

机械工人职业技能培训教材

中级锻造工技术

机械工业职业技能鉴定指导中心 编



机械工业出版社

机械工人职业技能培训教材与试题库 编审委员会名单

(按姓氏笔画排列)

主任委员	邵奇惠			
副主任委员	史丽雯	李成云	苏泽民	陈瑞藻
	谷政协	张文利	郝广发 (常务)	
委 员	于新民	田力飞	田永康	关连英
	刘亚琴	孙旭	李明全	李玲
	李超群	吴志清	张岚	张佩娟
	邵正元	杨国林	范申平	姜世勇
	赵惠敏	施斌	徐顺年	董无岸
技术顾问	杨溥泉			
本书主编	林道孚			
副 主 编	王海荣	陈俊		
参 编	陶勇	王凤来	文汝福	
	陈渝生	刘英贵	聂腊梅	
本书主审	谢懿			

前 言

这套教材及试题库是为了与原劳动部、机械工业部联合颁发的机械工业《职业技能鉴定规范》配套，为了提高广大机械工人的职业技能水平而编写的。

三百六十行，各行各业对从业人员都有自己特有的职业技能要求。从业人员必须熟练地掌握本行业、本岗位的职业技能，具备一定的包括职业技能在内的职业素质，才能胜任工作，把工作做好，为社会做出应有的贡献，实现自己的人生价值。

机械制造业是技术密集型的行业。这个行业对其职工职业素质的要求比较高。在科学技术迅速发展的今天，更是这样。机械行业职工队伍的一半以上是技术工人。他们是企业的主体，是振兴和发展我国机械工业极其重要的技术力量。技术工人队伍的素质如何，直接关系到行业、企业的生存和发展。在市场经济条件下，企业之间的竞争，归根结底是人才的竞争。优秀的技术工人是企业各类人才中重要的组成部分。企业必须有一支高素质的技术工人队伍，有一批技术过硬、技艺精湛的能工巧匠，才能保证产品质量，提高生产效率，降低物质消耗，使企业获得经济效益；才能支持企业不断推出新产品去占领市场，在激烈的市场竞争中立于不败之地。

机械行业历来高度重视技术工人的职业技能培训，重视工人培训教材等基础建设工作，并在几十年的实践中积累了丰富的经验。尤其是在“七五”和“八五”期间，先后组织编写出版了《机械工人技术理论培训教材》149种，《机械工人操作技能培训教材》85种，以及配套的习题集、试题库和各种辅助性教材共约700种，基本满足了机械行业工人职业培训的需要。上述各类教材以其行业针对性、实用性强，职业工种覆盖面广，层次齐备

和成龙配套等特点，受到全国机械行业工人培训、考核部门和广大机械工人的欢迎。

1994年以来，我国相继颁布了《劳动法》、《职业教育法》，逐步推行了职业技能鉴定和职业资格证书制度。我国的职业技能培训开始走上了法制化轨道。为适应新形势的要求，进一步提高机械行业技术工人队伍的素质，实现机械、汽车工业跨世纪的战略目标，我们在组织修改、修订《机械工人技术理论培训教材》，使其以新的面貌继续发挥在行业工人职业培训工作中的作用的同时，又组织编写了这套《机械工人职业技能培训教材》和《技能鉴定考核试题库》，共87种，以更好地满足行业和社会的需要。

《机械工人职业技能培训教材》是依据原机械工业部、劳动部联合颁发的机械工业《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》编写的，包括18个机械工业通用工种。各工种均按《职业技能鉴定规范》中初、中、高三级“知识要求”（主要是“专业知识”部分）和“技能要求”分三册编写，适合于不同等级工人职业培训、自学和参加鉴定考核使用；对多个工种有共同要求的“基本知识”如识图、制图知识等，另编写了公共教材，以利于单科培训和工人自学提高。试题库分别按工种和学科编写。

