉断后, 它的伸长量与原来长度之比, 通常用百分数表示。

延伸率的计算公式如下:

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

式中 δ ——试样的延伸率;

ΔL ——试样的伸长量, 又称试样的绝对伸长 (毫米);

L_0 ——试样的原来长度 (即试样的计算长度) (毫米)。

试样的伸长量 (即绝对伸长) 可用下式计算:

$$\Delta L = L_1 - L_0 \text{ (毫米)}$$

式中 L_1 ——试样拉伸后的长度 (毫米)。

(三) 断面收缩率及其计算

试样的断面收缩和试样的长度增加是同时产生的。断面收缩率是指试样横截面面积的收缩量与试样原横截面面积之比, 用百分数表示。断面收缩率的符号用 ψ 表示, 其计算公式如下:

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

式中 ψ ——试样的断面收缩率;

ΔF ——试样横截面面积的收缩量 (毫米²);

F_0 ——试样的原横截面面积 (即试样拉伸前的横截面面积) (毫米²)。

试样横截面面积的收缩量, 可用下式进行计算:

$$\Delta F = F_0 - F_1 \text{ (毫米}^2\text{)}$$

式中 F_1 ——试样断裂后, 断裂处的横截面积 (毫米²)。

延伸率 δ 和断面收缩率 ψ , 是用来表示金属材料的塑性。 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。

应当指出, 钢的塑性与含碳量也有一定的关系, 含碳量增加, 塑性降低。见表 1-3。

钢的强度和塑性还与温度有关。一般来说, 温度越高, 强度越低, 塑性越好。所以钢材在锻造时都要进行加热, 以利于钢材的塑性变形。

钢的塑性与其含碳量的关系

表 1-3

含 碳 量 (%)	延 伸 率 δ_5 (%)	断 面 收 缩 率 ψ (%)
0.15	27	55
0.30	21	50
0.45	16	40
0.60	12	35
0.75	7	30

金属材料的抗拉强度 σ_b 、屈服强度 σ_s 、延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 等，对于金属材料 的加工和使用具有重要的意义，是机械设备的设计和制定加工工艺过程的主要依据。

六、硬 度

金属材料对接触表面更硬物体压入和磨损引起塑性变形的抵抗能力，称为硬度。它表示 金属材料的坚硬程度，是重要的机械性能指标。硬度的测定，过去的经验做法是锉刀试验， 现在通常是在各种硬度试验计上进行。硬度试验操作既简便，又迅速，不需要制备专门的试 样，也不会破坏零件；根据测得的硬度值，还能估计金属材料的近似强度值，因而硬度试

验是生产中最常用的一种机械性能的试验 方法。实际生产中，最常用的硬度试验方 法有三种：布氏硬度试验、洛氏硬度试验 和维氏硬度试验。

(一) 布氏硬度试验

1. 布氏硬度的含义及表示 布氏硬度 试验是用一定直径的淬硬钢球，在一定的 载荷(P)作用下，压入试件表面，保留一 定时间去除载荷后，试验材料的表面便留 下一个钢球压痕(如图1-5所示)。压痕越

