КОНСТАНТА

ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

constanta.ru
официальный сайт

school.constanta.ru
учебный центр

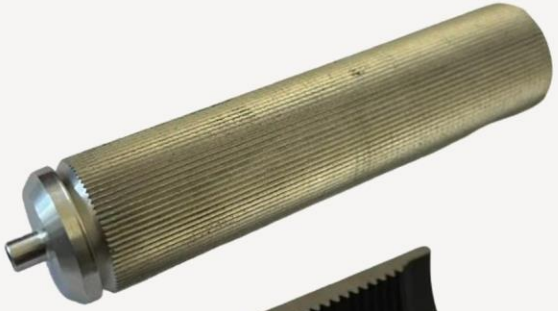
Особенности применения портативных средств определения твёрдости

Твердость — это способность материала сопротивляться внедрению в него более твёрдого тела.

Твердость измеряют для:

- контроля качества;
- оценки износостойкости;
- проверки соответствия стандартам;
- выбора режима обработки.











Физические основы получения информации средств определения твёрдости

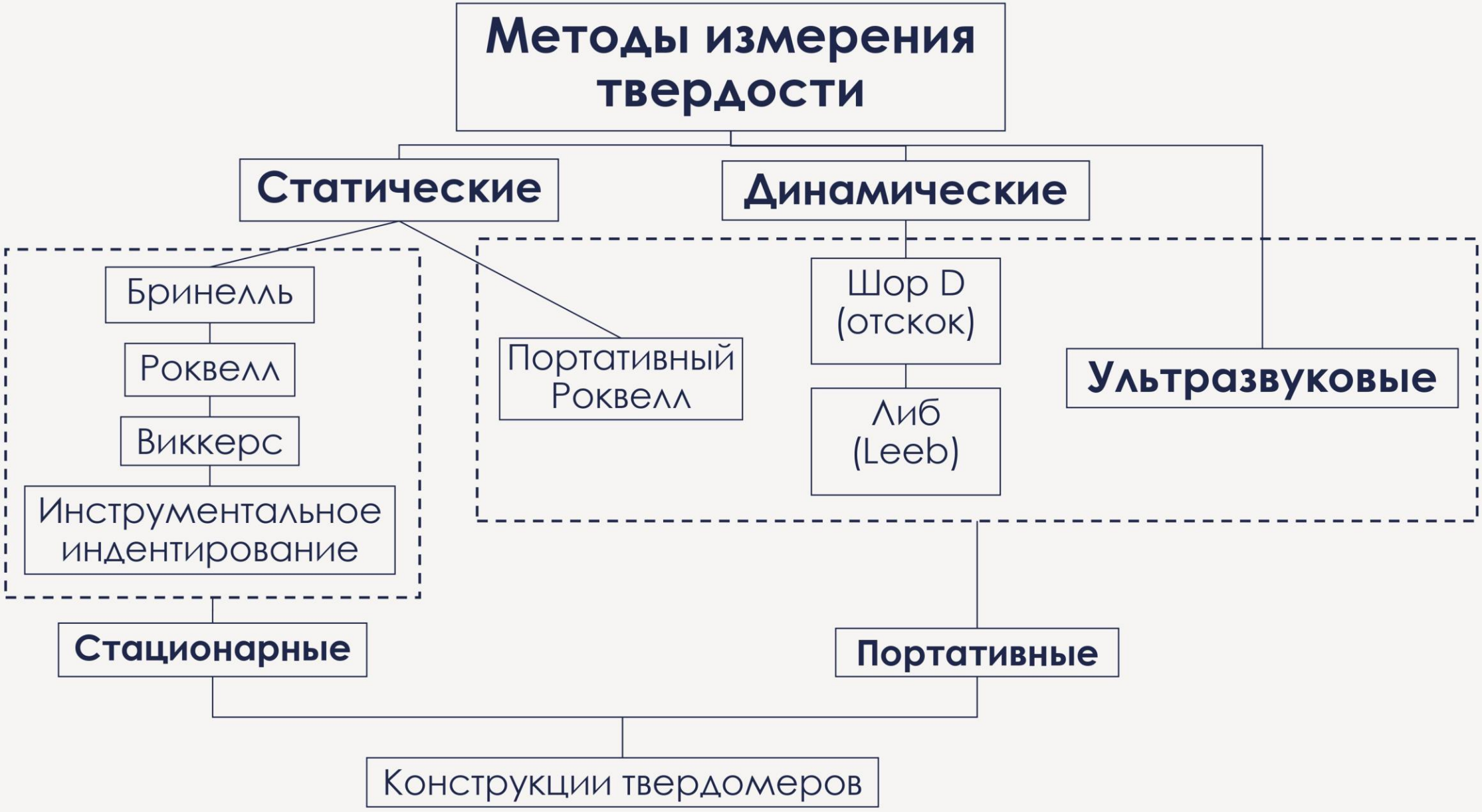
В основе всех методов измерения твердости лежит взаимодействие индентора твердомера с поверхностью объекта испытания. Информация определяется по двум основным параметрам:

1. Изменение объекта контроля после испытания или во время.

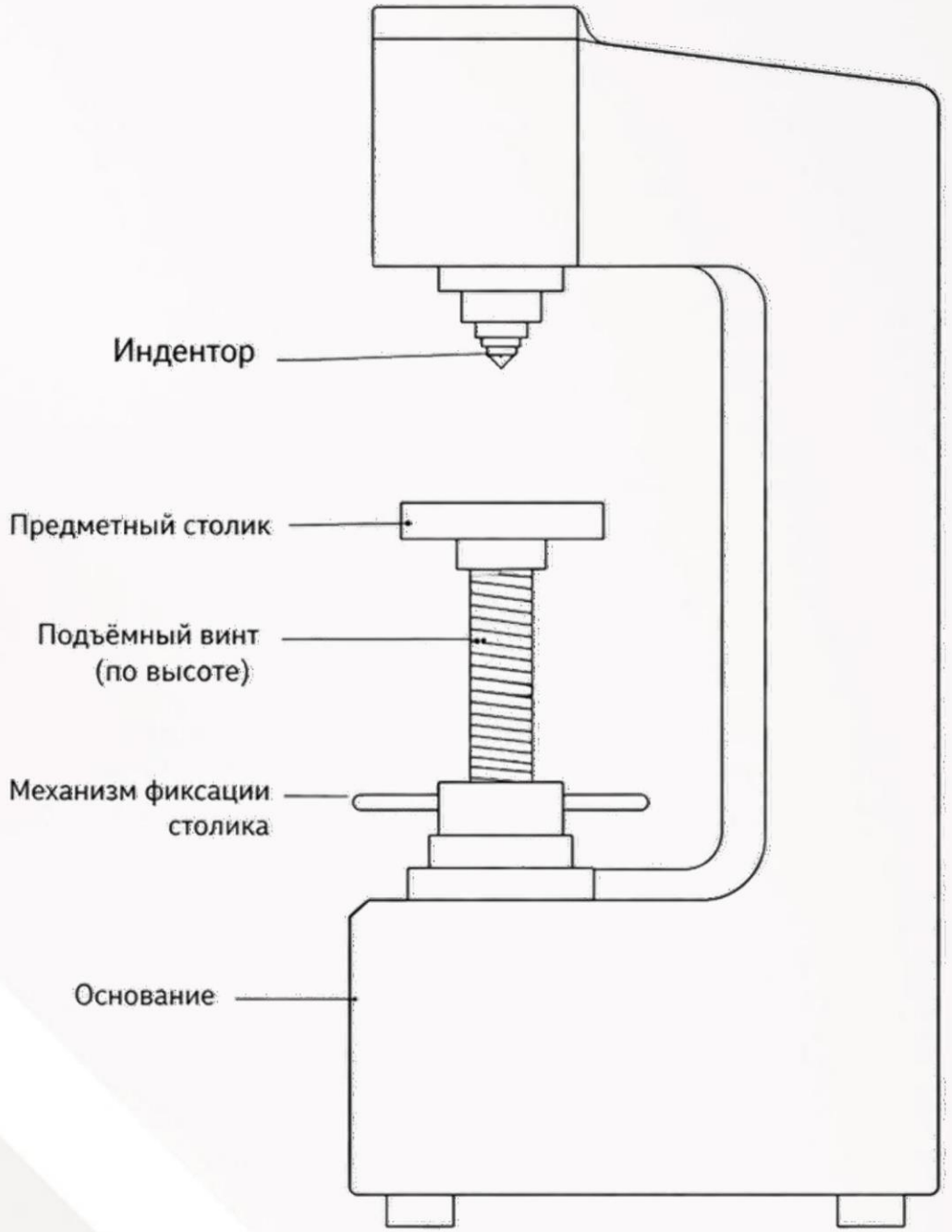
Появление отпечатка от индентора, измерение геометрии отпечатка.

2. Изменение какого-либо параметра индентора/ударника после испытания или во время испытания.

Измерение скорости или высоты отскока ударника или сдвига резонансной частоты стержня с индентором при его контакте с поверхностью.


Методы измерения твердости
Статические
Динамические
Бринелль
Роквелл
Виккерс
Инструментальное индентирование
Портативный Роквелл
Шор D (отскок)
Либ (Leeb)
Ультразвуковые
Стационарные
Портативные
Конструкции твердомеров