本套教材继续保持了行业针对性强和注重实用性的特点，采用了国家最新标准、法定计量单位和最新名词、术语；各工种教材则更加突出了理论和实践的结合，将“专业知识”和“操作技能”有机地融于一体，形成了本套教材的一个新的特色。

本套教材是由机械工业相对集中和发达的上海、天津、江苏、山东、四川、安徽、沈阳等地区机械行业管理部门和中国第一汽车集团公司等企业组织有关专家、工程技术人员、教师、技师和高级技师编写的。在此，谨向为编写本套教材付出艰辛劳动的全体人员表示衷心的感谢！教材中难免存在不足和错误，诚恳希望专家和广大读者批评指正。

目 录

前言

第一章 基础知识	1
第一节 金属材料的力学性能	1
第二节 金属学及热处理基础知识	17
第三节 金属切削加工常识	46
复习思考题	68
第二章 锻造材料及其加热	71
第一节 钢锭	71
第二节 锻造下料	81
第三节 燃料和燃料的燃烧过程	86
第四节 加热缺陷及其防止方法	92
第五节 加热对钢的影响	99
第六节 钢的加热规范	107
复习思考题	128
第三章 自由锻和胎模锻	129
第一节 锻造设备及工具	129
第二节 自由锻工艺分析	165
第三节 胎模锻	195
第四节 锻造工艺规程的制订	200
第五节 典型锻件的锻造	283
复习思考题	305
第四章 高合金钢及有色金属的锻造	306
第一节 高合金钢的锻造	306
第二节 有色金属的锻造	327
复习思考题	334

第五章 模锻	335
第一节 模锻设备及辅助设备	335
第二节 模锻件工艺分析	373
第三节 复杂模具的安装调试	418
第四节 高温合金和有色金属的模锻	421
第五节 工模具材料的选择	435
第六节 典型模锻件示例	439
复习思考题	463
第六章 锻件质量检验	464
复习思考题	472
第七章 锻造工安全技术	473
第一节 锻造工操作的安全技术	473
第二节 影响锻造工安全的因素分析	477
复习思考题	481
附录	483
附录 A 部分锤锻件锻出条件	483
附录 B 部分水压机锻件锻出条件	487

第一章 基础知识

培训要求 掌握金属材料及其热处理基本知识、机械加工常识等基础知识。

第一节 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能，是指金属在外力作用时所表现出来的性能。它主要包括强度、塑性、硬度、韧性和抗疲劳性等。金属受力不同，将表现出各种不同的行为，显示出各种不同的力学性能。

一、强度和塑性

强度和塑性这两个指标均是通过拉伸试验来测定的。拉伸试验是指在静力拉伸试验机上，用静载荷对标准试样（见图 1-1）进行轴向拉伸，同时连续测量力和相应的伸长量。一般拉至断裂。通过拉伸试验绘制出力—伸长曲线，可以计算出强度和塑性等的主要数据。图 1-2 所示为低碳钢的力—伸长曲线，可由此测定出材料的一些常规力学性能指标。