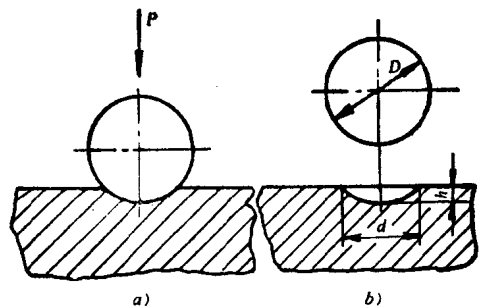


图 1-5 布氏硬度测定过程示意图

小，表示材料抵抗塑性变形的能力（即硬度）越大；压痕越大，硬度越小。

通常以载荷 P 与压痕面积 F 的比值表示硬度值，称作布氏硬度，用“HB”来表示， 其计算公式如下：

$$HB = \frac{P}{F} \quad (\text{公斤力/毫米}^2)$$

式中 HB——布氏硬度值（公斤力/毫米²）；

P ——试验时加在钢球上的载荷（公斤力）；

F ——压痕表面积（毫米²）。

布氏硬度值的单位是公斤力/毫米²，但习惯上都是只写硬度的数值而不标注单位，例 如把HB = 225公斤力/毫米²写成HB = 225。

布氏硬度可以根据压痕直径 d 、载荷 P 和钢球直径 D ，直接从表1-4中查出。

2. 应用范围 布氏硬度试验是广泛使用的硬度试验方法，一般适用于测量硬度不高的

压痕直径与布氏硬度对照表

表 1-4

压痕直径 d (毫米)	HB布氏硬度 $D=10$ (毫米) $P=3000$ (公斤)	压痕直径 d (毫米)	HB布氏硬度 $D=10$ (毫米) $P=3000$ (公斤)	压痕直径 d (毫米)	HB布氏硬度 $D=10$ (毫米) $P=3000$ (公斤)
2.50	601	3.68	272	4.56	174
2.55	578	3.70	269	4.58	172
2.60	555	3.72	266	4.60	170
2.65	534	3.74	263	4.62	169
2.70	514	3.76	260	4.64	167
2.75	495	3.78	257	4.66	166
2.80	477	3.80	255	4.68	164
2.85	461	3.82	252	4.70	163
2.90	444	3.84	249	4.72	161
2.95	429	3.86	246	4.74	160
3.00	415	3.88	244	4.76	158
3.02	409	3.90	241	4.78	157
3.04	404	3.92	239	4.80	156
3.06	398	3.94	236	4.82	154
3.08	393	3.96	234	4.84	153
3.10	388	3.98	231	4.86	152
3.12	383	4.00	229	4.88	150
3.14	378	4.02	226	4.90	149
3.16	373	4.04	224	4.92	148
3.18	368	4.06	222	4.94	146
3.20	363	4.08	219	4.96	145
3.22	359	4.10	217	4.98	144
3.24	354	4.12	215	5.00	143
3.26	350	4.14	213	5.05	140
3.28	345	4.16	211	5.10	137
3.30	341	4.18	209	5.15	134
3.32	337	4.20	207	5.20	131
3.34	333	4.22	204	5.25	128
3.36	329	4.24	202	5.30	126
3.38	325	4.26	200	5.35	123
3.40	321	4.28	198	5.40	121
3.42	317	4.30	197	5.45	118
3.44	313	4.32	195	5.50	116
3.46	309	4.34	193	5.55	114
3.48	306	4.36	191	5.60	111
3.50	302	4.38	189	5.65	109
3.52	298	4.40	187	5.70	107
3.54	295	4.42	185	5.75	105
3.56	292	4.44	184	5.80	103
3.58	288	4.46	182	5.85	101
3.60	285	4.48	180	5.90	99.2
3.62	282	4.50	179	5.95	97.3
3.64	278	4.52	177	6.00	95.5
3.66	275	4.54	175		

布氏硬度试验压头与载荷的关系

表 1-5

金属种类	布氏硬度值范围 HB	试 样 厚 度 (毫米)	载荷 P 与钢球 直径 D 的关系	钢球直径 D (毫米)	载 荷 P (公斤力)	载荷保持时间 (秒)
黑 色 金 属	140~450	6~3	$P = 30D^2$	10	3000	10
		4~2		5	750	
		<2		2.5	187.5	
	<140	>6	$P = 10D^2$	10	1000	10
		6~3		5	250	
		<3		2.5	62.5	
有 色 金 属	>130	6~3	$P = 30D^2$	10	3000	30
		4~2		5	750	
		<2		2.5	187.5	
	30~130	9~3	$P = 10D^2$	10	1000	30
		6~3		5	250	
		<3		2.5	62.5	
	8~35	>6	$P = 2.5D^2$	10	250	60
		6~3		5	62.5	
		<3		2.5	15.6	

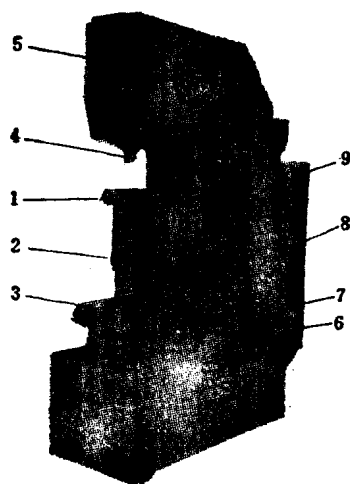


图 1-6 HB3000型布氏硬度计

1—载物台，是放置试件的地方；2—升降丝杆，它使载物台能上升或下降；3—手轮，它使丝杆产生上下移动；4—压头，它是由淬火后的钢球制成，钢球的直径有 $\phi 2.5$ 、 $\phi 5$ 、 $\phi 10$ 毫米三种；5—指示灯，用于表示加载荷过程；6—时间定位器，用于控制加载荷的时间；7—压紧螺钉，用于固定时间定位器；8—加载荷按钮，用于施加载荷；9—载荷砝码，用砝码可组成187.5、250、750、1000、3000公斤力的载荷