Стационарные конструкции твердомеров



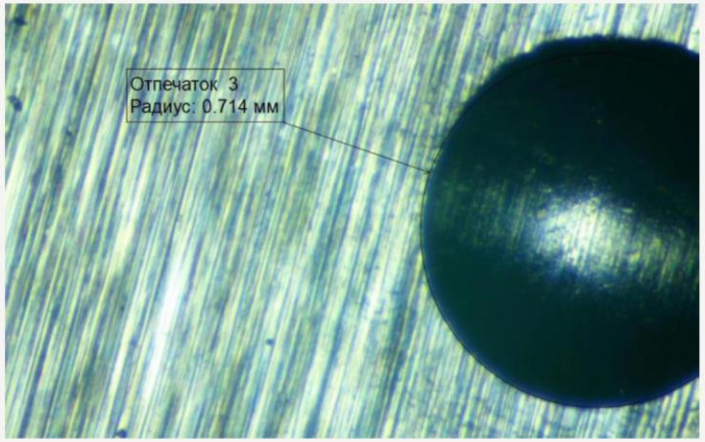
Метод Бринелля

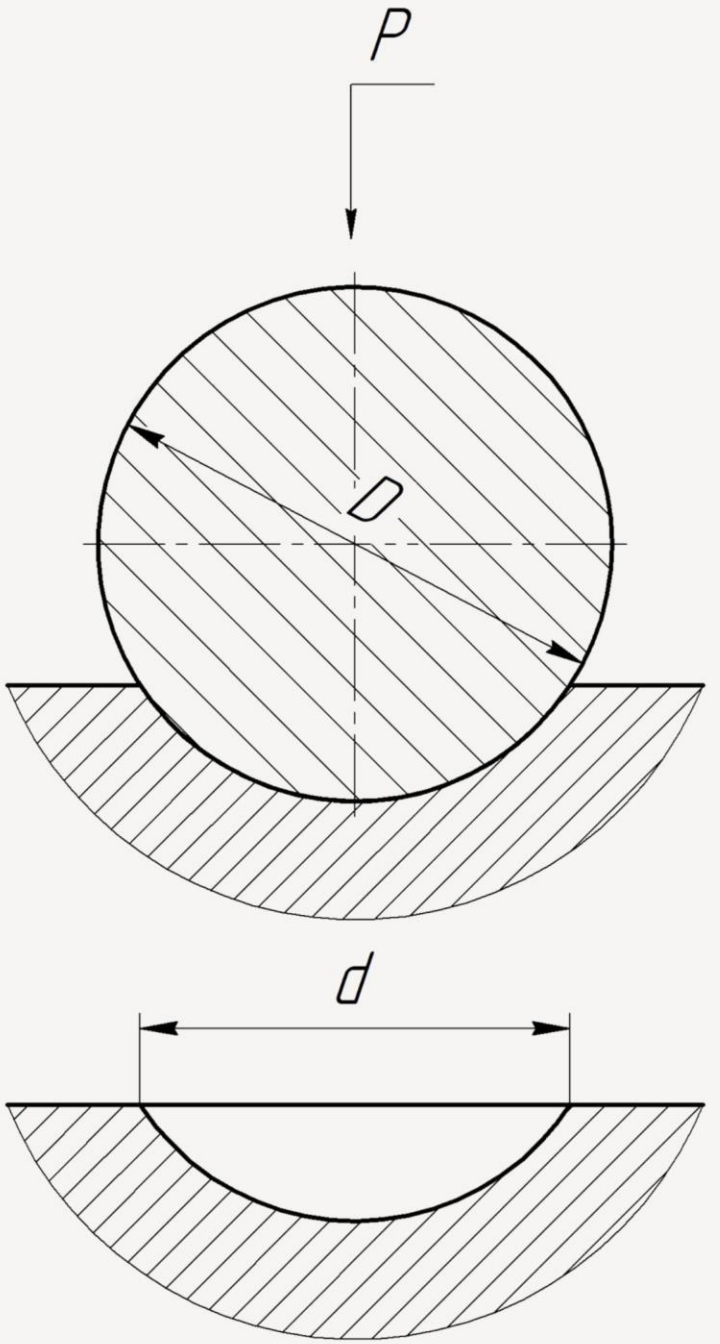
Сущность метода заключается во вдавливании шарика (стального или из твердого сплава) в образец (изделие) под действием усилия, приложенного перпендикулярно к поверхности образца, в течение определенного времени, и измерении диаметра отпечатка после снятия усилия.

Требования к образцу:

1. Толщина образца должна не менее чем в 8 раз превышать глубину отпечатка.
2. Поверхность должна быть плоской и гладкой. Шероховатость поверхности образца Ra ≤ 2,5 мкм.

Регламентируется **ГОСТ 9012, ISO 6506, ГОСТ Р 8.1038, ASTM E10**.





Метод Бринелля

Твердость шарика для HB:
850 HV10

Твердость шарика для HBW:
1500 HV10

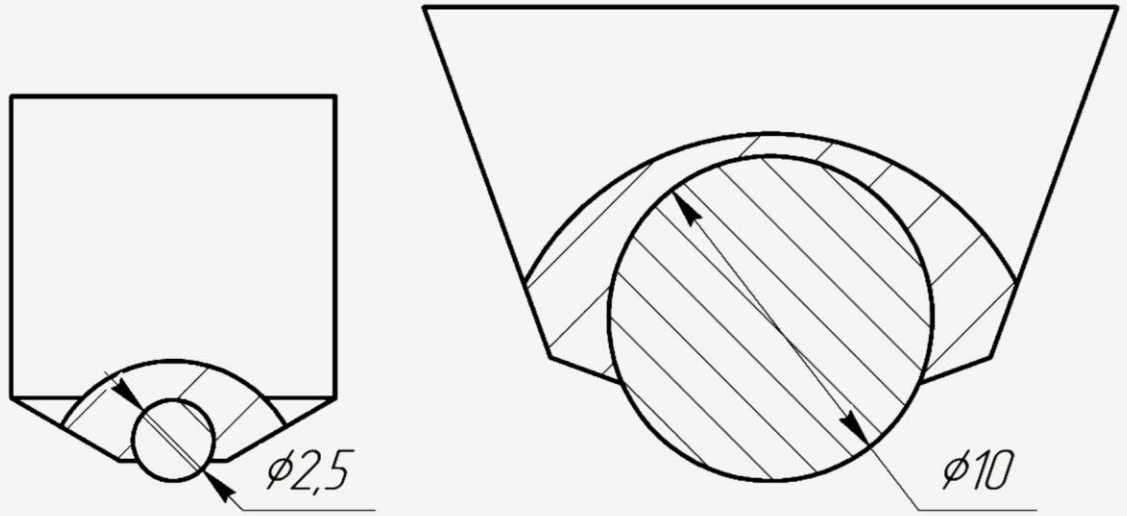
Шкала измерений

Твердость обозначается как HB (Hardness Brinell) при применении стального шарика в качестве индентора или HBW при применении в качестве индентора шарика из твёрдого сплава.

Шкала HB охватывает значения от единиц до 450.

Шкала HBW охватывает значения от единиц до 650.

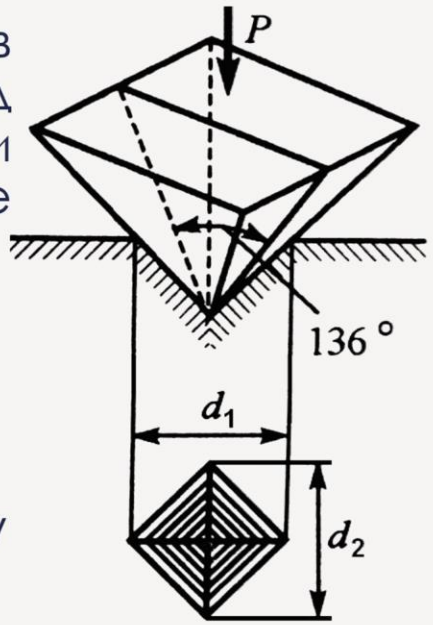
Стандартизированные размеры шариков для обоих случаев:
10,0; 5,0; 2,5; 2,0; 1,0.



Инденторы, метод Бринелля

Метод Виккерса

Сущность метода заключается во вдавливании алмазного наконечника в форме правильной четырехгранной пирамиды в образец (изделие) под действием нагрузки приложенной в течение определенного времени, и измерении диагоналей отпечатка оставшихся на поверхности образца после снятия нагрузки.



Шкала измерений
Твердость обозначается как HV (Hardness Vickers).

Микротвердость (HV0,01 до HV0,2): 1 - 3065 HV

Твердость по шкале Виккерса с малой нагрузкой (HV0,2 до HV5): 5 - 3000 HV

Твердость по шкале Виккерса (HV5 и выше): 5 - 3000 HV

Требования к образцу:

1. Толщина образца должна быть для стальных изделий больше диагонали отпечатка в 1,2 раза; для изделий из цветных металлов — в 1,5 раза.
2. При измерении на криволинейных поверхностях радиус кривизны должен быть не менее 5 мм. Иначе применяются поправочные коэффициенты, указанные в регламентируемом стандарте.
3. Измерения должны проводиться на плоской, гладкой, свободной от посторонних веществ и включений поверхности. Поверхность должна обеспечивать точное измерение длины диагоналей отпечатков.

Регламентируется **ГОСТ 2999, ГОСТ Р ИСО 6507, ISO 6507, ASTM E92/E384.**

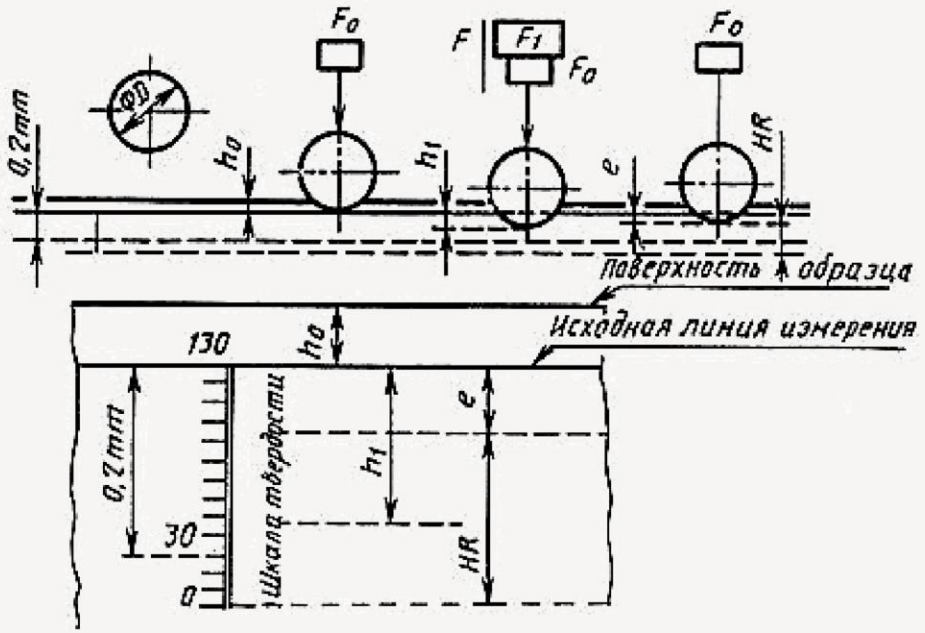
Метод Роквелла

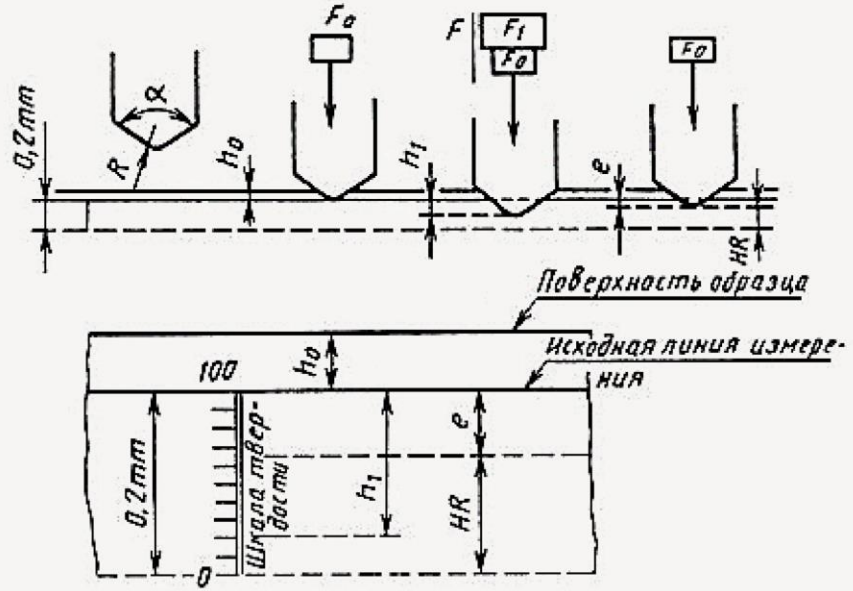
Сущность метода заключается во внедрении в поверхность образца (или изделия) алмазного конусного или стального сферического наконечника под действием последовательно прилагаемых усилий предварительного и основного усилий и в определении глубины внедрения наконечника после снятия основного усилия.

