

实验十一 材料表面硬度的测定

一、实验目的

了解材料硬度的基本概念，通过显微硬度测试的实验操作，了解并掌握采用适当的方法表征材料的硬度。

二、实验原理

(一) 硬度的基本概念

根据矿物学定义：“硬度是衡量一个晶体在不同面和方向上抵抗其表面层机械损伤能力的量。”一般理解为：“硬度是衡量材料抵抗另一物体压入的能力的量。”Taber 定义硬度是定量地表示一种材料抵抗其表面层局部变形的能力。硬度是材料化学性质、物理性质和金相组织特性的综合表现。

硬度的表征根据测试方法不同而有不同的表征，一般将硬度的测试分为静载荷测试法和动载荷测试法。也有分三类的，分为静负荷测试法、压头作切线运动的测试法和脉冲冲击负荷测试法。

1. 静负荷硬度测试法(主要参考标准见 VDI/VDE 准则 2618 草案《德意志联邦共和国工程师协会和电气工程师协会准则》)。

静负荷硬度测试法主要是对压痕进行测量，根据对压痕测量方法的不同还可分为多种，其中具代表性的有卸荷后测量压痕的布氏法、维氏法、努氏法和洛氏法，以及不卸荷测量压痕面积的压球法(测聚合物材料硬度，用 IRHD 表示)、肖氏回跳法和改进的维氏显微硬度计法等。

布氏法和维氏法以应力与压痕面积之比来表示。如 HB 和 HV， $1\text{HB}(HV)=1\times 10\text{N}/\text{mm}^2$ 。

在静负荷硬度测试实验中压头毫无例外地都比试件硬。布氏硬度测试方法就是用一个钢球压出一个球面形的压痕；维氏硬度测试方法是用金刚石做的凌锥体压头压出一个菱形面压痕；

2. 压头作切线运动和脉冲冲击负荷的动载荷的硬度测试法

主要有莫氏硬度测试法：主要用于测矿石。通常将岩石硬度分为 10 级，如一般认为金刚石为 10 级莫氏硬度，刚玉为 9 级莫氏硬度，石英为 7 级莫氏硬度，以方解石为主的石灰石为 3 级莫氏硬度，滑石为 1 级莫氏硬度等；

此外，划痕硬度测试法、研磨硬度测试法、连续硬度测试法等也属于压头作切线运动的测试范围。

以上方法的共同点为：材料在动、静载荷作用下发生变形，通过作用力与测量变形来表征材料的硬度。由于材料在载荷作用下的变形包含了弹性变形、塑性变形、弹塑性变形和磨粒磨损过程，而不同行业针对不同材料硬度表征所关注的角度不同，因此形成了不同的材料硬度测试方法。

我国也形成了针对不同材料硬度测试的国家标准，如 GB/T4342 《金属显微维氏硬度试验方法》、GB/T230 《金属洛氏硬度试验方法》、GB/T6270 《标准布氏硬度块的标定》等。

本实验参考 GB/T 4342。

(二) 试验原理

应用 HX-1000 显微硬度计，通过光学放大，测出在一定试验力下的金刚石角锥体压头压入被测物体后所残留的压痕的对角线长度来求出被测物体的硬度。硬度值的计算公式为：

1. 维氏压头：

$$HV = 0.102 \times \frac{F}{S} = 0.102 \times \frac{2F \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 0.102 \times \frac{1.8544F}{d^2} = 0.1891 \times \frac{F}{d^2}$$

式中：HV—维氏硬度值；

F—试验力，N；

S—压痕面积， mm^2 ；

d—压痕对角线长度，mm；

α —压头相对面夹角， 136° 。

$$0.102 = \frac{1}{9.80665}, \text{ N}$$

2. 努普压头

$$HK = 0.102 \times \frac{F}{S} = 0.102 \times \frac{2F \text{tg} \frac{\alpha}{2}}{d^2 \text{tg} \frac{\beta}{2}} = 0.102 \times \frac{14.229F}{d^2} = 1.451 \times \frac{F}{d^2}$$