金属($HB < 450$)，如铸铁、有色金属及经过退火、正火和调质处理的钢材等。采用碳化钨小球，可以测量HB在750以下的硬度。

3. 硬度计的构造 布氏硬度计常采用杠杆式硬度计，通过杠杆来传递压力。图1-6简单介绍HB-3000型布氏硬度计的结构。

4. 使用方法

(1) 安装钢球与载物台：按表1-5选择钢球，用无酸汽油清洗干净后，装入主轴衬套内并固定。然后将载物台1安装在升降丝杆2上，转动手轮3，使工作台上升或下降。

(2) 选择载荷：按表1-5选择载荷。载荷吊架为187.5公斤力。若加上62.5公斤力的砝码就形成250公斤力的载荷，再加上500公斤力的砝码，便形成750公斤力的载荷，依次类推。

(3) 选择载荷保持时间：载荷保持时间的长短可根据表1-5确定。松开压紧螺钉7，把圆盘内的定位器旋转到所需的时间位置上（圆盘上的红标志与铭牌上的时间10秒、30秒或60秒相对应）。

(4) 试验：打开电源开关，将试样放在载物台1上，转动手轮3使试件与钢球接触。然后启动按钮开关8，并做好拧紧螺钉7的准备，在加荷指示灯5燃亮的同时迅速拧紧，使圆盘随曲

柄一起回转，直至自动反向和停止转动为止。从加荷指示灯燃亮到熄灭为全载荷保持时间。

(5) 确定试验结果：试验结束后，转动手轮，取下试样，用读数显微镜测量试样表面的压痕直径，从相互垂直方向各测一次(见图1-7)，取其平均值，然后查表1-4，即可得到试样的布氏硬度值。

用 $\phi 10$ 毫米直径的钢球，在3000公斤力的载荷下保持10秒钟测定的硬度值，写成如HB400。在其它条件下，试验结果写成如HB5/250/30=110，即表示用5毫米直径的钢球，在250公斤力的载荷下保持30秒钟所测得的布氏硬度值为110。

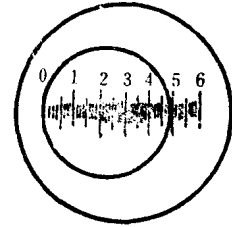


图 1-7 布氏硬度压痕测量图

5. 注意事项

(1) 试样的厚度不应小于压痕深度的10倍，压痕直径应在0.25~0.6钢球直径范围内，不符合这种要求的，试验无效。

(2) 必须准确地测量压痕直径，对于 $\phi 5$ 和 $\phi 10$ 毫米的钢球压痕，测量准确度应为0.02毫米； $\phi 2.5$ 毫米的钢球测量准确度应为0.01毫米。

(3) 压痕中心到试样边缘的距离不应小于压痕直径的2.5倍，相邻的压痕中心距离不应小于压痕直径的4倍。

(4) 10毫米钢球直径的尺寸偏差不应超过 ± 0.01 毫米。用5倍放大镜检查，表面应无任何缺陷。如果钢球使用时间较长，表面发生变形，必须更换新的钢球。

(5) 硬度计的校验方法，一般采用标准硬度块，对硬度读数的正确性进行校验，所得硬度值应符合标准块上的硬度数值，如误差在 $\pm 3\%$ 以内，可在每次试验时进行修正，例如标准块的硬度为HB240，在硬度计上测得为HB244时，说明硬度计读数比标准块高4个单位，所以试件测得的硬度值应相应减去4。