Требования к образцу:

1. Толщина образца (или изделия) должна не менее чем в 10 раз превышать глубину отпечатка индентора после снятия основного усилия.
2. Поверхность должна быть плоской и гладкой. Шероховатость поверхности образца Ra ≤ 2,5 мкм.

Регламентируется **ГОСТ 9013**, **ISO 6508, ASTM E18**



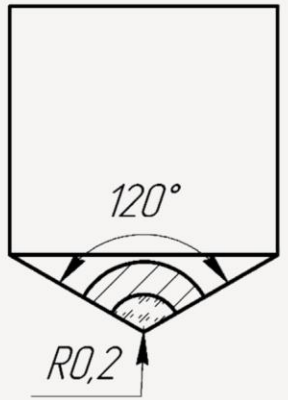


Метод Роквелла, диапазон измерений

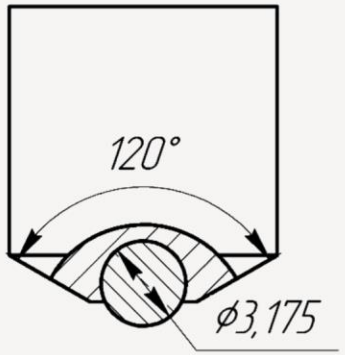
Шкала измерений

Твердость обозначается как HR (Hardness Rockwell) и обозначения шкалы A, C и D при применении алмазного конуса или шкалы B, E, F, G, H и K при применении стального сферического наконечника.

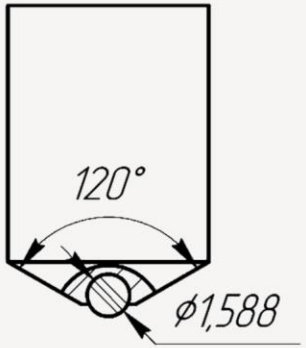
Обозначение шкалы твердости	Диапазон измерений, ед. твердости
HRA	20-88
HRB	20-100
HRC	20-70
HRD	40-77
HRE	70-100
HRF	60-100
HRG	30-94
HRH	80-100
HRK	40-100



Индентор алмазный,
шкалы A, C и D



Индентор шариковый стальной,
шкалы E, H и K



Индентор шариковый стальной,
шкалы B, F и G



Портативные конструкции твердомеров

Твердомер КОНСТАНТА КТ

Малогабаритный прибор с набором сменных преобразователей, предназначенных для измерения твердости и временного сопротивления σ широкого спектра сталей (углеродистых, низколегированных, высоколегированных, нержавеющих), чугунов и цветных металлов.



Таблица диапазонов измерений:

Шкала твердости	Тип преобразователя					
	D, DC	DL	G	C	U-10N U-50N U-100N	SPR
HB	75-450	80-450	90-450	80-450	75-450	75-450
HV	240-940	240-940	-	240-940	240-940	240-940
HRC	20-67	20-67	-	20-67	20-67	20-67

Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений твердости

Шкала твердости	Диапазон измерений твердости, единицы измерений	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений твердости при температуре эксплуатации (20±5) °С, единицы измерений	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений твердости при температуре эксплуатации (0...15 и 25…40) °С, единицы измерений
HB	(75-150) HB (150-300) HB (300-450) HB	±10 HB ±15 HB ±20 HB	±15 HB ±22 HB ±30 HB
HV	(240-500) HV (500-800) HV (800-940) HV	±15 HV ±20 HV ±25 HV	±22 HV ±30 HV ±37 HV
HRC	(20-67) HRC	±2 HRC	±3 HRC

Метод Либа



Метод Либа

Сущность метода заключается в определении отношения скоростей ударника, оснащённым твердосплавным шариком, при отскоке от поверхности измеряемого материала к скорости бойка при соударении с поверхностью материала.

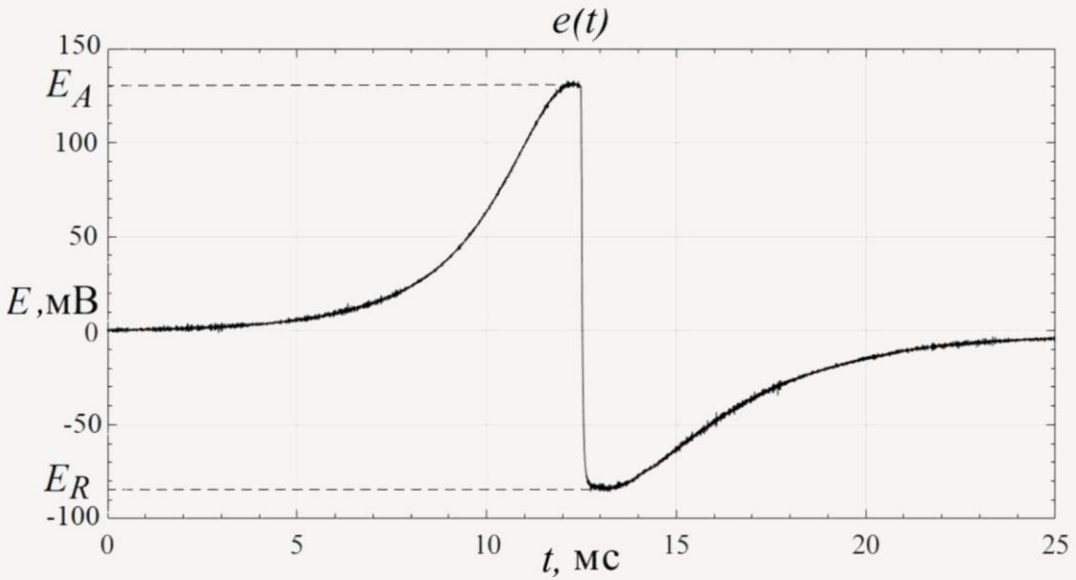


Диаграмма ЭДС, наведенная на катушке индуктивности при измерении

$$HL = \frac{V_R}{V_A} \cdot 1000 = \frac{E_R}{E_A} \cdot 1000$$

где V_R - скорость отскока; V_A - скорость падения; E_R - амплитуда ЭДС, пропорциональная V_R ; E_A - амплитуда ЭДС, пропорциональная V_A.

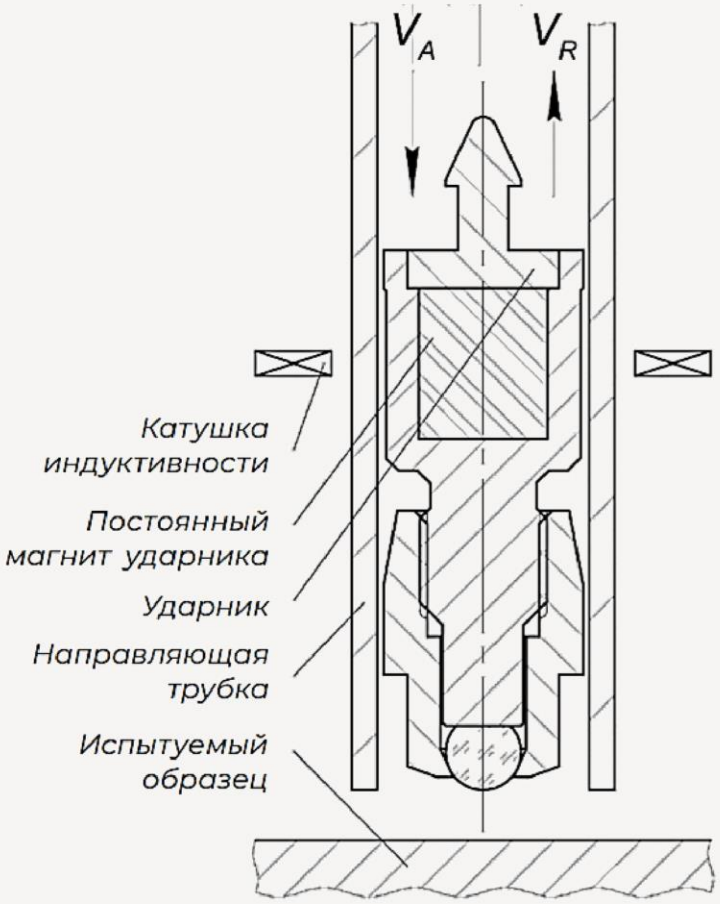


Схема измерения, метод Leeb

Метод Либа

Шкала измерений

Твердость обозначается как HL (Hardness Leeb). Дополнительно обозначается тип используемого преобразователя (D, D+15, S, E, C, DL, G).

Обозначение шкалы твердости	Диапазон измерений, ед. твердости
HLD	300-890
HLS	400-920
HLE	300-920
HLDL	560-950
HLD+15	330-890
HLC	350-960
HLG	300-750

Общие требования к образцу:

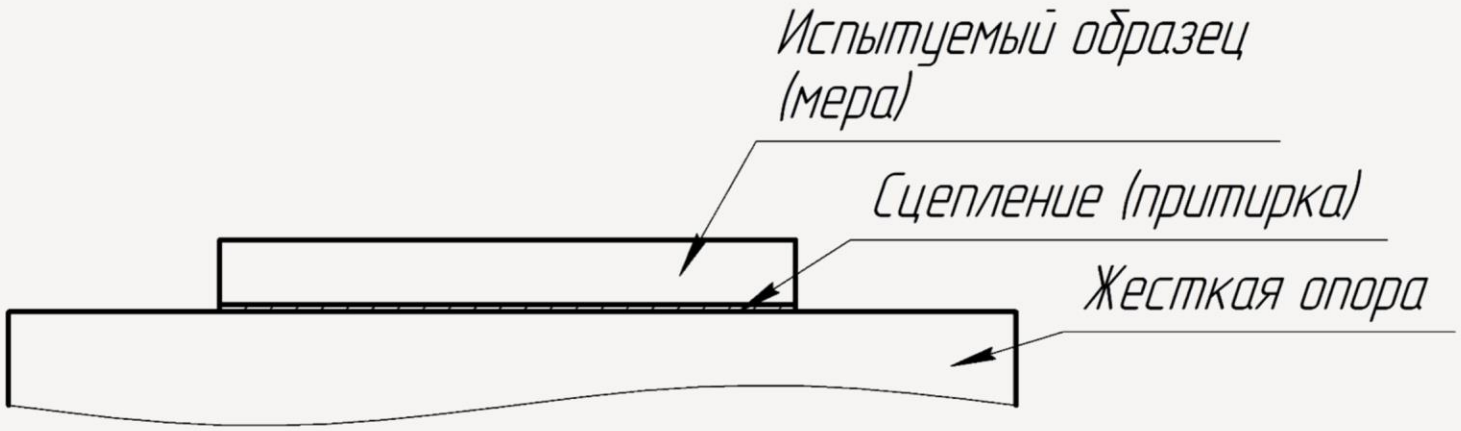
Радиус кривизны в области проведения измерений должен быть не менее **50 мм** для преобразователя типа G или **30 мм** для иных преобразователей. В остальных случаях применяют специальные опорные кольца, соответствующие имеющейся кривизне.

