



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Сопротивление материалов»

Сборник задач
для проведения лабораторных работ
по дисциплинам
«Сопротивление
материалов» и «Техническая механика»
на тему
«Определение твердости образцов из стали и полимерных материалов»

Авторы
Краснобаев И.А.,
Маяцкая И.А.

Ростов-на-Дону, 2022

Аннотация

Методические указания предназначены для проведения лабораторной работы по дисциплинам «Соппротивление материалов» и «Техническая механика» для обучающихся по техническим направлениям подготовки (специальностям).

Настоящие методические указания ставят своей задачей ознакомление студентов, изучающих общий курс сопротивления материалов, с вопросами экспериментального определения твердости материалов.

Авторы

к.т.н., профессор кафедры «СМ» Краснобаев И.А.
к.т.н., доцент кафедры «СМ» Маяцкая И.А.,





Оглавление

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ И ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	4
1. Цель работы	4
2. Основные теоретические положения	4
3. Испытываемые образцы.....	10
4. Описание эксперимента.....	10
5. Описание испытательного оборудования.....	17
6. Порядок проведения испытаний «Определение твердости образцов из стали и полимерных материалов»	20
7. Контрольные вопросы.....	21
8. Основные правила техники безопасности	21
Приложение 1	22

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ И ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1. Цель работы

Изучить методику экспериментального определения твердости материала, используя различные методы.

2. Основные теоретические положения

Твердостью называют свойство материала сопротивляться внедрению в них другого более твердого и не получающего остаточным деформациям тела определенной формы и размера (индентора). При вдавливании тела в материалы, возникают местные пластичные и вынужденно эластичные деформации, которые сопровождаются локальным разрушением при дальнейшем увеличении давления.

Величины, характеризующие твердость, называются числами твердости. Определяемые разными методами они различны по величине и по размерности и всегда сопровождается указанием способа их определения. Например, 30НВ – твердость по Бринеллю, где 30 – число твердости; 30HRC – твердость по Роквеллу, где С – обозначение шкалы измерения; HV – твердость по Виккерсу; HSD – твердость по Шору, где D – тип шкалы.

Оценивают твердость отношением силы к размеру отпечатка образовавшимся при внедрении индентора (рис. 1).

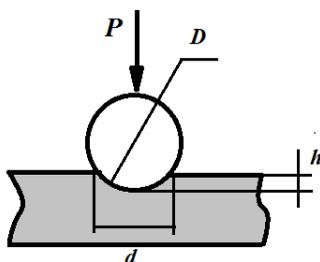


Рис.1. Схема определения твердости

Испытания на твердость производятся следующими методами: 1) по Бринеллю; 2) по Шору; 3) по Роквеллу; 4) способ ориентировочного определения твердости; 5) метод царапания; 6) по Виккерсу.

Существующие методы измерения твердости отличаются друг от друга по форме применения индентора: стальной шарик с разными диаметрами, алмазный в форме 4-х гранной пирамиды, алмазный конус, затупленная игла; по условиям приложения нагрузки и по способу расчета чисел твердости; способы определения твердости в зависимости от скорости приложения нагрузки делятся на: статические и динамические; по способу приложения нагрузки на методы вдавливания и царапания.

Определение твердости по Бринеллю.

В этом методе используются шаровые инденторы с диаметром d . В испытуемый образец вдавливаются под действием нагрузки P в течении определенного времени стальной шарик, который образует отпечаток диаметром d . На рис. 2 показан пресс Бринеля, который применяется для испытания материала на твердость вдавливанием в образец стального шарика.

Число твердости по Бринеллю определяется, как отношение нагрузки P к площади поверхности отпечатка:

$$HB = \frac{P}{F}.$$

Площадь шаровой поверхности можно определить по глубине отпечатка h и диаметру:

$$F = \pi D h, \text{ где } D \text{ – диаметр стального шарика.}$$

В результате получаем:

$$F = \frac{\pi D}{2} \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right) \text{ и } h = 0,5D \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2} \right).$$