式中：HK—努普硬度值；

F—试验力，N；

S—压痕的投影面积， mm^2 ；

d—压痕长对角线长度，mm；

α —压痕第一对棱夹角， $172^\circ 30'$ ；

β —压痕第一对棱夹角， 130° ；

$$0.102 = \frac{1}{9.80665}, \text{ N}$$

三、实验仪器设备及流程

显微硬度计

四、实验操作步骤

(1) 安置试样

试样安装有辅助工作台、平口钳、薄片夹紧器、圆柱体夹紧器、压平装置可供选择。主机工作台的升降行程只有 30mm，而被测试样的最大高度允许为 75mm。

对于厚试样可直接放在工作台上进行测定，而对于薄试样则需要加垫辅助工作台。辅助工作台可用滚花螺钉固定在工作台上。当使用平口钳和薄片夹紧器时，也需放上辅助工作台才能有足够的高度。为了防止工作台在左右移动时试样发生位移，可以粘上少量的橡皮泥。

对于比较方整的试样，或测试圆柱体时，可用平口钳进行夹紧。装夹时可将平口钳翻过来，使钳口与比较平整的平面接触(如玻璃或压侧平台)，再将试样放于钳口之间进行夹紧，这样可以保证被测试样的表面与钳口的上面共面，因而保证试样与工作台的平行性。

对于薄片试样可将薄片夹紧器进行装夹。将薄片夹紧器放在工作台上时，要注意方向，操作时必须注意，不要碰撞物镜与压头保护套。

对于测定 0.2~4 毫米的圆柱体试样的端面的硬度时，可用圆柱体夹紧器，而圆柱体夹紧器可直接用高厚滚花螺钉固定在仪器的工作台上。

对于形状比较复杂的零件可以用橡皮泥粘在压平台上。然后放在压平机上压平，这样可以保证试样表面与工作台的平行度。当使用 1.961N 以上的大试验力时，要注意试样有否下沉，否则会影响试验效果的。

(2) 调焦

先将目测-摄像手柄外拉出，使仪器处于目测位置。由于显微硬度计的物镜倍数高，而高倍物镜的景深比较小，仅 1~2 μm ，因此不熟练的使用者找图象比较困难。切勿在未熟练操作之前，测定针尖之类的试样，否则有可能在调焦时损坏物镜。为此可以先找一平整，而粗糙度达 Ra3.2 的试样进行训练。先将试样调到与物镜端面近似于接触，再将粗调焦手轮反转，往下调一圈，再往上略微调节此手轮，在视场内可见到试样的表面像。当操作熟练以后，就可以直接调焦。先转动工作台升降手柄，使试样升高至离物镜面约 1mm 处，随后缓慢转动手轮，可以看到视场逐渐明亮，先看到模糊的灯丝像，然后再看到试样的表面像，直调到

最清晰为止。若发现测微目镜视场内的十字叉线不清晰的话，应先调节视度调节圈，对于不同的操作者，由于视度不一致，因此需旋动视度调节圈，患有近视的操作者应往里调，远视则相反，直调到最清晰为止。再进行调焦。

(3)转动工作台上纵横向微分筒，在视场里找出试样的需测试部位。

(4)推动工作台移至右端，这时试样从显微镜视场中移到了加荷机构的金刚石角锥体压头下面(注意移动时必须缓慢而平稳，不能有冲击，以免试样走动)。

(5)加荷：开机即为 15 秒，再按电动机启动按键“S”进行加荷，当保荷时间的数码管数字开始缩减时，表示试验力已加上，至数码管中出现 0 字(或 1)，电动机自动启动进行卸荷，卸荷完后数码管中又回复原来的数字。

(6)加荷完毕后将工作台扳回原来位置，进行测定。

(7)需要精确地测定指定点的硬度时，可以先试打一点。在理想的情况下，压痕应落在视场的近中心位置。有时为了精确地打定点，可移动测微目镜的二块分划板，使二个交叉十字线的交点与试打的压痕中心重合，以后再打的压痕就会落在分划板的叉线中心。在确定压痕位置时，切不可旋动工作台的测微螺杆，以免变动压痕位置。

五、数据处理

(1) 瞄准

调节工作台上的纵横微分筒和测微目镜左右两侧的手轮，使待测压痕对角线的顶点与目镜视场中交叉线的中心点精确地重合。若测微目镜视场内的叉线与压痕不平行，则可转动测微目镜使之平行。瞄准时切记应以待测压痕对角线的顶点为准。

(2) 读数

视场内见到的 0、1、2...8 是毫米数，读数鼓轮刻有 100 等分的刻线，每格为 0.01mm，每转一圈为 100 格，视场内双连线同叉线移动一格；读数鼓轮旁边刻有游标，每格读数为 0.001mm；因此总的读数是 4 位数，即 0.000mm。若在视场中看到的不是正方形的，那么应将测微目镜转过 90° 重复上述方法，读得另一对角线之长度。二个不等的对角线长度的平均值为等效正方形的对角线长度。