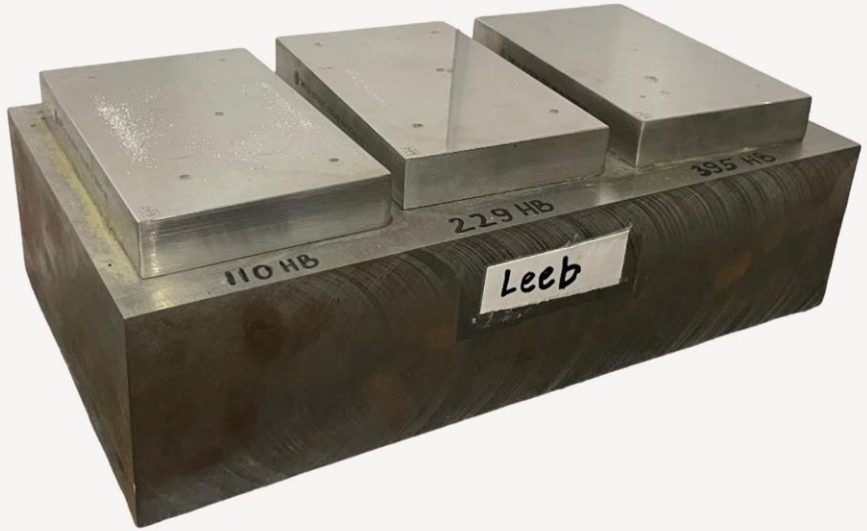
Толщину, массу и шероховатость образца применяют в соответствии используемому типу преобразователя.

Регламентируется **ГОСТ Р 8,969, ISO 16859, ASTM A956, DIN 50156**

Требования к образцу

Тип преобразователя	Минимальная масса (без сцепления с жесткой опорой), кг	Минимальная масса (со сцеплением с жесткой опорой), кг	Минимальная толщина (без сцепления), мм	Минимальная толщина (со сцеплением), мм	Максимальная шероховатость поверхности, Ra, мкм
D, DL, D+15, S, E	5,0	2,0	25	3	2,0
G	15,0	5,0	70	10	7,0
C	1,5	0,5	10	1	0,4





Измерение при разных углах наклона

Стандартное измерений твердости проводится по направлению силы тяжести (т.е. в вертикальном положении преобразователя).

При проведении измерений при отличных значениях угла, необходимо применять поправочные коэффициенты, указанные в стандартах.



Пример таблицы с поправочными коэффициентами из ГОСТ Р 8,969:

Измеренное значение твердости, HLD Ra, мкм	**Поправка HLD**			
	Угол между направлением удара и силой тяжести 45°	Угол между направлением удара и силой тяжести 90°	Угол между направлением удара и силой тяжести 135°	Угол между направлением удара и силой тяжести 180°
700 ≤ HLD < 750	-3	-7	-12	-17

Пример расчета для преобразователя Либа тип **D**.

1. Удар под углом 135° относительно направления силы тяжести.
2. Полученное значение: 725 HLD.
3. Поправочное значение: -12 HLD.
4. Твердость образца: 725 - 12 = 713 HLD.

В твердомере КОНСТНАТА КТ поправка осуществляется автоматически.

Преобразователи по методу Либа

Тип	Внешний вид	Описание
D		Универсальный, для решения большинства промышленных задач измерения твердости. Подробнее
DL		Для измерений в труднодоступных местах, в стесненном пространстве и при контроле внутренних поверхностей. Подробнее
DC		Для измерений в труднодоступных зонах, в стесненном пространстве и при контроле внутренних поверхностей. Подробнее
C		Для контроля тонкостенных и чувствительных к ударам деталей Подробнее
G		Для контроля массивных деталей с повышенной шероховатостью, материалов с крупнозернистой структурой. Подробнее

Сменные опорные кольца и насадки для установки на поверхности различной кривизны

Обозначение	Внешний вид	Вид поверхности
Z10-15 Z14,5-30 Z25-50		Выпуклые цилиндрические поверхности с радиусами 10-50 мм
HZ11-13 HZ12,5-17 HZ16,5-30		Вогнутые цилиндрические поверхности с радиусами 11-30 мм
K10-15 K14,5-30		Выпуклые сферические поверхности с радиусами 10-30 мм
HK11-13 HK12,5-17 HK16,5-30		Вогнутые сферические поверхности с радиусами 12,5-30 мм
UN		Выпуклые поверхности радиусом от 10 мм



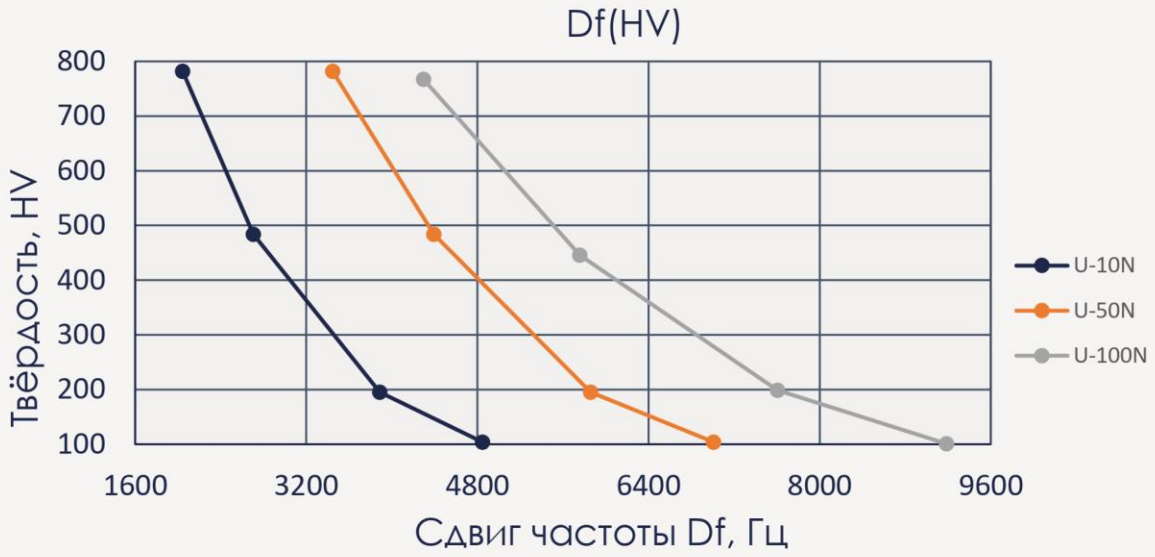
Применение насадок на криволинейной поверхности

Метод UCI (Ultrasonic Contact Impedance)



Метод UCI (Ultrasonic Contact Impedance)

Сущность метода заключается в эффекте изменения собственной частоты колебательной системы, состоящей из упругого элемента (стержня), включенного в автогенераторную схему, при увеличении жесткости системы в результате внедрения индентора в поверхность испытуемого образца.



Градуировочные характеристики UCI

$$HV_{UCI} \sim P\left(\frac{E^*}{\Delta f}\right)^2$$

где E^*- приведенный модуль упругости;
P- значение нагрузки;
Δf- разность частоты колебаний стержня.

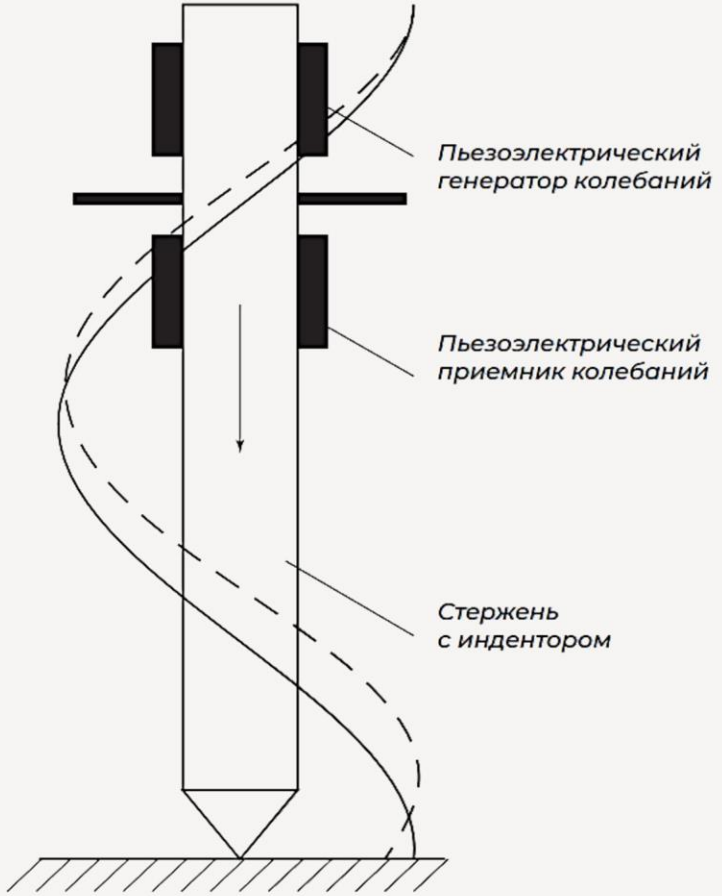
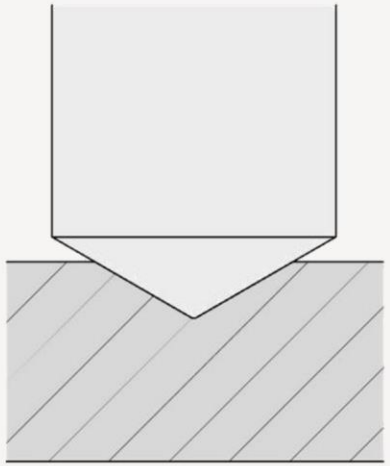