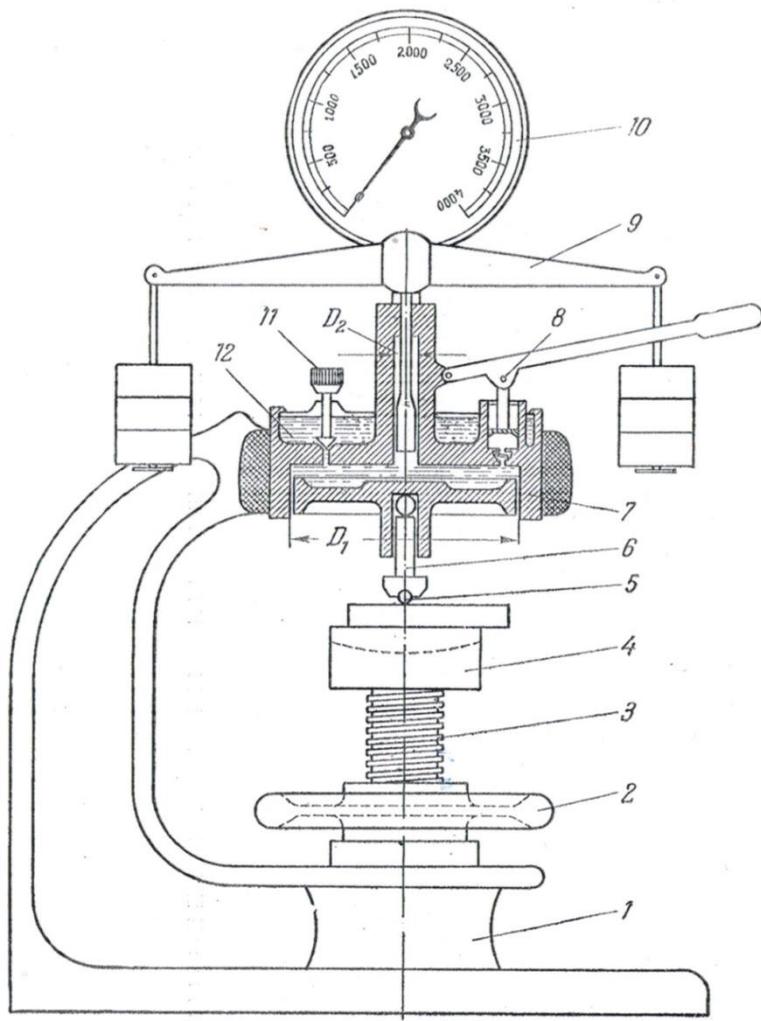


Рис.2. Пресс Бринелля

На этом рисунке

- 1 – станина; 2 – маховик; 3 – подъемный винт; 4 – стол;
 5 – шарик; 6 – штемпель; 7 – рабочий цилиндр; 8 – ручной насос;
 9 – коромысло; 10 – динамометр; 11 – головка клапана;
 12 – маслосборный резервуар

Определение твердости по Роквеллу

Используется индентор 2-х видов: алмазный конус с углом при вершине 120° или стальной шарик диаметром D .

Индентор вдавливается в образец под действием 2-х последовательных нагрузок: предварительной P_0 и общей $P_1 (P = P_0 + P_1)$, P_1 - основная нагрузка.

Число твердости по Роквеллу является мерой глубины вдавливания инвентора под определенной нагрузкой и измеряется в условных единицах.

Сначала индентор вдавливается в поверхность образца, прикладывая предварительную нагрузку, которая сохраняется до конца испытаний на глубину вдавливания h_0 . Затем нагрузка увеличивается на величину P_1 . Индентор нагружается на глубину h , затем основная нагрузка убирается и индентор находится на глубине h_1 .

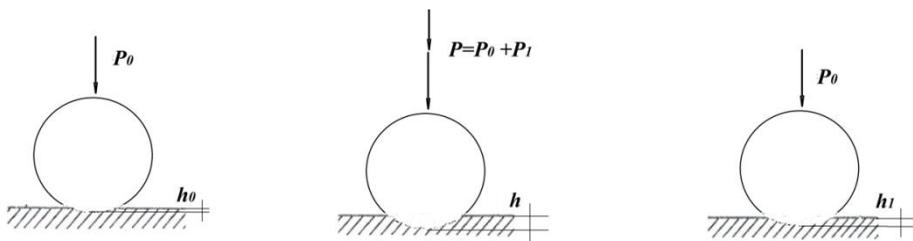


Рис.3. Определение твердости по Роквеллу

Число твердости определяется глубиной h_3 , а значение твердости определяется по шкале R на твердомере (рис. 4).

Определение твердости по Виккерсу

Используется алмазный инвектор в виде 4-х гранной пирамиды с углом при вершине 136° . После удаления нагрузки действовавшей некоторое время измеряют диагональ отпечатка d , оставшегося на поверхности образца.