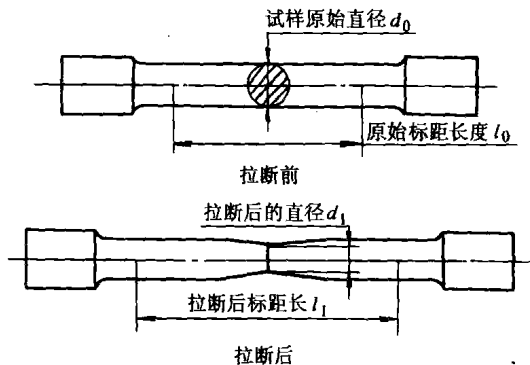


图 1-1 标准圆形拉伸试样

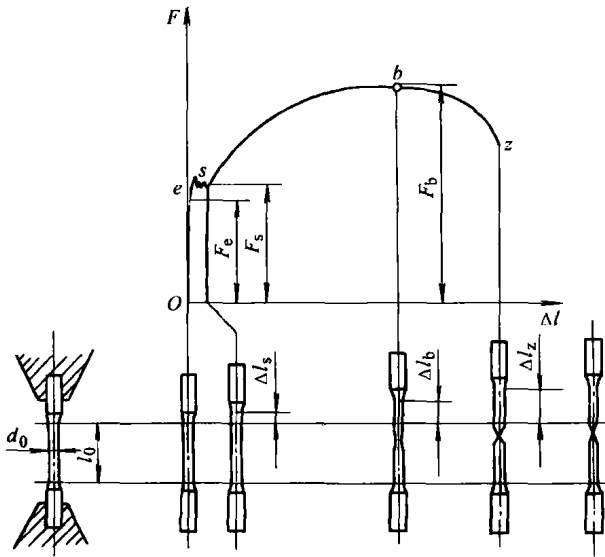


图 1-2 低碳钢的力—伸长曲线

1. 强度 金属在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力称为强度。其大小通常用应力 σ 表示，通过拉伸试验测得。强度特性的指标主要有弹性极限、屈服点和抗拉强度。

(1) 弹性极限 弹性极限 σ_e 是材料产生完全弹性变形时所能承受的最大应力值。其计算式见式 (1-1)。

$$\sigma_e = F_e / A_0 \quad (1-1)$$

式中 σ_e ——弹性极限 (MPa)；

F_e ——试样产生完全弹性变形的最大试验力，对应于如图 1-2 所示中 e 点之载荷 (N)；

A_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

弹性极限 σ_e 的数值越大，说明金属材料的弹性就越好，即能承受较大外力而不致产生不可恢复的永久性变形。

(2) 屈服点 金属材料发生屈服时所对应的最小应力值称为屈服点。用符号 σ_s 表示。

在拉伸试验中，当载荷增加到一定值时，曲线上出现水平平

台或锯齿状，这种在载荷不增加或略有减小的情况下，试样继续发生变形的现象称为屈服。屈服后，金属材料会留下较大的塑性变形。屈服点的计算见式 (1-2)。

$$\sigma_s = F_s / A_0 \quad (1-2)$$

式中 σ_s ——屈服点 (MPa)；

F_s ——试样屈服时的载荷 (N)；

A_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

在退火的低、中碳钢中会出现上述明显的屈服现象。而在高碳钢、合金钢和有色金属中大部分不会出现上述平台，多测定其规定残余伸长应力 σ_{r_0} 。一般采用规定残余伸长率达到 0.2% 时的应力作为屈服强度 (见图 1-3)。计算公式见式 (1-3)。

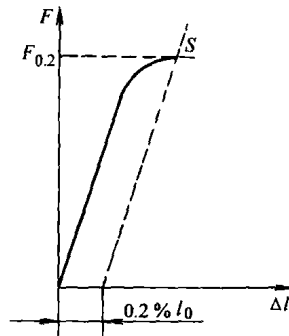


图 1-3 规定残余伸长应力示意图

$$\sigma_{0.2} = F_{0.2} / A_0 \quad (1-3)$$

式中 $\sigma_{0.2}$ ——规定残余伸长应力 (也叫条件屈服强度) (MPa)；

$F_{0.2}$ ——残余伸长率达 0.2% l_0 时的载荷 (N)；

A_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

(3) 抗拉强度 材料在断裂前所能承受的最大应力值称为抗拉强度。如图 1-2 所示中 b 点的应力值，用符号 σ_b 表示。计算见式 (1-4)。

$$\sigma_b = F_b / A_0 \quad (1-4)$$

式中 σ_b ——抗拉强度 (MPa)；

F_b ——试样承受的最大载荷 (N)；

A_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

机器零件在工作中所承受的拉应力不允许超过 σ_b ，否则就

会产生断裂。所以 σ_b 也是机械零件设计和选材的主要依据之一。在工程上把 σ_s/σ_b 的值称为屈强比，其值越高，材料强度的有效利用率越高；但过高则塑性储备小，可靠性差，一般以 0.75 左右为宜。