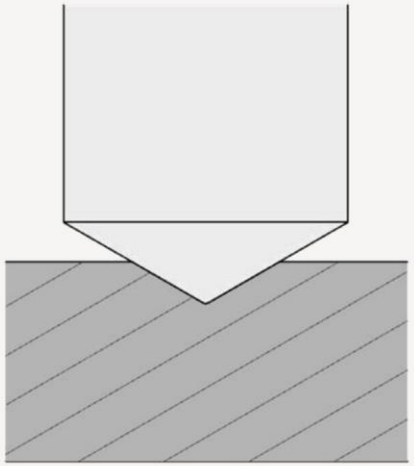
Схема измерения, метод UCI

Глубина отпечатка при разных значениях твердости

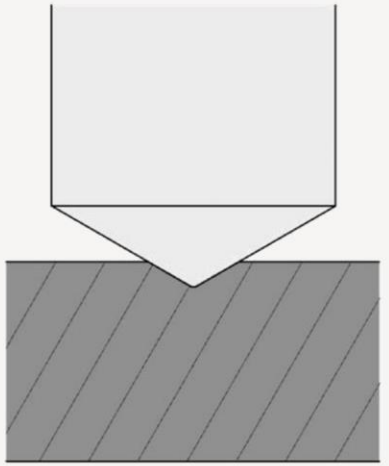
Значение твердости	Глубина отпечатка, мм	Диагональ отпечатка, мм
120 HV	0,098	0,344
195 HV	0,042	0,294
439 HV	0,024	0,165
772 HV	0,015	0,107



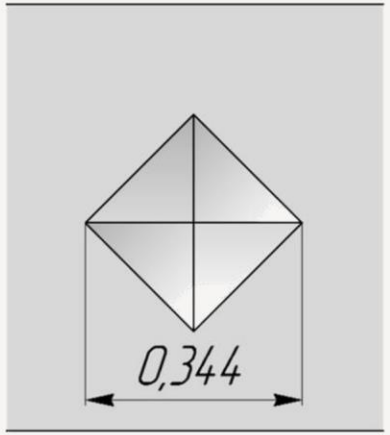
102 HV

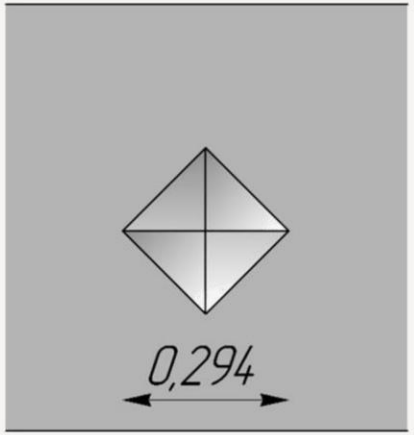


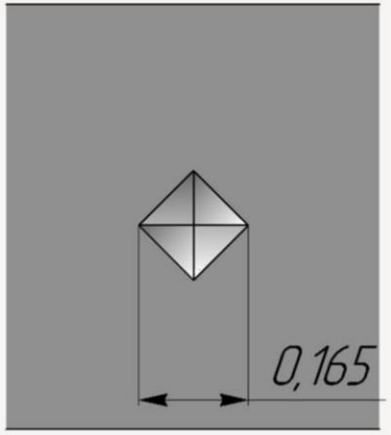
195 HV



439 HV







Метод UCI (Ultrasonic Contact Impedance)

Шкала измерений

Твердость обозначается как HV (Hardness Vickers).
Диапазон измерений не указан в стандартах.

Требования к образцу:

Значение нагрузки, Н	**98**	**50**	**10**	**3**
Ra, мкм	≤15 (ASTM A1038) ≤10 (DIN 50159)	≤10 (ASTM A1038) ≤8 (DIN 50159)	≤5	≤2,5 (ASTM A1038)

1.Шероховатость поверхности не должна превышать 30% от глубины проникновения.

2. Тонкие покрытия или поверхностные слои должны иметь минимальную толщину, не менее чем в 10 раз превышающую глубину вдавливания используемого индентора.

3. Рекомендуемая минимальная толщина стенки без сцепления 5 мм, при этом масса должна быть минимальной или больше (DIN 50159) или 15 мм (ASTM A1038).

4. Рекомендуемая минимальная толщина стенки со сцеплением с жесткой опорой от 2-3 мм (ASTM A1038).

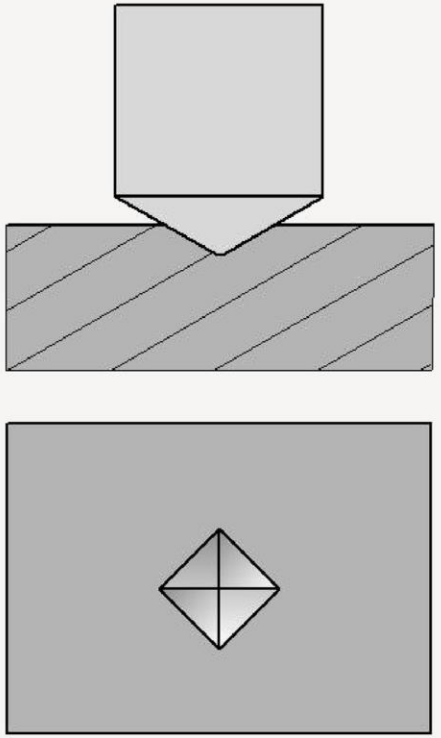
5. Минимальное значение массы детали 300 г.

6. Для испытания образцов минимальной массой и менее или с толщиной сечения меньше минимального значения требуется жесткая опора, т.е. притирка к поверхности большего значения массы и толщины.

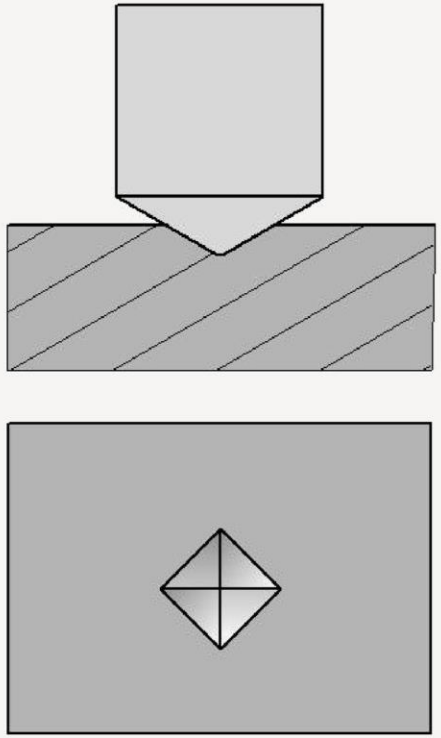
7. Проведение измерений на криволинейных поверхностях допускается если обеспечивается перпендикулярное расположение индентора.

Регламентируется **DIN 50159, ASTM A1038**

Влияние модуля упругости на показания UCI



Сталь 10
Модуль упругости: E = 200 ГПа
Твердость: ~117 HV
Изменение частоты: dF = 6000



Алюминий Д16Т
Модуль упругости: E = 72 ГПа
Твердость: ~105 HV
Изменение частоты: dF = 3500

Зависимость показаний твердомера UCI от экспозиции (времени выдержки)

Изменение частоты колебаний стержня пропорционально площади отпечатка на объекте контроля.

На формирование отпечатка влияет увеличение глубины внедрения индентора (площади отпечатка) от времени выдержки под действием постоянной нагрузки.

В отличии от стандартизованных статических методов измерения твердости, где длительность выдержки нормирована, в методе UCI данный параметр остается на усмотрение производителя оборудования.

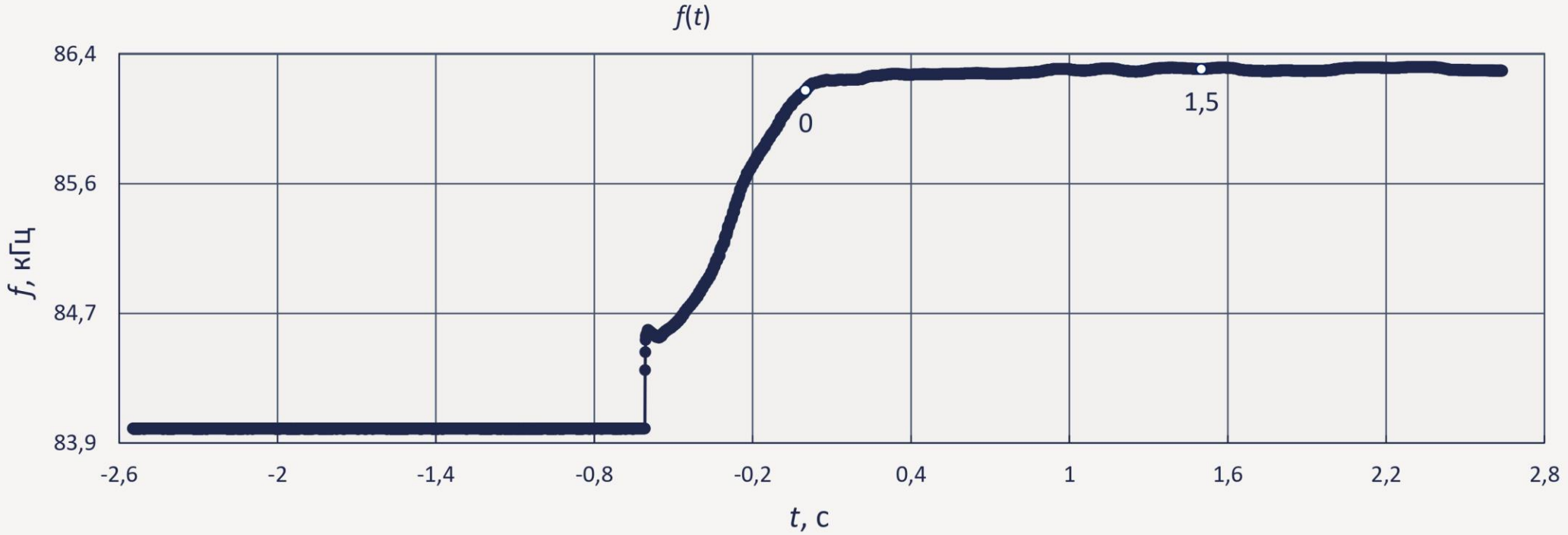


График зависимости f(t) при проведении измерения (индентировании) с нагрузкой 5 кг

Преобразователи по методу UCI

Название	Внешний вид	Описание
U-10N		Для контроля изделий с повышенными требованиями к величине отпечатка, деталей с поверхностным упрочнением и гальваническими покрытиями Подробнее
U-50N		Универсальный, для решения большинства промышленных задач измерения твердости. Подробнее
U-100N		Для контроля изделий с повышенной шероховатостью, плохо подготовленной грубой поверхностью. Подробнее