Число твердости по Виккерсу определяется, как отношение нагрузки P к поверхности пирамиды отпечатка F .

$$HV = \frac{P}{F}; F = \frac{d^2}{2} \frac{1}{\sin \alpha / 2}$$

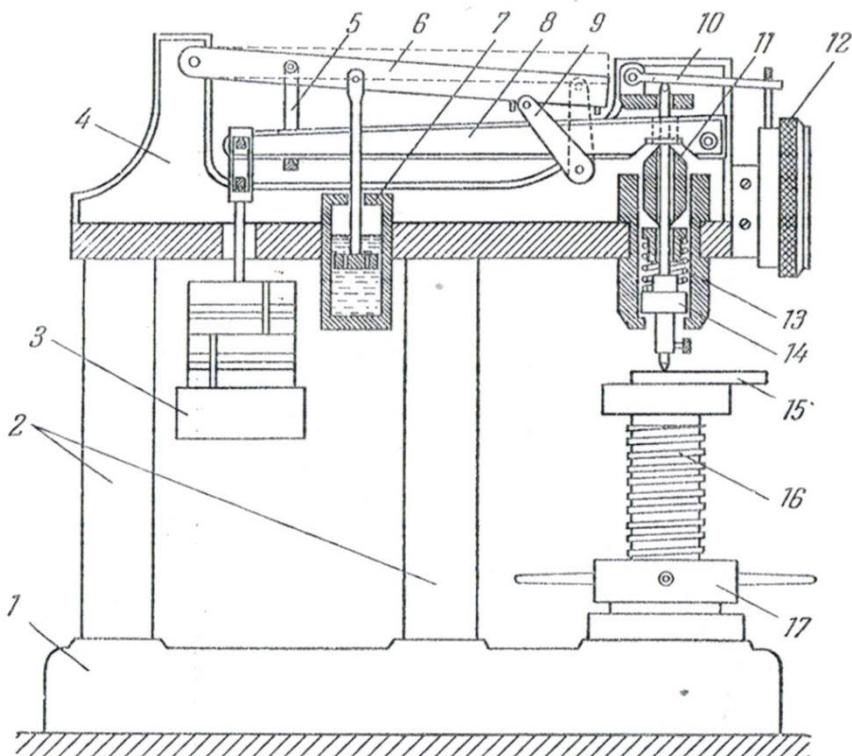


Рис.4. Прибор для определения твердости по Роквеллу

На этом рисунке

- 1 – станина; 2 – стойки; 3 – грузы; 4 – поперечина; 5 – серьга;
- 6 – рычаг; 7 – масляный тормоз; 8 – грузовой рычаг;
- 9 – защелка; 10 – рычаг индикатора; 11 – призма;
- 12 – индикатор; 13 – калиброванная пружина; 14 – штемпель;
- 15 – образец; 16 – винт; 17 – маховик

Определение твердости по Шору

Применяются конические инденторы. Сущность этого метода заключается в измерении глубины вдавливания индентора в виде конусной иглы под действием заданной нагрузки, определяется твердость при помощи бойка с наконечником, который падает на поверхность образца с определенной высоты.

Число твердости по Шору H_S измеряется в условных единицах соответствующих высоте подъема бойка после удара. Чем тверже материал образца, тем выше отскакивает боек. Для измерения твердости по Шору также используется свой твердомер.

Способ ориентировочного определения твердости

Этот способ заключается в том, что шарик под действием силы вдавливания в испытываемую поверхность и в эталонный образец с известной твердостью. Число твердости определяется по

формуле:
$$HB_0 = \frac{D - \sqrt{D^2 - d_0^2}}{D - \sqrt{D^2 - d^2}} * HB_0, \text{ где } D - \text{ диаметр}$$

вдавливаемого шарика; d – диаметр отпечатка на поверхности исследуемого образца; d_0 – диаметр отпечатка эталонного образца; HB_0 – твердость по Бринелю эталонного образца.

Метод царапания

Он состоит в нанесении царапины на поверхность образца алмазным или другим индентором, который находится под постоянной нагрузкой.

Для оценки твердости H_c могут быть использованы такие характеристики как величина нагрузки P при которой царапина получается шириной 10 микрон или ширина царапины при заданной нагрузке.

3. Испытываемые образцы

Испытывают образцы, изготовленные из различных материалов, длиной l , прямоугольного поперечного сечения шириной b и высотой h (рис. 5).

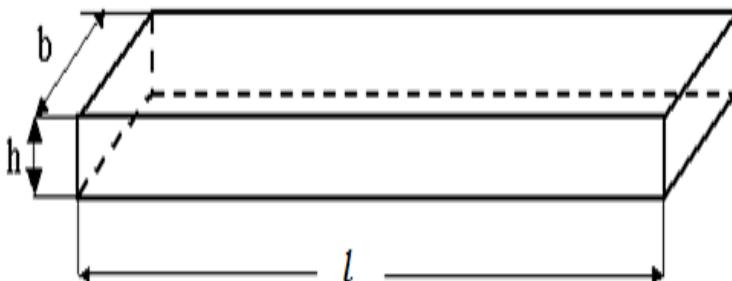


Рис.5. Эскиз испытываемого образца

Образцы устанавливают на рабочий стол и подвергают воздействию нагрузки с помощью внедрения индентора.