对硬度计的载荷，可用标准测力计进行测定，载荷误差不应超过 $\pm 10\%$ ，否则必须进行修理后才能使用。

(6) 硬度计应保持清洁，使用后载物台及升降丝杆应涂上防锈油，并盖好防尘套。

6. 布氏硬度计的保养 分以下几点。

(1) 硬度计的摩擦表面，均须定期加油润滑。

(2) 减速器每半年加黄油一次(工业用凡士林)。

(3) 经常检查换向开关活动接触点的烧伤、烧蚀情况，必要时清理或更换。

(4) 硬度计试验完毕后，应套上防尘罩，以免灰尘进入机器内部。

(5) 硬度计停止试验时，应将砝码与吊环取下来，搬运时应将杠杆固定，以防损坏机件。

7. 布氏硬度试验的优缺点 各分以下几点。

布氏硬度试验的优点是：

(1) 由于布氏硬度试验所使用的钢球直径较大，因此在被试验的金属材料表面上留下的压痕也较大，这样就可以得出较准确的硬度值。

(2) 由于布氏硬度值HB和抗拉强度(σ_b)之间有一定的关系，因此根据所测得的布氏硬度值，可近似地确定金属材料的抗拉强度。

其经验公式如下:

对于轧制或锻钢件 $\sigma_b \approx (0.34 \sim 0.36) HB$;

对于铸钢件 $\sigma_b \approx (0.3 \sim 0.4) HB$;

对于灰口铸铁 $\sigma_b \approx \frac{HB - 40}{6}$;

对于纯铜 $\sigma_b \approx 0.48 HB$;

对于退火的黄铜 $\sigma_b \approx 0.53 HB$;

对于冷加工黄铜及青铜 $\sigma_b \approx 0.4 HB$;

对于硬铝 $\sigma_b \approx 0.37 HB$;

对于铝铸件 $\sigma_b \approx 0.26 HB$ 。

布氏硬度试验的缺点是:

(1) 由于试验后在金属材料表面上留下的压痕较大, 易损伤零件表面, 因此, 它不适合于试验成品零件的硬度;

(2) 不能用来试验金属薄片的硬度, 试样厚度至少要大于压痕深度的10倍;

(3) 由于淬火钢球本身硬度的限制, 所以不能用于测定硬度HB高于450的金属材料, 即不能用于测定热处理淬火后的工件硬度。否则, 在试验过程中会由于钢球产生变形而影响所测定硬度值的准确性。为了防止钢球在试验过程中发生变形, 要求钢球的硬度应大于试样硬度的1.7倍。

(二) 洛氏硬度试验

当不便用布氏硬度试验测定金属材料的硬度时(如金属材料的硬度HB>450、硬而薄的金属材料或零件已加工为成品等), 常采用洛氏硬度试验来测定硬度。

洛氏硬度试验也属于静力试验, 它是利用一压头(这种压头通常是顶角为120°的金刚石圆锥, 有时也用直径为1.59毫米, 即1/16英寸的淬硬钢球做为压头), 在一定载荷的作用下压入金属材料的表面, 金属材料的表面留下一压痕, 压痕越浅, 金属材料的硬度越大。这一试验过程, 叫做洛氏硬度试验。洛氏硬度用HR表示, 它没有单位。

1. 洛氏硬度试验的种类 根据试验时加在压头上的载荷不同, 可分为以下三种:

(1) HRC: 是用150公斤力的载荷(预载荷为10公斤力, 主载荷为140公斤力)和顶角为120°的金刚石圆锥为压头进行试验的。由于在洛氏硬度计上是采用C标尺, 所以用HRC表示所测得的硬度值。HRC用来测量HB=230~700的金属材料, 一般测量淬火、回火后的零件, 都采用HRC。

(2) HRB: 是用100公斤力的载荷(预载荷为10公斤力; 主载荷为90公斤力)和直径为 $\phi 1.59$ 毫米(即1/16英寸)的淬硬钢球作为压头进行试验的。由于在洛氏硬度试验计上是采用B标尺, 所以用HRB表示所测得的硬度值。HRB用于测量HB=60~230的金属材料, 一般用于测量退火工件、有色金属材料, 如铜、铝等。

(3) HRA: 是用60公斤力的载荷(预载荷为10公斤力。主载荷为50公斤力)和顶角为120°的金刚石圆锥作为压头进行试验的。由于在洛氏硬度计上采用A标尺, 所以用HRA表示所测得的硬度值。HRA用于测量HB>700的金属材料, 一般用于测量硬度高或硬而薄的金属材料, 如硬质合金或表面处理(表面淬火处理)的零件等。

洛氏硬度试验时, A、B、C三种标尺所用的压头、载荷及硬度的, 许可应用范围见表1-6。