2. 塑性 金属材料在断裂前产生塑性变形的能力称为塑性。其评定指标是断后伸长率和断面收缩率。

(1) 断后伸长率 试样拉断后标距长度的伸长量与原始标距长度的百分比称为断后伸长率。用符号 δ 表示，计算见式 (1-5)。

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 δ ——断后伸长率 (%)；

L_0 ——试样原始标距长度 (mm)；

L_1 ——试样拉断后的标距长度 (mm)。

伸长率的大小与试样标距长度有关。按长径比将试样分为长试样 ($L_0/d_0 = 10$) 和短试样 ($L_0/d_0 = 5$) 两种。长试样的伸长率以 δ_{10} 或 δ 表示；短试样的伸长率以 δ_5 表示。同一种材料的短试样断后伸长率 δ_5 大于其长试样的断后伸长率 δ_{10} 。

(2) 断面收缩率 试样拉断处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比为断面收缩率。用符号 ψ 表示，计算见式 (1-6)。

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 ψ ——断面收缩率 (%)；

A_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)；

A_1 ——试样拉断处的最小横截面积 (mm^2)。

断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 是衡量金属材料塑性好坏的主要指标，其数值越大，表示材料的塑性越好。 ψ 不受试样尺寸的影响，所以能更确切地反映材料的塑性。塑性好的金属可发生大量塑性变形而不至破坏，以便通过塑性变形加工成复杂形状

零件。例如：工业纯铁的 $\delta \approx 50\%$ ， $\psi \approx 80\%$ ；而铸铁的 δ 和 ψ 几乎为零。故前者可拉成细丝、轧成薄板等，而后者则不能进行塑性变形加工，只适宜于铸造。但塑性过高，会限制材料强度的发挥，所以设计零件时应使强度和塑性适当匹配。

二、硬度

硬度是指材料抵抗局部变形、特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。硬度是衡量材料软硬程度的指标，其物理意义随着试验方法的不同而不同，有压入硬度试验法、划痕硬度试验法和回跳硬度试验法等等。工业生产中广泛应用的是压入法硬度试验，它反映了材料表面抵抗其它更硬物体压入的能力。在规定的静态试验载荷下将压头压入材料表面，用压痕深度或压痕表面面积来评定的硬度称为压痕硬度。

同拉伸试验相比，硬度试验的设备简单，操作迅速、方便，可以直接在零件或工具上进行试验而不破坏工件。还可以间接地反映金属的强度以及金属在化学成分、金相组织和热处理工艺上的差异，因而硬度试验应用十分广泛。工业生产中经常采用的有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等。

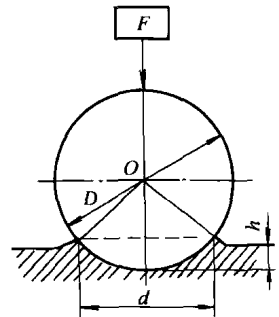


图 1-4 布氏硬度试验原理图

1. 布氏硬度

(1) 布氏硬度的试验原理 如图 1-4 所示。它是用一个一定直径的球体（淬火钢球或硬质合金球），以相应的试验力压入被测试样的表面，保持规定时间后卸除试验力，用测量表面压痕直径来计算硬度的一种压痕硬度试验。

布氏硬度值是用球面压痕单位面积上所承受的平均压力来表示。用符号 HBS (HBW) 来表示。计算见式 (1-7)。

$$\text{HBS (HBW)} = 0.102 \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-7)$$

式中 HBS (HBW) ——用钢球 (或硬质合金球) 试验时的布氏硬度值 (MPa);

F ——试验力 (N);

D ——球体直径 (mm);

d ——压痕平均直径 (mm)。

由式 (1-7) 可知, 当 F 、 D 一定时, 布氏硬度值仅与压痕直径 d 的大小有关。 d 越小, 布氏硬度值越大, 材料的硬度值就越高, 反之, 材料就越软。