Метод PR
(Portable Rockvell)



Метод PR (Portable Rockvell)

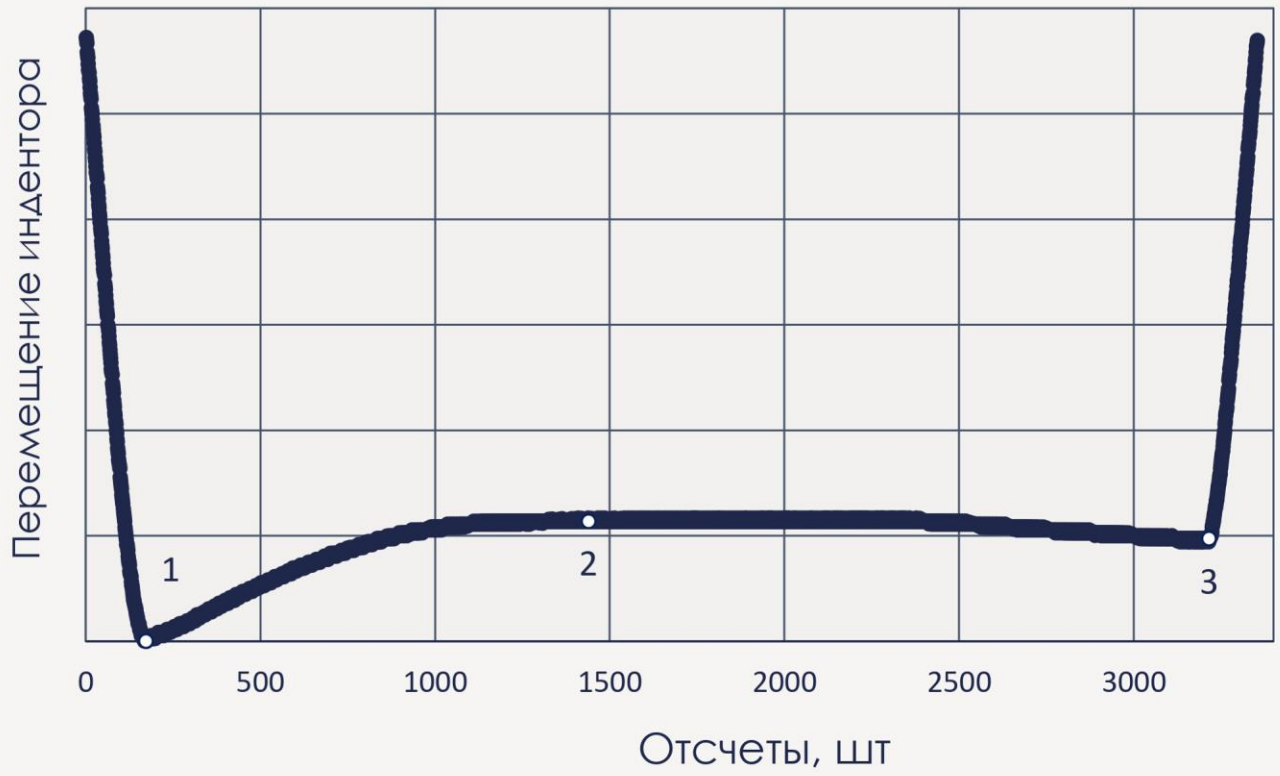


График перемещения индентора

Сущность метода заключается в измерении глубины внедрения индентора под действием статической нагрузки. Аналогично методу измерения твердости по шкале Роквелла прикладывается сначала предварительная, а затем полная нагрузка. Разница между глубиной внедрения при этих нагрузках пересчитывается в значения твердости.

$$HRC = f(\Delta) = h_a - h_0$$

где h_a- глубина проникновения при полной нагрузке;
h_0 - глубина проникновения при предварительной нагрузке.

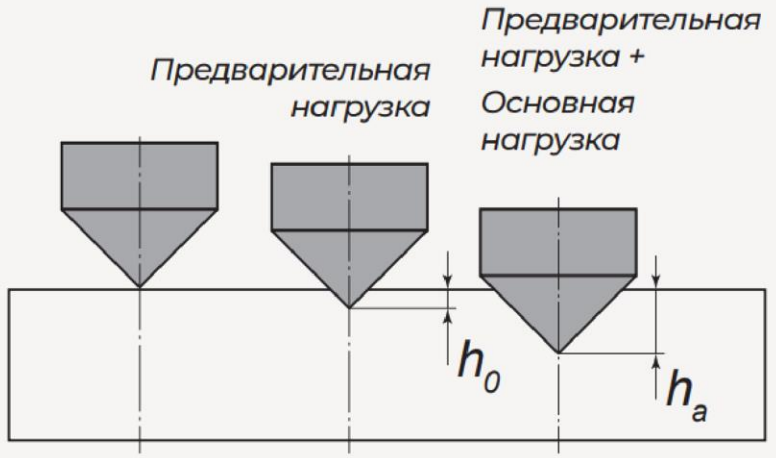


Схема измерения, метод PR

Метод PR (Portable Rockvell)

Шкала измерений:
Твердость обозначается как HRC (Hardness Rockwell).
Диапазон измерений не указан в стандартах.

Требования к образцу:
1. Толщина образца должна превышать глубину вдавливания в 10 раз.
2. При испытании образцов малого диаметра на точность существенно влияют соосность индентора и образца, качество поверхности.
3. При проведении на сферических поверхностях результат может неточно отражать истинную твердость, поэтому следует применять поправки, указанные производителем для данного прибора.

Регламентируется **DIN 50157, ASTM E3246**



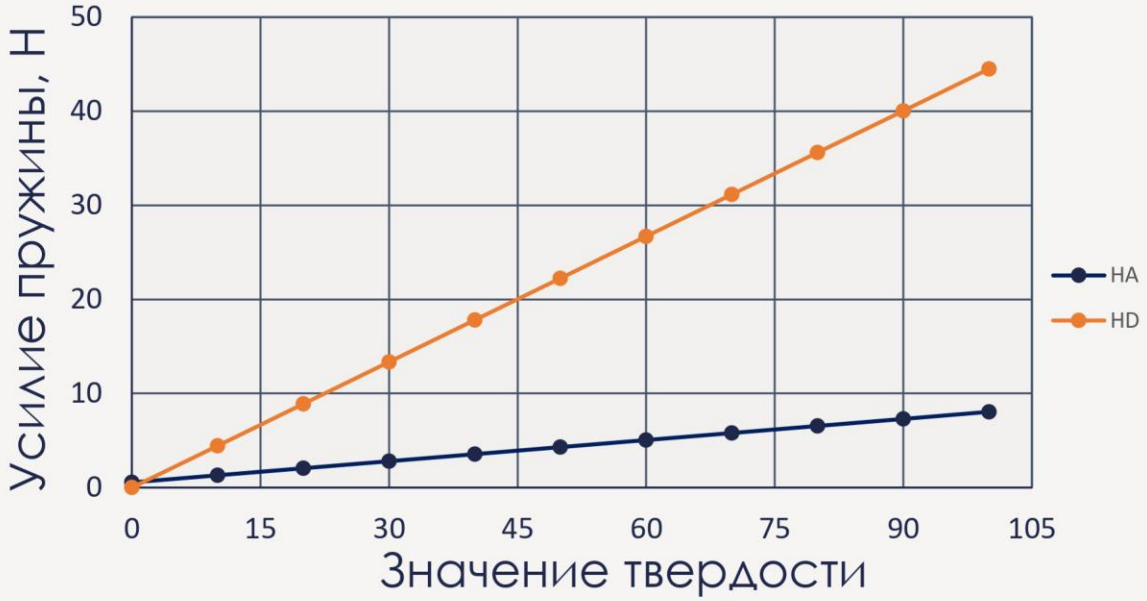
Преобразователи по методу PR

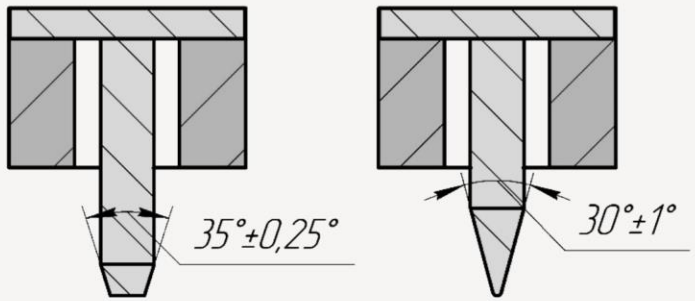
Название	Внешний вид	Описание
SPR		Преобразователь для измерения твердости цветных металлов и сплавов, всех типов сталей и сплавов низкой и средней твердости и других материалов. Подробнее
SPR-A		Модернизированный вариант преобразователя SPR с модулем автоматического приложения нагрузки. Подробнее

Метод Шора



Метод Шора





Инденторы Шор A и D

Сущность метода заключается во вдавливании в испытуемый материал под действием силы в заданных условиях и измеряют глубину вдавливания. Твердость при вдавливании обратно пропорциональна глубине вдавливания и зависит от модуля упругости и вязкоупругих свойств материала.

Тип A: $F = 550 + 75H_A$

Тип D: $F = 445H_D$

где F – прикладываемое усилие.

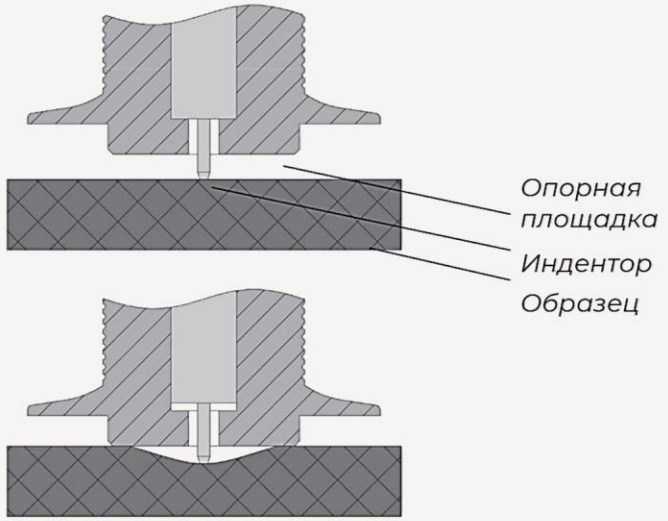


Схема измерения, метод Шора

Метод Шора

Шкала измерений

Индентор тип A: 0-100 HA

Индентор тип D: 0-100 HD

Требования к образцу

1. Толщина образца для испытания должна быть не менее 4 мм.

2. Размеры образцов должны позволять проводить испытание на расстоянии не менее 9 мм от любого края.

