

**Твёрдость** — свойство материала сопротивляться внедрению в него другого, более твёрдого тела — индентора (изготовленного из алмаза, твёрдого сплава или закаленной стали наконечника). Иногда инденторами (*indenter*) называют сами приборы для измерения твёрдости. Индентор применяется для статического измерения твёрдости исследуемого материала. При измерении индентор вдавливается в исследуемый материал с некоторой постоянной силой. После снятия нагрузки и удаления индентора измеряются геометрические параметры отпечатка: площадь, глубина, объём и т.п.. На основе измеренных параметров производят количественное соотношение поверхностной или объёмной твёрдости исследуемого материала с избранной шкалой твёрдости.

Твёрдость определяется как отношение величины нагрузки к площади поверхности, площади проекции или объёму отпечатка. Различают *поверхностную, проекционную и объёмную* твёрдость:

- *поверхностная твёрдость* — отношение нагрузки к площади поверхности отпечатка;
- *проекционная твёрдость* — отношение нагрузки к площади проекции отпечатка;
- *объёмная твёрдость* — отношение нагрузки к объёму отпечатка.

Метод определения невосстановленной твёрдости

Твёрдость измеряют в трёх диапазонах: макро, микро, нано. Макродиапазон регламентирует величину нагрузки на индентор от 2 Н до 30 кН. Микродиапазон регламентирует величину нагрузки на индентор до 2 Н и глубину внедрения индентора больше 0,2 мкм. Нанодиапазон регламентирует только глубину внедрения индентора, которая должна быть меньше 0,2 мкм. Часто твердость в нанодиапазоне называют *нанотвердостью (nanohardness)*

Измеряемая твердость, прежде всего, зависит от нагрузки, прикладываемой к индентору. Такая зависимость получила название *размерного эффекта*, в англоязычной литературе — *indentationsizeeffect*. Характер зависимости твердости от нагрузки определяется формой индентора:

- для сферического индентора — с увеличением нагрузки твердость увеличивается — *обратный размерный эффект (reverseindentationsizeeffect)*;
- для индентора в виде пирамиды Виккерса или Берковича — с увеличением нагрузки твердость уменьшается — *прямой или просто размерный эффект(indentationsizeeffect)*;

- для сфероконического индентора (типа конуса для твердомера Роквелла) — с увеличением нагрузки твердость сначала увеличивается, когда внедряется сферическая часть индентора, а затем начинает уменьшаться (для сфероконической части индентора).

## Методы измерения твёрдости

Методы определения твёрдости по способу приложения нагрузки делятся на: 1) *статические* и 2) *динамические* (ударные).

Для измерения твёрдости существует несколько шкал (методов измерения):

- Метод Бринелля — твёрдость определяется по диаметру отпечатка, оставляемому металлическим шариком, вдавливаемым в поверхность. Твёрдость вычисляется как отношение усилия, приложенного к шариком, к площади отпечатка (причём площадь отпечатка берётся как площадь части сферы, а не как площадь круга (твердость по Мейеру)); размерность единиц твердости по Бринеллю МПа (кг-с/мм<sup>2</sup>). Число твердости по Бринеллю по ГОСТ 9012-59 записывают без единиц измерения. Твёрдость, определённая по этому методу, обозначается НВ, где Н= hardness(твёрдость, *англ.*), В — Бринелль.;
- Метод Роквелла — твёрдость определяется по относительной глубине вдавливания металлического шарика или алмазного конуса в поверхность тестируемого материала. Твёрдость, определённая по этому методу, является безразмерной и обозначается HR, HRB, HRCи HRA; твёрдость вычисляется по формуле  $HR = 100 (130) - kd$ , где  $d$  — глубина вдавливания наконечника после снятия основной нагрузки, а  $k$  — коэффициент. Таким образом, максимальная твёрдость по Роквеллу по шкалам Аи Ссоставляет 100 единиц, а по шкале В- 130 единиц.
- Метод Виккерса — твёрдость определяется по площади отпечатка, оставляемого четырёхгранной алмазной пирамидкой, вдавливаемой в поверхность. Твёрдость вычисляется как отношение нагрузки, приложенной к пирамидке, к площади отпечатка (причём площадь отпечатка берётся как площадь части поверхности пирамиды, а не как площадь ромба); размерность единиц твёрдости по Виккерсу кг-с/мм<sup>2</sup>. Твёрдость, определённая по этому методу, обозначается HV;
- Методы Шора:
  1. Твёрдость по Шору (Метод вдавливания) — твёрдость определяется по глубине проникновения в материал специальной закаленной стальной иглы (индентора) под действием калиброванной пружины. В данном методе измерительный прибор именуется дюрометром. Обычно метод Шора используется для определения твердости низкомодульных материалов (полимеров). Метод Шора, описанный стандартом ASTM D2240, оговаривает 12 шкал измерения. Чаще всего используются варианты А(для мягких материалов) или D(для более твердых). Твёрдость, определённая по этому методу, обозначается буквой используемой шкалы, записываемой после числа с явным указанием метода.