布氏硬度习惯上只写出硬度值而不标出单位。在实际应用中用专用的读数放大镜测出压痕直径 d , 然后根据 d 值从表 1-1 压痕直径与布氏硬度对照表中查出相应的布氏硬度值。

表 1-1 压痕直径与布氏硬度对照表

压痕直径 d/mm	HBS 或 HBW $D = 10mm$ $F = 29.42kN(3000kgf)$	压痕直径 d/mm	HBS 或 HBW $D = 10mm$ $F = 29.42kN(3000kgf)$	压痕直径 d/mm	HBS 或 HBW $D = 10mm$ $F = 29.42kN(3000kgf)$
2.40	653	2.78	485	3.16	373
2.42	643	2.80	477	3.18	368
2.44	632	2.82	471	3.20	363
2.46	621	2.84	464	3.22	359
2.48	611	2.86	457	3.24	354
2.50	601	2.88	451	3.26	350
2.52	592	2.90	444	3.28	345
2.54	582	2.92	438	3.30	341
2.56	573	2.94	432	3.32	337
2.58	564	2.96	426	3.34	333
2.60	555	2.98	420	3.36	329
2.62	547	3.00	415	3.38	325
2.64	538	3.02	409	3.40	321
2.66	530	3.04	404	3.42	317
2.68	522	3.06	398	3.44	313
2.70	514	3.08	393	3.46	309
2.72	507	3.10	388	3.48	306
2.74	499	3.12	383	3.50	302
2.76	492	3.14	378	3.52	298

(续)

压痕直径 d/mm	HBS 或 HBW $D = 10mm$ $F = 29.42kN(3000kgf)$	压痕直径 d/mm	HBS 或 HBW $D = 10mm$ $F = 29.42kN(3000kgf)$	压痕直径 d/mm	HBS 或 HBW $D = 10mm$ $F = 29.42kN(3000kgf)$
3.54	395	4.22	204	4.90	149
3.56	392	4.24	202	4.92	148
3.58	288	4.26	200	4.94	146
3.60	285	4.28	198	4.96	145
3.62	282	4.30	197	4.98	144
3.64	278	4.32	195	5.00	143
3.66	275	4.34	193	5.02	141
3.68	272	4.36	191	5.04	140
3.70	269	4.38	189	5.06	139
3.72	266	4.40	187	5.08	138
3.74	263	4.42	185	5.10	137
3.76	260	4.44	184	5.12	135
3.78	257	4.46	182	5.14	134
3.80	255	4.48	180	5.16	133
3.82	252	4.50	179	5.18	132
3.84	249	4.52	177	5.20	131
3.86	246	4.54	175	5.22	130
3.88	244	4.56	174	5.24	129
3.90	241	4.58	172	5.26	128
3.92	239	4.60	170	5.28	127
3.94	236	4.62	169	4.30	126
3.96	234	4.64	167	5.32	125
3.98	231	4.66	166	5.34	124
4.00	229	4.68	164	5.36	123
4.02	226	4.70	163	5.38	122
4.04	224	4.72	161	5.40	121
4.06	222	4.74	160	5.42	120
4.08	219	4.76	158	5.44	119
4.10	217	4.78	157	5.46	118
4.12	215	4.80	156	5.48	117
4.14	213	4.82	154	5.50	116
4.16	211	4.84	153	5.52	115
4.18	209	4.86	152	5.54	114
4.20	207	4.88	150	5.56	113

(续)