(3) 求对角线的实际长度

A. 从测微目镜读取的值，是通过物镜的放大值，压痕对角线的实际长度为： $d = \frac{N}{V}$

式中：d—压痕对角线的实际长度

N—测微目镜上测得的对角线长度

V—物镜放大倍数，本实验所用物镜的倍率已调整为 40×

B. 压痕对角线的实际长度还可以用另一种方法求得

先求测微目镜的格值，然后将测微目镜上测得的对角线长度的格数与格数值的乘积就是压痕对角线的实际长度。

$$\begin{aligned} \text{测微目镜格值} &= \frac{\text{读数鼓轮转过一小格时分刻板移动的实际长度}}{\text{物镜放大倍数}} = \frac{0.01\text{mm}}{40} \\ &= 0.00025\text{mm} \end{aligned}$$

(4) 查表求值

根据(2)中读得的格数值可查显微硬度值表，得出试样的维氏硬度值(HV)。

硬度值表中未列出小试验力的值，但根据表格进行比例缩减也可查得小试验力时的硬度值。例如：0.09807N 试验力，测微目镜中测得压痕对角线长度为 80 格，查 0.9807N的表格对应为 464HV_{0.1}，再除以 10 即为 46.4HV_{0.01}。

六、分析讨论题

1. 什么是材料的硬度？针对不同的材料有哪些硬度的表征方法？
2. HX-1000 显微硬度计适用于哪些材料硬度的测试，用何种硬度值表示？
3. 在本实验中要注意哪些问题？

附：显微硬度值表

目镜读数(格)	维氏硬度值				
	0	0.2	0.4	0.6	0.8
130	1756	1750	1745	1740	1734
131	1729	1724	1718	1731	1708
132	1703	1698	1693	1687	1682
133	1677	1672	1667	1662	1657
134	1652	1647	1643	1638	1633
135	1628	1623	1618	1614	1609
136	1604	1599	1595	1590	1585
137	1581	1576	1572	1567	1563
138	1558	1553	1549	1545	1540
139	1536	1531	1527	1522	1518
140	1514	1509	1505	1501	1497
141	1492	1488	1484	1480	1476
142	1471	1467	1463	1459	1455
143	1451	1447	1443	1439	1435

144	1431	1427	1423	1419	1415
145	1411	1407	1403	1400	1396
146	1392	1388	1384	1381	1377
147	1373	1369	1366	1362	1358
148	1355	1351	1347	1344	1340
149	1336	1333	1329	1326	1322
150	1319	1315	1312	1308	1305
151	1301	1298	1294	1291	1288
152	1284	1281	1277	1274	1271
153	1267	1264	1261	1258	1254
154	1251	1248	1245	1241	1238
155	1235	1232	1229	1225	1222
156	1219	1216	1213	1210	1207
157	1204	1201	1198	1195	1192
158	1189	1186	1183	1180	1177
159	1174	1171	1168	1165	1162

目镜读数(格)	维氏硬度值				
	0	0.2	0.4	0.6	0.8
160	1159	1156	1153	1150	1147
161	1145	1142	1139	1136	1133
162	1131	1128	1125	1122	1119
163	1117	1114	1111	1109	1106
164	1103	1100	1098	1095	1092
165	1090	1087	1085	1082	1079
166	1077	1074	1072	1069	1066
167	1064	1061	1059	1056	1054
168	1051	1049	1046	1044	1041
169	1039	1036	1034	1032	1029
170	1027	1024	1022	1019	1017
171	1015	1012	1010	1008	1005
172	1003	1001	998	996	994
173	991	989	987	985	982
174	980	978	976	973	971
175	969	967	964	962	960
176	958	956	954	951	949

177	947	945	943	941	939
178	936	934	932	930	928
179	926	924	922	920	918
180	916	914	912	910	908
181	906	904	902	900	898
182	896	894	892	890	888
183	886	884	882	880	878
184	876	874	873	871	869
185	867	865	863	861	859
186	858	856	854	852	850
187	848	847	845	843	841
188	839	838	836	834	832
189	831	829	827	825	824