2. Дюрометры и шкалы Аскер — по принципу измерения соответствует методу вдавливания (по Шору). Фирменная и нац. японская модификация метода. Используется для мягких и эластичных материалов. Отличается от классического метода Шора некоторыми параметрами измерительного прибора, фирменными наименованиями шкал и инденторами.
3. Твёрдость по Шору (Метод отскока) — метод определения твёрдости очень твёрдых (высокомодульных) материалов, преимущественно металлов, по высоте, на которую после удара отскакивает специальный боёк (основная часть *склероскопа* — измерительного прибора для данного метода), падающий с определённой высоты. Твёрдость по этому методу Шора оценивается в условных единицах, пропорциональных высоте отскакивания бойка. Основные шкалы Си D. Обозначается  $HSx$ , где  $H$  — *Hardness*,  $S$  — *Shore* и  $x$  — латинская буква, обозначающая тип использованной при измерении шкалы.

*Следует понимать, что хотя оба этих метода являются методами измерения твёрдости, предложены одним и тем же автором, имеют совпадающие названия и совпадающие обозначения шкал это — не версии одного метода, а два принципиально разных метода с разными значениями шкал, описываемых разными стандартами.*

- Метод Кузнецова — Герберта — Ребиндера — твёрдость определяется временем затухания колебаний маятника, опорой которого является исследуемый металл;
- Метод Польди (двойного отпечатка шарика) — твёрдость оценивается в сравнении с твёрдостью эталона, испытание производится путем ударного вдавливания стального шарика одновременно в образец и эталон (см. иллюстрацию);
- Шкала Мооса — определяется по тому, какой из десяти стандартных минералов царапает тестируемый материал, и какой материал из десяти стандартных минералов царапается тестируемым материалом.
- Метод Бухгольца — метод определения твёрдости при помощи прибора «Бухгольца». Предназначен для испытания на твёрдость (твёрдость по Бухгольцу) полимерных лакокрасочных покрытий при вдавливании индентора «Бухгольца». Метод регламентируют стандарты ISO 2815, DIN 53153, ГОСТ 22233.

Методы измерения твёрдости делятся на две основные категории: статические методы определения твёрдости и динамические методы определения твёрдости.

Для инструментального определения твёрдости используются приборы, именуемые твердомерами. Методы определения твёрдости, в зависимости от степени воздействия на объект, могут относиться как к неразрушающим, так и к разрушающим методам.

Существующие методы определения твёрдости не отражают целиком какого-нибудь одного определённого фундаментального свойства материалов, поэтому не существует прямой взаимосвязи между разными шкалами и методами, но существуют приближенные таблицы, связывающие шкалы отдельных методов

для определённых групп и категорий материалов. Данные таблицы построены только по результатам экспериментальных тестов и не существует теорий, позволяющих расчетным методом перейти от одного способа определения твердости к другому.

Конкретный способ определения твёрдости выбирается исходя из свойств материала, задач измерения, условий его проведения, имеющейся аппаратуры и др.

В СНГ стандартизированы не все шкалы твёрдости.

### Нормативные документы

- ГОСТ 8.062—85 «Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный специальный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений твердости по шкалам Бринелля»
- ГЭТ 33—85 «Государственный специальный эталон единиц твердости по шкалам Бринелля»
- ГОСТ 24621-91 (ISO868-85) «Определение твёрдости при вдавливании с помощью дюрометра (твёрдость по Шору)».
- ГОСТ 263-75 «Резина. Метод определения твёрдости по Шору А».
- ГОСТ 23273-78 «Металлы и сплавы. Измерение твердости методом упругого отскока бойка (по Шору)».
- ISO 2815 «Paints and varnishes — Buchholz indentation test».
- DIN 53153 «Buchholz hardness».
- ISO 14577 Metallic Materials. Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. Part 1: Test method.

### Ориентировочные сравнительные значения чисел твердости

Основными ГОСТами на способы нормирования (измерения) твердости стали являются : ГОСТ 9012-59 (твёрдость по Бринеллю), ГОСТ 2999-75 (твёрдость по Виккерсу), ГОСТ 9013-59 (твёрдость по Роквеллу), ГОСТ 2373-78 (твёрдость по Шору), ГОСТ 9450-76, ГОСТ 18835-73, ГОСТ 22761-77, ГОСТ 22762-77, ГОСТ 22975-78.