4. Описание эксперимента

Любой из существующих на сегодняшний день материалов имеет ту или иную твердость, определяемую степенью сопротивления при проникновении в него более твердого тела. В некоторых случаях определение твердости не является существенным измерением, и ее проведение не требуется. В случае же, когда материал используется, например, в строительстве для изготовления тех или иных ответственных конструкций измерение и уточнение твердости, а также толщины поверхностного слоя, является очень важным условием. А для того, чтобы их определить, используются специальные приборы: твердомеры и толщиномеры.

На сегодняшний день существует несколько способов определения твердости материалов, которые применимы для различных по своим свойствам материалов. Одновременно с этим и твердомеры так же отличаются друг от друга. Так приборы, в основе которых лежит измерение твердости с помощью методов Бриннеля и Шора используют для работы с мягкими материалами, а методов Виккерса и Роквелла – для определения показателей более крепких и прочных материалов.

Способы проведения испытаний:

- при методе Бринелля поверхность материала продавливается стальным шариком в течение определенного количества времени; твердость в данном случае определяется по тому, какой диаметр оставил этот шарик на поверхности материала;
- при методе Шора в поверхность материала вдавливаются индентор (инородный предмет, который по показателям твердости превосходит испытуемый материал); твердость материала, в свою очередь, определяется по глубине продавливания материала;
- при методе Виккерса в поверхность материала вдавливаются четырехгранная алмазная пирамидка, которая оставляет на его поверхности свой отпечаток; твердость же определяется делением той нагрузки, с которой прикладывалась пирамидка на площадь получившегося отпечатка;
- при методе Роквелла делается все, так же как и при методе Шора, но при этом твердость индентора в данном случае еще более высокая.

У каждого из вышеперечисленных способов имеется своя собственная шкала твердости, и применять одну и ту же сразу ко всем методам нельзя. По тому, какой способ используется для определения твердости материалов, все приборы можно разделить на две группы по их портативности. Так, одни модели твердомеров используют непосредственно на месте размещения конструкции, выполненной из того или иного материала – это переносные приборы, другие – в специальных лабораториях, размещаются стационарно.

Таким образом, твердомер – это прибор для определения твердости различных материалов который в свою очередь может быть как стационарным, так и переносным и основываться на применении различных методов испытаний.

Используются следующие переносные приборы для определения твердости:

- по методу Бринелля ПТБ-5Ш (рис. 6) с помощью внедрения шарика под действием динамической нагрузки с диапазоном измерения твердости от 75 до 450 НВ (737...4413 МПа);
- по методу Роквелла ПТР-1К (рис. 7) с помощью ударного внедрения конуса с диапазоном измерения от 20 до 66 НRC.

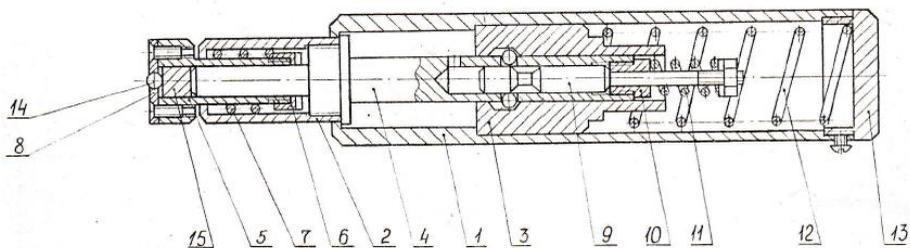


Рис.6. Прибор для определения твердости ПТБ-5Ш

На этом рисунке

- 1 – корпус; 2 – стакан; 3 – ударник; 4 – шток; 5 – втулка;
- 6 – гайка; 7 – пружина; 8, 13 – крышки; 9 – ось; 10 – упор;
- 11, 12 – пружины; 14 – шарик; 15 – стандартный образец.