压痕直径 d/mm	HBS 或 HBW $D = 10mm$ $F = 29.42kN(3000kgf)$	压痕直径 d/mm	HBS 或 HBW $D = 10mm$ $F = 29.42kN(3000kgf)$	压痕直径 d/mm	HBS 或 HBW $D = 10mm$ $F = 29.42kN(3000kgf)$
5.58	112	5.76	105	5.94	97.7
5.60	111	5.78	104	5.96	96.9
5.62	110	5.80	103	5.98	96.2
5.64	110	5.82	102	6.00	95.5
5.66	109	5.84	101		
5.68	108	5.86	101		
5.70	107	5.88	99.9		
5.72	106	5.90	99.2		
5.74	105	5.92	98.4		

(2) 布氏硬度的表示方法 当试验的压头为淬火钢球时, 硬度符号用 HBS 表示, 适用于硬度在 450HBS 以下的材料; 当压头为硬质合金球时, 符号为 HBW, 适于测硬度在 650HBW 以下的材料。一般硬度符号 HBS (或 HBW) 前面的数字为硬度值, 符号后面的数字表示试验条件, 依次为球体直径、试验力和试验保持的时间 (10 ~ 15s 不标注)。例如: 120HBS10/1000/30 表示用直径为 10mm 的钢球, 在 9807N (1000kgf) 试验力作用下, 保持 30s 时测得的布氏硬度值为 120。

如 500HBW5/750 表示用直径 5mm 的硬质合金球在 7355N (750kgf) 试验力作用下, 保持 10 ~ 15s 时测得的布氏硬度值为 500HBW。

(3) 试验条件的选择 在进行布氏硬度试验时, 压头球体的直径 D 、试验力 F 及载荷保持的时间 t , 应据被测材料的种类、硬度值的范围和金属的厚度进行选择。常用的压头球体直径有 1mm、2mm、2.5mm、5mm 和 10mm 五种, 通常使用直径 10mm 的压头。试验力可以从 9.807 ~ 29.42kN。试验力保持时间, 一般黑色金属为 10 ~ 15s, 有色金属为 30s, 当布氏硬度值小于 35HBS 时为 60s。

布氏硬度测定方法最大的特点是测量准确，且与 σ_b 之间有近似的比例关系。布氏硬度值的测量误差较小，数据稳定，重复性强，适用于测量灰铸铁、有色金属及其合金、结构钢及非金属等材料的硬度。但它测量费时，压痕较大，对表面损伤较大，不适宜于成品件或薄件的测量。

2. 洛氏硬度 洛氏硬度是目前工厂中应用最广泛的试验方法，用符号 HR 表示。它是用一个顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球为压头，在初始试验力及总试验力先后作用下，压入被测金属表面，用测量的残余压痕深度增量来计算硬度的一种方法。压痕越深，所得到的硬度值越低。按载荷不同，常用的洛氏硬度标尺有三种，分别用 HRA、HRB 和 HRC 表示。见表 1-2。

表 1-2 常用洛氏硬度标尺的试验条件和适用范围

硬度标尺	压头类型	总试验力/N	硬度值有效范围	应用举例
HRC	120° 金刚石圆锥体	1471.0	20 ~ 67HRC	一般淬火钢件
HRB	$\phi \frac{1}{16}$ 钢球	980.7	25 ~ 100HRB	软钢、退火钢、铜合金等
HRA	120° 金刚石圆锥体	588.4	60 ~ 85HRA	硬质合金、表面淬火钢等

洛氏硬度测定方法最大特点是操作简单、迅速，压痕较小，对测量表面影响不大，洛氏硬度值可以直接从硬度计的刻度盘上读数。材料越硬，则刻度盘上的硬度示值越大。反之，则刻度盘上的示值越小，即材料越软。洛氏硬度试验应用范围广，可以测定成品及薄件，且测试的硬度值范围大，可测从极软到极硬的金属材料。其不足是因压痕较小，当材料内部组织不均匀时，硬度数据波动较大，使测量值不够精确。实际测试中需在不同部位测试多次，取其平均值来代表材料硬度。