### Твёрдость по Бринелю Твёрдость по Виккерсу Твёрдость по Роквеллу Твёрдость по Шору

HB	HV	HRC	HRB	HRA	HSh
-	1076	70	-	86.5	102
-	1004	69	-	86.0	-
-	942	68	-	85.5	98
-	894	67	-	85.0	-

-	854	66	-	84.5	94
-	820	65	-	84.0	-
-	789	64	-	83.5	91
-	763	63	-	83.0	-
-	739	62	-	82.5	87
-	715	61	-	81.5	-
-	695	60	-	81.0	84
-	675	59	-	80.5	-
-	655	58	-	80.0	81
-	636	57	-	79.5	-
-	617	56	-	79	78
-	598	55	-	78.5	-
-	580	54	-	78.0	76
-	562	53	-	77.5	-
-	545	52	-	77.0	73
-	528	51	-	76.5	-
-	513	50	-	76.0	71
-	498	49	-	75.5	68
-	485	48	-	74.5	66
-	471	47	-	74.0	-
444	-	-	-	-	64
437	458	46	-	73.5	-
429	-	-	-	-	62
426	446	45	-	73.0	-
415	435	44	-	-	61
401	-	-	-	71.5	59
393	413	42	-	-	-

388	-	-	-	-	57
375	393	40	-	-	-
372	-	-	-	-	54
352	373	38	-	-	53
341	-	-	-	-	51
332	353	36	-	-	50
321	-	-	-	-	49
312	334	34	-	-	47
302	-	-	-	-	46
297	317	32	-	-	-
293	-	-	-	-	45
290	-	-	-	-	-
283	301	30	-	-	44
277	-	-	-	-	43
270	285	28	-	-	42
260	271	26	-	-	41
255	-	-	-	-	40
250	257	24	-	-	-
248	-	-	-	-	39
241	-	-	-	-	38
240	446	22	100	-	-
235	-	-	-	-	37
234	-	-	99	-	-
230	236	-	-	-	-
229	-	-	-	-	36

Твердость по Бринелю	Твердость по Виккерсу	Твердость по Роквеллу			Твердость по Шору
		HRC	HRB	HRA	
HB	HV				HSh
228	-	-	98	-	-
223	-	-	-	-	35
222	-	-	97	-	-
217	-	-	-	-	34
216	-	-	96	-	-
212	-	-	-	-	34
210	-	-	95	-	-
207	-	-	-	-	33
205	-	-	94	-	-
201	-	-	-	-	32
200	-	-	93	-	-
197	-	-	-	-	31
195	-	-	92	-	-
192	-	-	-	-	30
190	-	-	91	-	-
187	-	-	-	-	30
185	-	-	90	-	29
180	-	-	89	-	-
179	-	-	-	-	29
176	-	-	88	-	-
174	-	-	-	-	28
172	-	-	87	-	-
170	-	-	-	-	28
167	-	-	85	-	27

165	-	-	85	-	27
163	-	-	-	-	-
162	-	-	84	-	-
159	-	-	83	-	26
156	-	-	82	-	26
153	-	-	81	-	-
152	-	-	-	-	25
150	-	-	80	-	-
149	-	-	-	-	24
147	-	-	79	-	24
144	-	-	78	-	-
143	-	-	-	-	24
141	-	-	-	-	-
140	-	-	77	-	23
139	-	-	76	-	-
137	-	-	75	-	23
135	-	-	74	-	23
131	-	-	-	-	22
130	-	-	72	-	-
128	-	-	-	-	22
126	-	-	-	-	22
125	-	-	70	-	-
123	-	-	-	-	21
121	-	-	-	-	21
118	-	-	-	-	21
117	-	-	66	-	-
116	-	-	-	-	20



114	-	-	64	-	20
					20
111	-	-	-	-	20
110	-	-	62	-	20
109	-	-	-	-	19
107	-	-	60	-	

Цены на нержавеющую сталь Вы можете узнать в [отделе продаж BalticInox](#).



ООО «БАЛТИКИНОКС»  
 220024, г. Минск,  
 Ул.Бабушкина, 17А  
[info@balticinox.by](mailto:info@balticinox.by)  
<https://balticinox.by/>

+375-17-311-00-40  
 +375-17-311-00-41  
 +375-17-311-00-42  
 с мобильных номеров  
 на короткий 7140