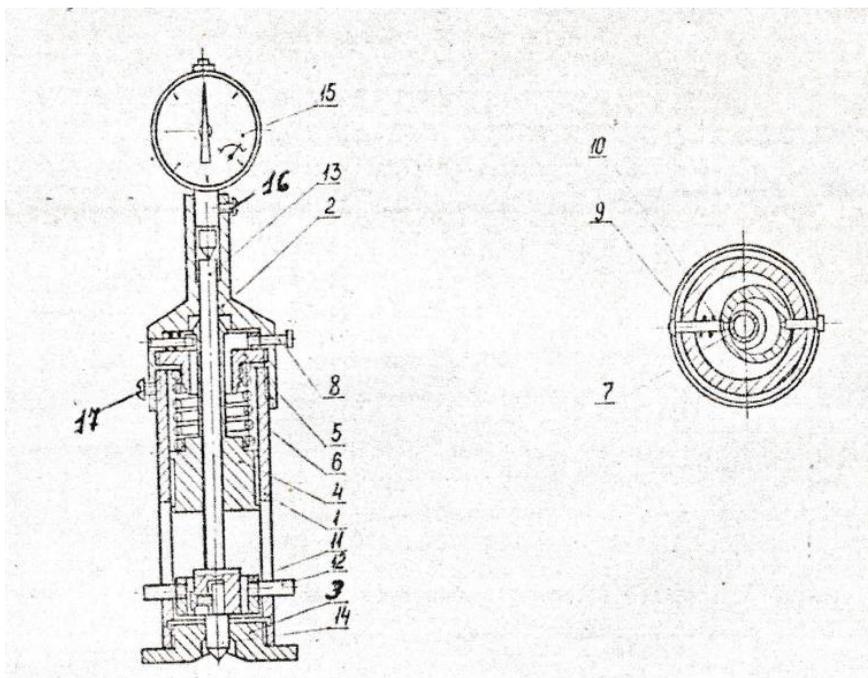


Рис.7. Прибор для определения твердости ПТР-1К

На этом рисунке

- 1 – корпус; 2 – стакан; 3 – основание; 4 – ударник; 5 – гайка; 6, 10 – пружина; 7 – кольцо;
 8 – кнопка; 9 – направляющая; 11 – стакан; 12 – упор; 13 – ось;
 14 – наконечник Роквелла; 15 – индикатор часового типа.

Эти приборы предназначены для работы в производственных и лабораторных условиях при определении твердости на разнообразных видах металлопроката, а также на крупногабаритных или имеющих сложную форму деталях.

Метод определения основан на измерении сравнительной твердости стандартного образца с известной твердостью (рис. 8) и исследуемого образца.

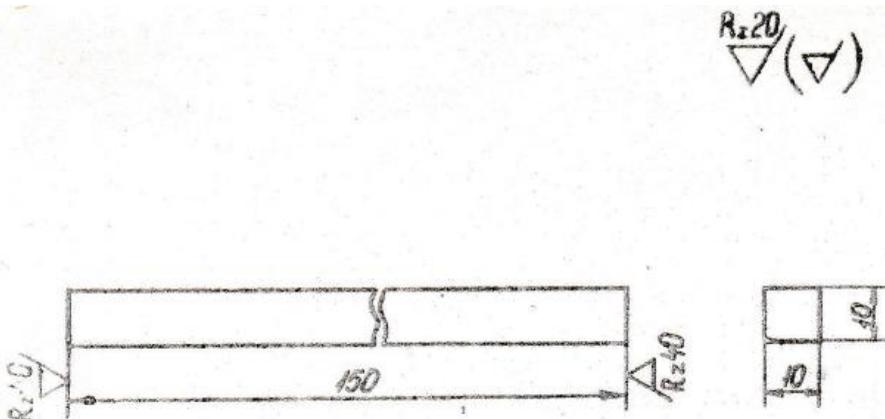


Рис.8. Форма и размеры стандартного образца из стали с твердостью 140...210 НВ

Испытания проводятся в следующей последовательности (рис. 6):

1. выдвинуть втулку 5 из стакана 2;
2. вставить в окно втулки 5 стандартный образец 15 с известной твердостью;
3. установить прибор так, чтобы ось прибора была перпендикулярна к испытуемой поверхности;
4. плавно нажать на корпус прибора, перемещая его к испытуемой поверхности до удара;

5. выдвинуть втулку 5 из стакана 2 и передвинуть стандартный образец для проведения дальнейших испытаний.

В результате удара происходит одновременное внедрение шаровидного индентора в поверхность стандартного образца и испытываемого объекта.

Для получения достоверных численных значений твердости требуется на испытываемую поверхность нанести 3-4 отпечатка и измерить полученные диаметры отпечатков на стандартном образце $d_{ст}$ и на объекте измерения d_0 с помощью микроскопа.

Диаметры должны измеряться по правильному кругу, исключая из объекта измерения овальность или эллипсность отпечатков, как на измеряемом объекте, так и на стандартном образце.

Значение твердости испытываемого образца находят по таблице 1 сравнительной твердости испытываемого объекта HB_0 в зависимости от величины отношения диаметров отпечатков на стандартном образце с твердостью $HB_{ст}$ и на объекте: $HB_0 =$