3. 维氏硬度 维氏硬度试验原理基本上和布氏硬度试验相同，只不过是利用相对面夹角为 136° 的金刚石正四棱锥体作为压

头，以选定的试验力压入金属表面，经规定的载荷保持时间后卸除试验力，用测量压痕对角线长度来计算硬度，如图 1-5 所示。即用压痕单位面积上承受的平均压力代表维氏硬度值。在生产中不用计算，同布氏硬度一样根据压痕对角线长度，从表中查出维氏硬度值。硬度值用符号 HV 表示，HV 前面为硬度值，后面的数字按顺序表示试验条件。

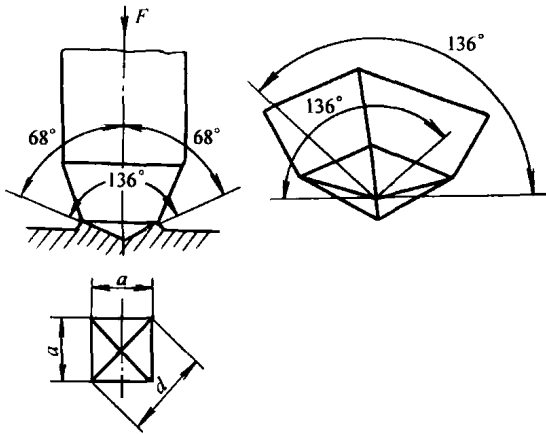


图 1-5 维氏硬度试验原理示意图

常用试验力在 49.03 ~ 980.7N 范围内变动。试验力保持时间，黑色金属为 10 ~ 15s (可省略不标)，有色金属为 $30s \pm 2s$ 。例如 664HV30 表示用 294.2N (30kgf) 试验力，保持 10 ~ 15s 测定的维氏硬度值为 664HV。

维氏硬度试验法的最大特点是所加的试验力小，压入深度浅，故广泛用来测定金属零件镀层、表面渗碳、渗氮层的硬度和较小、较薄的零件。而且维氏硬度值具有连续性 (10 ~ 1000HV)，故可测定从极软到极硬的各种金属材料之硬度，且准确性高。缺点是试验时需测定压痕对角线的长度，(由试验机上附带的显微镜测出来)，测试较繁。因压痕小，对试件的表面质量要求较高。

布氏、洛氏、维氏硬度及强度换算对照表见表 1-3。

表 1-3 黑色金属硬度及强度换算表

洛氏硬度		布氏硬度	维氏硬度	近似强度 值 σ_b	洛氏硬度		布氏硬度	维氏硬度	近似强度 值 σ_b
HRC	HRA	HBS30D ²	HV	/MPa	HRC	HRA	HBS30D ²	HV	/MPa
70	(86.6)		(1037)		43	72.1	401	411	1389
69	(86.1)		997		42	71.6	391	399	1347
68	(85.5)		959		41	71.1	380	388	1307
67	85.0		923		40	70.5	370	377	1268
66	84.4		889		39	70.0	360	367	1232
65	83.9		856		38		350	357	1197
64	83.3		825		37		341	347	1163
63	82.8		795		36		332	338	1131
62	82.2		766		35		323	329	1100
61	81.7		739		34		314	320	1070
60	81.2		713	2607	33		306	312	1042
59	80.6		688	2496	32		298	304	1015
58	80.1		664	2391	31		291	296	989
57	79.5		642	2293	30		283	289	964
56	79.0		620	2201	29		276	281	940
55	78.5		599	2115	28		269	274	917
54	77.9		579	2034	27		263	268	895
53	77.4		561	1957	26		257	261	874
52	76.9		543	1885	25		251	255	854
51	76.3	(501)	525	1817	24		245	249	835
50	75.8	(488)	509	1753	23		240	243	816
49	75.3	(474)	493	1692	22		234	237	799
48	74.7	(461)	478	1635	21		229	231	782
47	74.2	449	463	1581	20		225	227	767
46	73.7	436	449	1529	19		220	221	752
45	73.2	424	436	1480	18		216	216	737
44	72.6	413	423	1434	17		211	211	724