3. Поверхность испытуемого образца в месте контакта с опорной поверхностью на площади радиусом не менее 6 мм от кончика индентора должна быть ровной.

Регламентируется **ГОСТ 263, ГОСТ 24621, ASTM D2240, DIN 53505, ISO 7619.**



Преобразователи по методам Шора

Название	Внешний вид	Описание
Шор A		Преобразователь для измерения твердости резины Подробнее
Шор D		Преобразователь для измерения твердости твердой резины и пластика Подробнее

Меры твёрдости



Меры твёрдости Бринелля

Тип меры	Нагрузка, кгс (Н)	Значения	Размах значений твердости, %, не более	
			1-го разряда	2-го разряда
Мера твердости Бринелля (МТБ) - НВ	3000,0*(29430); 750,0**(7357); 187,5***(1839)	400±50, 200±50	1,5	3,0
	1000,0*(9810); 250,0**(2452); 62,5***(613)	100±25	2,0	4,0
	250,0*(2452); 62,5***(613); 15,6***(153	30±20	3,0	

* Для шариков диаметром 10 мм.
** Для шариков диаметром 5 мм.
*** Для шариков диаметром 2,5 мм

Примеры
МТБ 2 р. **400 НВ** 10/3000/10 имеет размах до **12НВ**.
МТБ 2 р. **100 НВ** 10/1000/10 имеет размах до **4НВ**.

Меры твёрдости Роквелла

Тип меры	Нагрузка, кгс (Н)	Значения	Размах значений твердости, %, не более	
			1-го разряда	2-го разряда
Мера твердости Роквелла (МТР) тип С - HRC	150 (1471)	25±5	0,5	1,1
		45±5	0,4	0,8
		65±5	0,3	0,5
Примеры МТР 2 р. **65 HRC** имеет размах до ≈ **0,3 HRC**. МТН 2 р. **25 HRC** имеет размах до ≈ **0,3 HRC**.				

Меры твёрдости Виккерса

Тип меры	Нагрузка, кгс (Н)	Значения	Размах значений твердости, %, не более	
			1-го разряда	2-го разряда
Мера твердости Виккерса (МТВ) – HV	1(9,8); 2(19,6)	450±75 800±50	3,0	5,0
	5(49,0); 10(98,1)	450±75 800±50	1,5	3,0
	20(196,2); 30(294,3); 50(490,5); 100(981,0)	450±75 800±50	1,0	2,0
Примеры МТВ 2 р. **800 HV5** имеет размах до **24 HV**. МТВ 2 р. **450 HV100** имеет размах до **9 HV**.				

Перевод единиц измерения твердости между шкалами

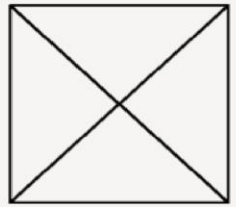
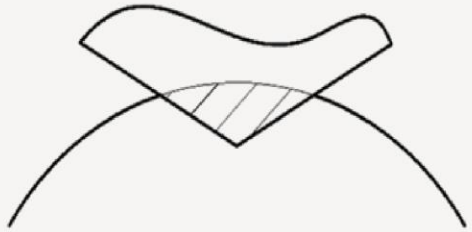
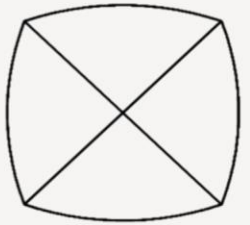
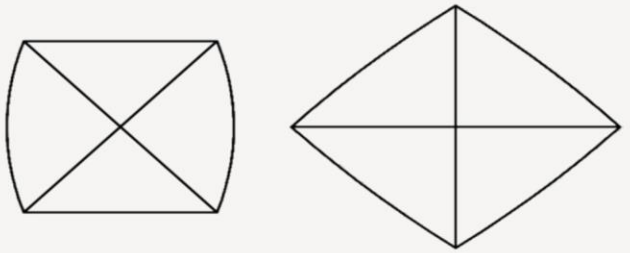
Стандарты, регламентирующие перевод: ASTM E140, ISO 18265

TABLE 1 Approximate Hardness Conversion Numbers for Non-Austenitic Steels (Rockwell C Hardness Range)[A, B]

Rock-well C Hardness Number 150 kgf (HRC)	Vickers Hardness Number (HV)	Brinell Hardness Number[C]		Knoop Hardness, Number 500-gf and Over (HK)	Rockwell Hardness Number		Rockwell Superficial Hardness Number			Sclero-scope Hard-ness Number[D]	Rock-well C Hardness Number 150 kgf (HRC)
		10-mm Standard Ball, 3000-kgf (HBS)	10-mm Carbide Ball, 3000-kgf (HBW)		A Scale, 60-kgf (HRA)	D Scale, 100-kgf (HRD)	15-N Scale, 15-kgf (HR 15-N)	30-N Scale, 30-kgf (HR 30-N)	45-N Scale, 45-kgf (HR 45-N)		
68	940	...	...	920	85.6	76.9	93.2	84.4	75.4	97.3	68
67	900	...	...	895	85.0	76.1	92.9	83.6	74.2	95.0	67
66	865	...	...	870	84.5	75.4	92.5	82.8	73.3	92.7	66
65	832	...	(739)	846	83.9	74.5	92.2	81.9	72.0	90.6	65
64	800	...	(722)	822	83.4	73.8	91.8	81.1	71.0	88.5	64
63	772	...	(705)	799	82.8	73.0	91.4	80.1	69.9	86.5	63
62	746	...	(688)	776	82.3	72.2	91.1	79.3	68.8	84.5	62
61	720	...	(670)	754	81.8	71.5	90.7	78.4	67.7	82.6	61
60	697	...	(654)	732	81.2	70.7	90.2	77.5	66.6	80.8	60
59	674	...	634	710	80.7	69.9	89.8	76.6	65.5	79.0	59
58	653	...	615	690	80.1	69.2	89.3	75.7	64.3	77.3	58
57	633	...	595	670	79.6	68.5	88.9	74.8	63.2	75.6	57
56	613	...	577	650	79.0	67.7	88.3	73.9	62.0	74.0	56
55	595	...	560	630	78.5	66.9	87.9	73.0	60.9	72.4	55
54	577	...	543	612	78.0	66.1	87.4	72.0	59.8	70.9	54
53	560	...	525	594	77.4	65.4	86.9	71.2	58.6	69.4	53
52	544	(500)	512	576	76.8	64.6	86.4	70.2	57.4	67.9	52
51	528	(487)	496	558	76.3	63.8	85.9	69.4	56.1	66.5	51
50	513	(475)	481	542	75.9	63.1	85.5	68.5	55.0	65.1	50
49	498	(464)	469	526	75.2	62.1	85.0	67.6	53.8	63.7	49
48	484	451	455	510	74.7	61.4	84.5	66.7	52.5	62.4	48
47	471	442	443	495	74.1	60.8	83.9	65.8	51.4	61.1	47
46	458	432	432	480	73.6	60.0	83.5	64.8	50.3	59.8	46

Нетипичные задачи измерения твердости

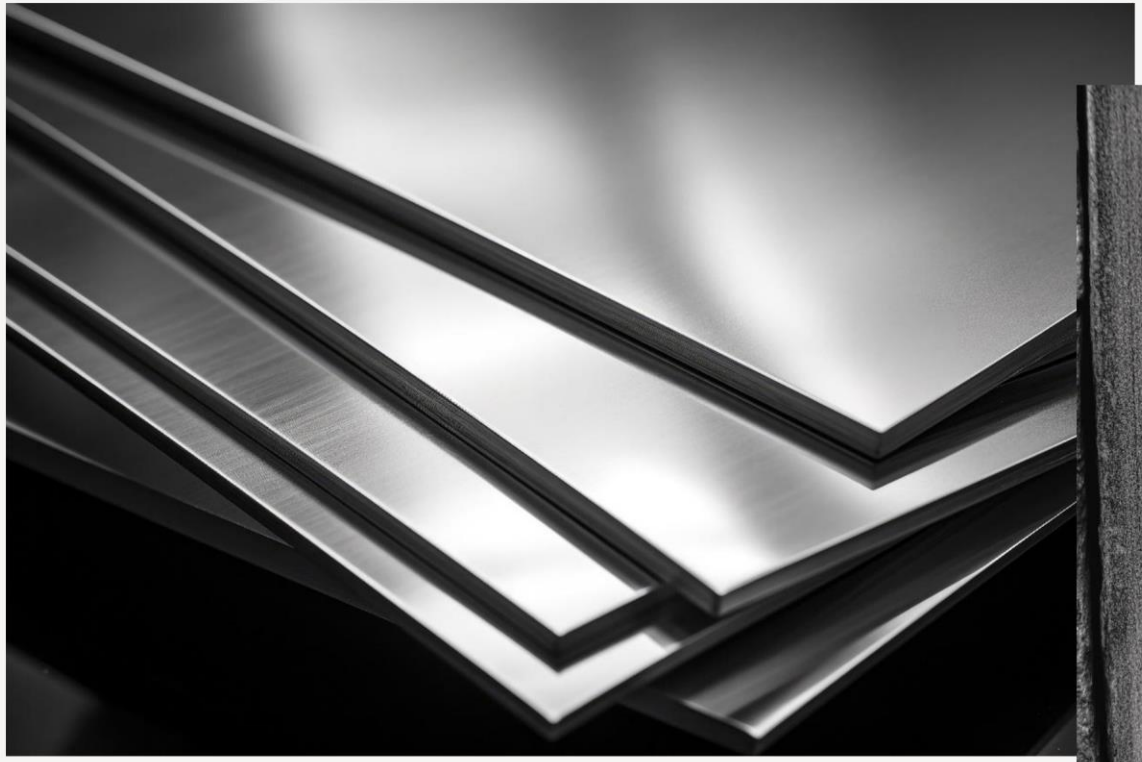
Измерение твёрдости на неплоских объектах контроля

Вид поверхности	Индентирование	Получаемый отпечаток
Плоскость		
Сфера		
Цилиндр		

Измерение мягких материалов

Бывают разные запросы от пользователей, которые необходимо решить. Одним из примеров является, возможность измерения твердости мягких металлов.

Мягкие металлы: алюминий, баббит, свинец, золото и т.п.