$$HB_{ст} \left(\frac{d_{ст}}{d_0} \right) .$$

Таблица 1

Твердость испытываемого объекта НВ ₀ при твердости стандартного образца НВ _{ст}																		
д _{ст}	d ₀	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	205	210		
0,74																76	78	80
0,75																77	79	81
0,76														76	78	80	82	
0,77													75	77	79	81	83	
0,78										74	76	78	80	82	84	86	88	
0,79									74	76	78	80	82	84	86	88	90	
0,80									76	78	80	82	84	86	88	90	92	
0,81									76	78	80	82	84	86	88	90	92	
0,82							73	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	
0,83						74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	97	
0,84					74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	97	100	
0,85			74	77	79	82	84	87	90	92	95	98	101	104	107	109	112	
0,86			78	80	83	86	88	91	94	97	100	103	106	109	112	114	117	
0,87			82	84	87	90	92	95	98	101	104	107	110	113	116	119	122	
0,88		80	83	85	88	91	94	97	100	103	106	109	112	115	118	121	124	
0,89		83	86	89	92	95	98	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128	
0,90		87	90	93	97	100	103	106	109	112	115	118	121	124	127	130	133	
0,91		90	93	96	100	103	106	109	112	115	118	121	124	127	130	133	136	
0,92		94	97	100	103	107	110	114	117	120	124	127	131	134	138	141	145	
0,93		96	100	103	107	110	114	117	120	124	127	131	134	138	141	145	149	
0,94		100	104	108	111	115	118	122	126	129	133	136	140	144	147	151	156	
0,95	104	108	111	115	119	122	126	130	134	137	141	145	149	152	156	160	163	
0,96	109	112	116	120	124	128	132	136	140	144	148	151	155	159	163	167	171	
0,97	112	116	119	123	128	132	136	140	144	148	152	157	161	165	169	174	178	
0,98	116	119	124	128	132	136	140	145	149	152	157	161	165	170	174	179	183	
0,99	119	123	127	131	135	139	144	148	152	157	161	166	170	175	179	184	188	
1,00	122	126	131	135	139	144	148	152	157	162	167	171	176	181	185	191	194	
1,01	125	130	134	139	143	148	153	157	162	167	171	176	181	187	192	197	202	
1,02	130	134	139	143	148	153	158	163	168	173	178	183	188	193	198	203	208	
1,03	134	139	144	149	154	158	163	168	173	178	183	188	193	198	203	208	213	
1,04	139	144	149	153	158	163	168	173	178	183	188	193	198	203	208	213	217	
1,05	142	147	152	157	162	168	173	178	183	188	193	198	203	207	211	215	219	
1,06	145	150	155	160	165	171	176	181	186	191	197	202	207	211	215	219	223	
1,07	149	154	160	165	170	176	181	186	191	197	202	207	211	215	219	223	227	
1,08	152	157	162	168	174	179	184	190	195	200	206	211	215	220	224	228	232	
1,09	155	160	165	171	177	182	188	193	199	204	210	215	220	225	229	233	237	
1,10	158	164	169	175	181	186	192	197	203	209	215	220	225	230	235	240	245	
1,11	161	167	172	178	184	190	195	201	206	212	218	224	229	234	239	244	249	
1,12	164	170	176	182	188	194	200	205	211	217	223	229	235	241	246	251	256	
1,13	167	173	179	185	191	197	203	209	215	221	227	233	239	245	251	256	261	
1,14	170	176	182	188	194	200	206	212	218	224	230	236	242	248	254	260	266	
1,15	173	179	185	192	198	204	210	217	223	229	235	241	247	253	259	265	271	
1,16	176	182	188	195	201	208	214	220	226	233	239	245	252	258	264	270	276	