目镜读数 (格)	维 式 硬 度 值									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
190	822	813	805	797	788	780	772	765	757	749
200	742	734	727	720	713	706	699	692	686	679
210	673	666	660	654	648	642	636	630	624	619
220	613	607	602	597	591	586	581	576	571	566
230	561	556	551	547	542	537	533	528	524	519
240	515	511	507	502	498	494	490	486	482	479
250	475	471	467	464	460	456	453	449	446	442
260	439	436	432	429	426	423	419	416	413	410
270	407	404	401	398	395	392	389	387	384	381
280	378	376	373	370	368	365	363	360	358	355
290	353	350	348	346	343	341	339	336	334	332
300	330	327	325	323	321	319	317	315	313	311
310	309	307	305	303	301	299	297	295	293	292
320	209	288	286	284	283	281	279	277	276	274
330	272	271	269	268	266	264	263	261	260	258
340	257	255	254	252	251	249	248	246	245	244
350	242	241	239	238	237	235	234	233	232	230
360	229	228	226	225	224	223	221	220	219	218
370	217	216	214	213	212	211	210	209	208	207
380	205	204	203	202	201	200	199	198	197	196
390	195	194	193	192	191	190	189	188	187	186
400	185	185	184	183	182	181	180	179	178	177
410	177	176	175	174	173	172	171	171	170	169
420	168	167	167	166	165	164	163	163	162	161
430	160	160	159	158	158	157	156	155	155	154
440	153	153	152	151	151	150	149	148	148	147
450	147	146	145	145	144	143	143	142	141	141
460	140	140	139	138	138	137	137	136	135	135
470	134	134	133	133	132	132	131	130	130	129
480	129	128	128	127	127	126	126	125	125	124

目镜读数 (格)	维 式 硬 度 值									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
490	124	123	123	122	122	121	121	120	120	119
500	119	118	118	117	117	116	116	115	115	115
510	114	114	113	113	112	112	111	111	111	110
520	110	109	109	108	108	108	107	107	106	106
530	106	105	105	104	104	104	103	103	103	102
540	102	101	101	101	100	99.9	99.5	99.2	98.8	98.4
550	98.1	97.7	97.4	97	96.7	96.3	96	95.6	95.3	95
560	94.6	94.3	93.9	93	93.3	92.9	92.6	92.3	92	91.6
570	91.3	91	90.7	90.4	90.1	89.7	89.4	89.1	88.8	88.5
580	88.2	87.9	87.6	87.3	87	86.7	86.4	86.1	85.8	85.5
590	85.2	84.9	84.7	84.4	84.1	83.8	83.5	83.2	83	82.7
600	82.4	82.1	81.9	81.6	81.3	81.1	80.8	80.5	80.3	80
610	79.7	79.5	79.2	79	78.7	78.4	78.2	77.9	77.7	77.4
620	77.2	76.9	76.7	76.4	76.2	76	75.7	75.5	75.2	75
630	74.8	74.5	74.3	74	73.8	73.6	73.4	73.1	72.9	72.7
640	72.4	72.2	72	71.8	71.5	71.3	71.1	70.9	70.7	70.4
650	70.2	70	69.8	69.6	69.4	69.2	68.9	68.7	68.5	68.3
660	68.1	67.9	67.7	67.5	67.3	67.1	66.9	66.7	66.5	66.3
670	66.1	65.9	65.7	65.5	65.3	65.1	64.9	64.7	64.5	64.4
680	64.2	64	63.8	63.6	63.4	63.2	63	62.9	62.7	62.5
690	62.3	62.1	62	61.8	61.6	61.4	61.2	61.1	60.9	60.7
700	60.6	60.4	60.2	60	59.9	59.7	59.5	59.4	59.2	59
710	58.9	58.7	58.5	58.4	58.2	58	57.9	57.7	57.6	57.4
720	57.2	57.1	56.9	56.8	56.6	56.4	56.3	56.1	56	55.8
730	55.7	55.5	55.4	55.2	55.1	54.9	54.8	54.6	54.5	54.3
740	54.2	54	53.9	53.7	53.6	53.5	53.3	53.2	53	52.9
750	52.7	52.6	52.4	52.3	52.2	52.1	51.9	51.8	51.6	51.5
760	51.4	51.2	51.1	51	50.8	50.7	50.6	50.4	50.3	50.2
770	50	49.9	49.8	49.7	49.5	49.4	49.3	49.1	49	48.9
780	48.8	48.6	48.5	48.4	48.3	48.1	48	47.9	47.8	47.7