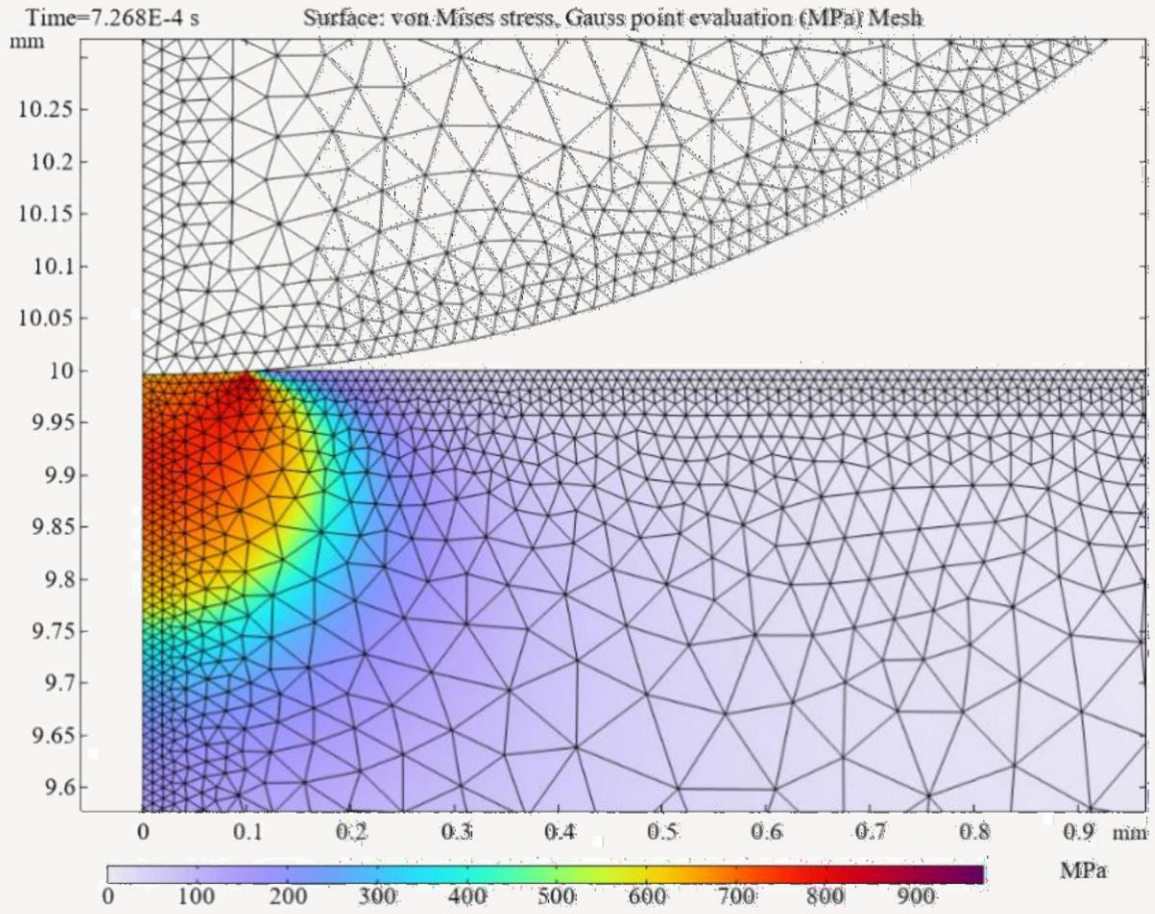


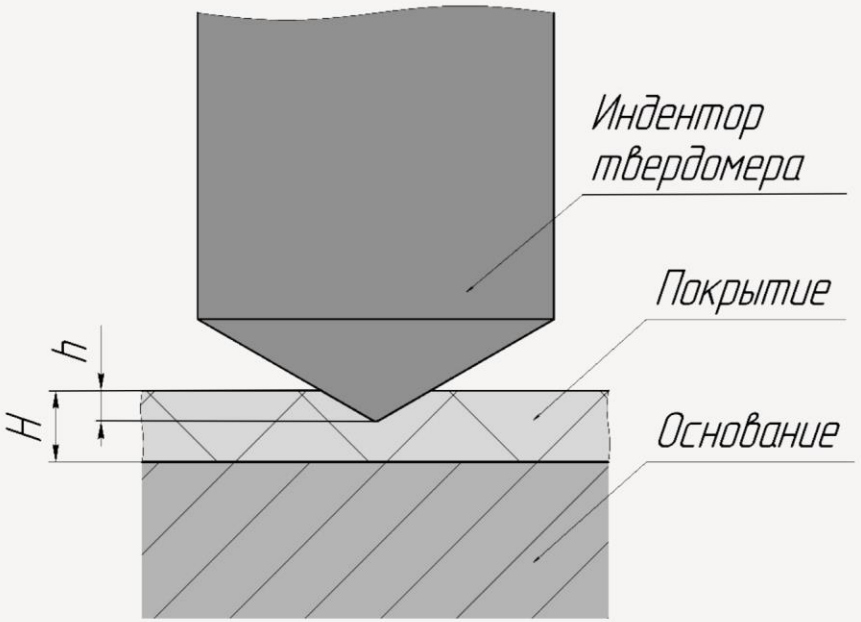




Измерение твердости покрытий

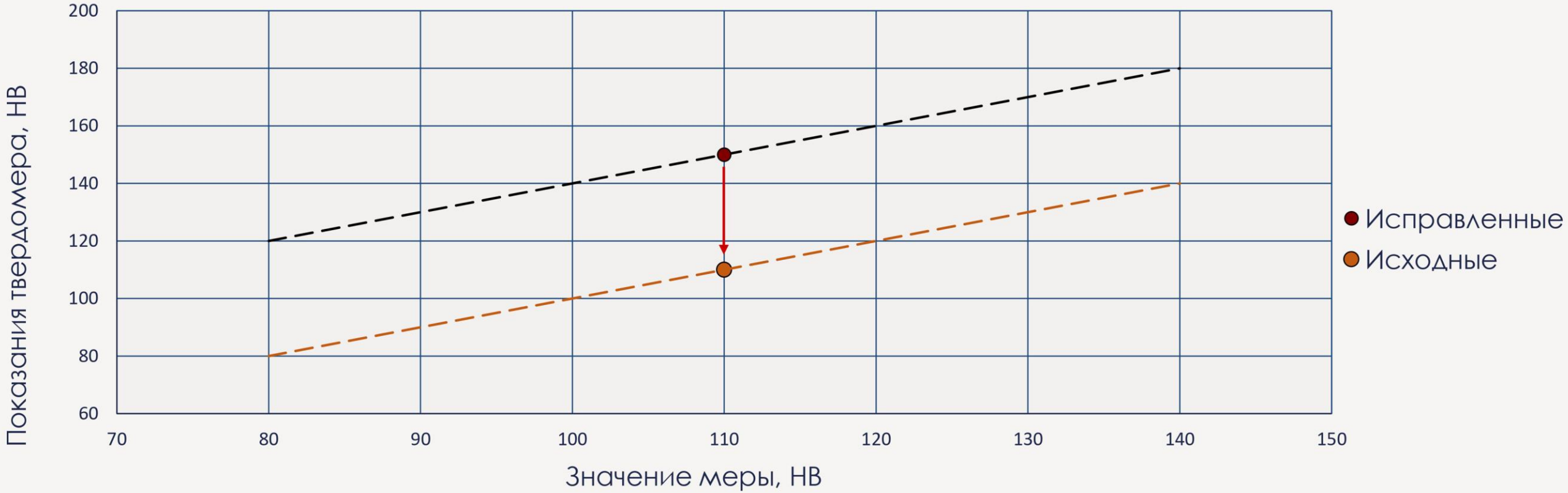
Покрытия или поверхностные слои должны иметь минимальную толщину , не менее чем в 10 раз превышающую глубину вдавливания используемого индентора.





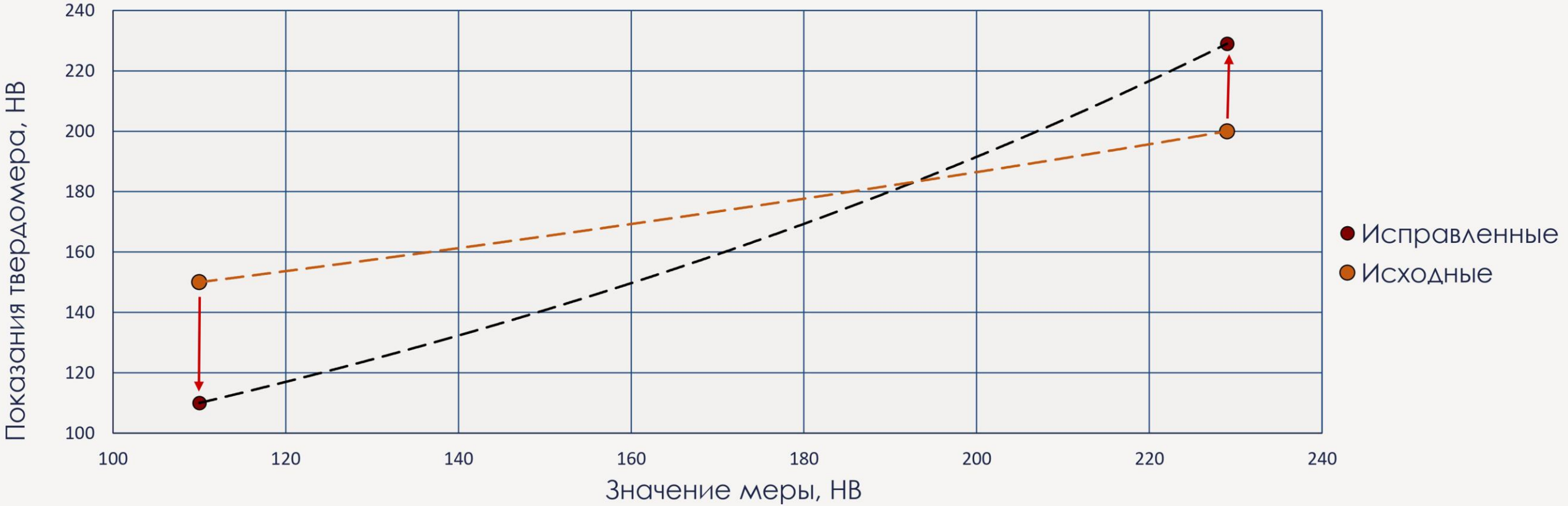
Проведение калибровки: Одноточечная

Используется для исключения аддитивной (постоянной) составляющей систематической погрешности, возникающей вследствие вариации свойств объектов измерения, условий проведения измерений или в случае, если объект измерения не соответствует требованиям раздела «требования к объекту измерения», а сами измерения проводятся в узком диапазоне значений твердости относительно точки, в которой выполняется калибровка.



Проведение калибровки: Двухточечная

Применяется для уменьшения аддитивной (постоянной) и мультипликативной (переменной) составляющих систематической погрешности, возникающей вследствие вариации свойств объектов измерения, условий проведения измерений или в случае, если объект измерения не соответствует требованиям раздела «требования к объекту измерения», а сами измерения проводятся в широком диапазоне значений твердости.



КОНСТАНТА

ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

constanta.ru
официальный сайт

school.constanta.ru
учебный центр