Определение твердости образцов из стали и полимерных материалов

$d_{\text{ср}}$ d_e	I40	I45	I50	I55	I60	I65	I70	I75	I80	I85	I90	I95	200	205	210
I.17	180	187	193	199	206	212	219	225	232	238	245	251	257	264	270
I.18	184	190	197	203	210	217	223	229	236	243	249	256	262	269	275
I.19	187	194	200	207	214	221	227	234	241	247	254	261	267	274	281
I.20	191	197	204	211	218	225	231	238	245	252	259	265	272	279	286
I.21	194	201	208	215	222	229	236	242	250	256	263	270	277	284	291
I.22	198	205	211	219	226	233	240	247	254	261	268	275	282	289	296
I.23	201	208	215	222	230	237	244	251	258	266	273	280	287	294	302
I.24	204	212	219	226	234	241	248	255	263	270	278	285	292	299	307
I.25	208	215	223	230	238	245	253	260	267	275	282	290	297	305	312
I.26	212	220	227	235	242	250	258	265	273	280	288	295	303	310	318
I.27	216	224	231	239	247	255	263	270	278	286	293	301	309	317	324
I.28	221	229	237	245	252	261	269	276	284	292	300	308	316	324	332
I.29	225	233	241	249	257	266	274	281	290	298	306	314	322	330	338
I.30	229	238	246	254	262	270	279	287	295	303	311	320	328	336	344
I.31	234	242	250	258	267	275	284	292	300	309	317	325	334	342	350
I.32	238	246	254	263	272	280	289	297	306	314	323	331	340	348	357
I.33	243	251	260	268	277	286	295	303	312	321	329	338	347	355	364
I.34	247	256	265	274	283	292	300	309	318	327	336	345	353	362	371
I.35	252	261	269	278	288	297	306	314	324	332	341	350	359	368	378
I.36	256	266	275	284	293	302	311	320	330	339	348	357	366	375	385
I.37	261	270	279	288	298	307	316	326	335	344	354	363	372	382	391
I.38	265	274	283	293	303	312	322	331	340	350	359	369	378	388	397
I.39	270	279	289	298	308	318	327	337	347	356	366	376	385	395	405
I.40	274	284	293	303	313	323	332	342	352	362	372	381	391	401	411
I.41	278	288	298	308	318	328	338	347	357	367	377	387	397	407	417
I.42	282	292	302	312	322	333	343	352	363	373	383	393	403	413	423
I.43	286	296	306	317	327	337	348	358	368	378	389	399	409	419	429
I.44	291	301	312	322	333	343	354	364	374	385	395	405	416	426	437
I.45	296	307	317	328	338	349	359	370	380	391	402	412	423	433	444
I.46	301	312	323	334	345	355	366	377	388	398	409	42	431	442	452
I.47	308	319	329	341	352	363	374	385	396	407	418	429	440	451	462
I.48	313	324	335	347	358	369	380	391	403	414	425	436	446	459	470
I.49	320	332	343	354	366	377	389	400	412	423	434	446	457	469	480
I.50	326	338	349	361	373	385	396	408	420	431	443	455	466	478	490
I.51	333	345	356	368	380	392	404	416	428	440	451	463	476	487	499
I.52	340	352	364	376	388	400	412	424	437	449	461	473	485	497	510
I.53	346	358	370	383	395	408	420	432	445	457	469	482	494	506	
I.54	353	365	378	390	403	416	428	441	453	466	479	491	504		
I.55	359	372	384	397	410	423	436	449	462	474	486	500			
I.56	366	379	392	405	418	431	444	457	471	483	496				
I.57	374	387	400	413	427	440	454	467	480	493					
I.58	380	394	407	421	435	449	462	475	489						
I.59	387	401	415	429	443	457	470	484							
I.60	395	409	423	437	451	466	480								
I.61	403	417	431	446	460	475									
I.62	410	425	439	454	469										
I.63	418	433	447	462											
I.64	426	441	456												

Измерение твердости по Роквеллу (рис. 7) проводится в следующем порядке. Взяв за обойму 9 и корпус 8 левой рукой, взвести за пальцы 7 ударник 6, который сразу зафиксируется спусковым механизмом. Прибор установить на испытуемый объект без толчков и ударов. Опорная поверхность прибора должна

плотно соприкасаться с объектом измерения.

Циферблат индикатора устанавливают таким образом, чтобы стрелка показывала нуль, затем нажимаем на кнопку 14 спускового механизма освобождается ударник 6, который с силой перемещается вниз, и ударяя по заплечуку штока 2, внедряет твердосплавный наконечник 20 в поверхность объекта измерения. Перемещение наконечника, а следовательно, и штока при этом автоматически фиксируется стрелкой индикатора (глубина отпечатка h_0). И также проводят сравнительные испытания со стандартным образцом с заданной твердостью HRC_{MT} . Затем используем табличные данные по $\left(\frac{h_0}{h_{MT}}\right)$.

Тогда твердость по Роквеллу испытуемого объекта равна: $HRC_0 = HRC_{MT} \left(\frac{h_0}{h_{MT}}\right)$.

5. Описание испытательного оборудования

Испытания на определение твердости применяют, чтобы оценить способность материалов противодействовать внедрению в образец другого более твердого тела. На рис. 9 показано лабораторное оборудование, используемое для определения твердости.

Этот способ определению твердости относится к испытанию по Бриннелю: в поверхность материала образца вдавливаются стальной шарик в течение определенного количества времени. Твердость в данном случае определяется по тому, какой диаметр оставил этот шарик на поверхности образца, отпечаток рассматривается под микроскопом:

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

где D – диаметр стального шарика; d – диаметр отпечатка.

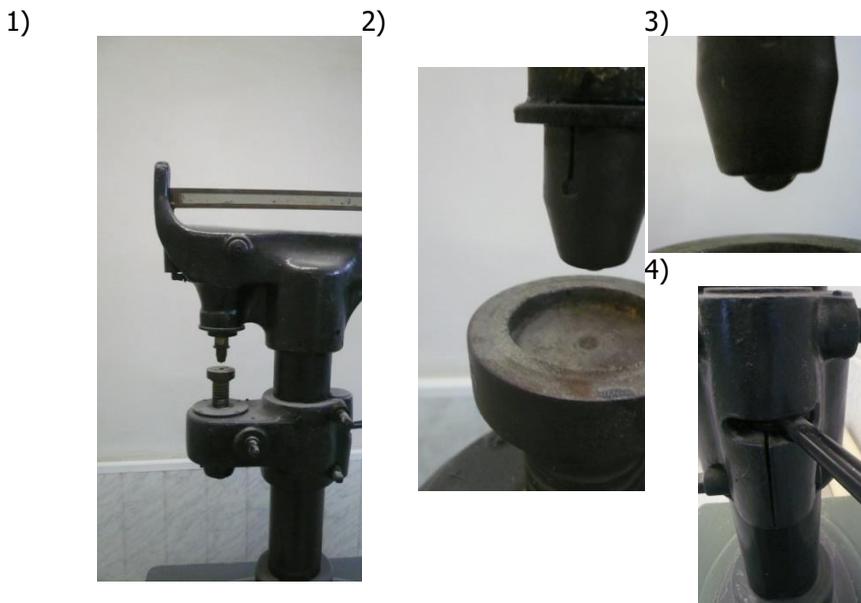


Рис.9. Пресс Бринелля в лаборатории кафедры

На этом рисунке
 1 – твердомер; 2 – рабочий стол; 3 – шарик; 4 – рычаг
 для приложения нагрузки.

На практике встречаются твердомеры с автоматическим проведением испытаний, например, фирмы «INNOVATEST» и с автоматическим переводом в другие шкалы твердости (рис. 10).

1)



2)



3)



4)



5)



Рис.10. Твердомеры с автоматическим проведением испытаний фирмы «INNOVATEST»

На этом рисунке

1 – твердомер VERZUS 710RS/710RSD для определения твердости по Роквеллу и Бринелю; 2 – твердомер NEXUS 3200/3200XLM для определения твердости по Бринелю; 3 – универсальный твердомер VERZUS 7500 CCD; 4 – твердомер FALCON 500 для определения твердости по Виккерсу, Бринелю и Кнупа; 5 – твердомер NEXUS 3001 XLM – IMP для определения твердости по Бринелю.

6. Порядок проведения испытаний «Определение твердости образцов из стали и полимерных материалов»

Исходные данные:

Для образца, который показан на рис.5, опытным путем определяем его размеры с помощью штангенциркуля. Записывается материал образца.

Методика проведения эксперимента:

Методика проведения эксперимента описана в параграфе 2 и 3.

По шкале определяем нагрузку, затраченную на вдавливание индентора в образец.

Определяется диаметра отпечатка.

Определяем величину твердости по шкале Бринелля.

Определяем погрешность для определяемой величины.

Если проводится серия экспериментов, то проводится статистическая обработка результатов.

№ образца	Результаты измерений		
	P_f , кгс	d_f , мм	HB
1			
2			

Средние арифметические значения параметров испытаний: _____

Значение стандартных отклонений S_a , и относительной ошибки

ξ_a : _____

7. Контрольные вопросы

1. Какова цель лабораторной работы?
2. В чём заключается сущность метода определения по Бринеллю?
3. В чём заключается сущность метода определения по Роквеллу?
4. В чём заключается сущность метода определения по Виккерсу?
5. В чём заключается сущность метода определения по Шору?
6. Какие еще методы определения твердости вы знаете?
7. Какие факторы влияют на величину твердости материала?
8. Какова последовательность статистической обработки результатов испытания?
9. Как найти среднее арифметическое результатов измерения?
10. Как найти величину стандартного отклонения результатов измерения?
11. Как определить границы доверительного интервала результатов измерения?
12. Как найти относительную ошибку результатов измерения?
13. В каких единицах измеряется твердость?
14. Какие виды приборов для определения вы знаете?
15. Что определяет толщиномер?

8. Основные правила техники безопасности

1. Нельзя допускать к лабораторной установке лиц, не ознакомившихся с ее устройством.
2. Запрещается устанавливать образец и приводить в действие лабораторную установку без разрешения преподавателя.
3. Лабораторную работу нужно выполнять в соответствии с выше приведенной инструкцией.
4. Во время проведения лабораторной работы запрещается трогать образец руками.
5. Запрещается подходить к лабораторным установкам, не связанным с выполнением данной работы.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

/Образец/

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № _____

**«Определение твердости образца из стали
и полимерных материалов»**

Дата проведения работы _____

Журнал испытаний

1. Наименование машины – Пресс по Бринеллю
2. Характеристика испытываемых образцов:
 - материал испытываемых образцов – сталь;
 - фактические размеры образца:
3. Обработка данных испытаний:

При определении твердости фиксируем нагрузку, и затем определяем диаметр отпечатка d . Твердость по Бринеллю равна:

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

где D – диаметр стального шарика; d – диаметр отпечатка.

4. Определяем погрешность между опытным и теоретическим значениями

$$\varepsilon = \left| \frac{HB^{\text{опыт}} - HB^{\text{теор}}}{HB^{\text{опыт}}} \right| \cdot 100\% =$$

ВЫПОЛНИЛ

Студент группы _____

(Фамилия И.О.)

ПРОВЕРИЛ

Преподаватель _____