



«Новые методы определения твёрдости материалов»

Лекция 28

Lec_28_metod_opr_tverd_3MC_LNA_02_12_2015

**Сравнение чисел
твёрдости, полученных
разными методами**

**Профессор Мощенок В.И.
Доцент Лалазарова Н.А.**

Содержание

- ★ 28.1. Анализ проблемы перевода чисел твердости из одного метода в другой
- ★ Список литературы к лекции 28
- ★ Контрольные вопросы
- ★ Задания для самостоятельной работы



28.1. Анализ проблемы перевода чисел твердости из одного метода в другой

С момента появления первых методов определения твердости сразу же возникла потребность в сопоставлении чисел твердости, полученных разными методами. Были составлены многочисленные таблицы перевода чисел твердости из одного метода в другой.

Однако до настоящего времени перевод чисел твердости не имеет физической основы и базируется на экспериментальных, чисто эмпирических значениях.

HB	HV	HRC	HRB	HB	HV	HRC	HRB	HB	HV	HRC	HRB
92	97	-	54	155	163	-	82.5	214	225	-	96
95	100	-	56	157	165	-	83	216	228	-	-
98	103	-	58	160	168	-	84.5	219	230	-	96.5
100	105	-	59	162	170	-	85	221	233	-	97
102	107	-	60	163	172	-	85.5	223	235	-	-
105	110	-	62	166	175	-	86	225	237	-	97.5
107	113	-	63.2	169	178	-	86.5	228	240	-	98
109	115	-	64.5	171	180	-	87	231	243	21	-
113	119	-	66	172	181	-	-	233	245	-	-
114	120	-	67	175	184	-	88	235	247	-	99
116	122	-	67.5	176	185	-	-	238	250	22	99.5
119	125	-	69	178	187	-	89	240	253	-	-
122	128	-	70	181	190	-	89.5	242	255	23	-
124	130	-	71	184	193	-	90	245	258	-	-
125	132	-	72	185	195	-	-	247	260	24	-
128	135	-	73	187	197	-	91	249	262	-	-
131	138	-	74	190	200	-	91.5	252	265	-	-
133	140	-	75	193	203	-	92	255	268	25	-
136	143	-	76.5	195	205	-	92.5	257	270	-	-
138	145	-	77	198	208	-	93	258	272	26	-
140	147	-	77.5	199	210	-	93.5	261	275	-	-
143	150	-	78.5	201	212	-	-	264	278	-	-
145	153	-	79.5	204	215	-	94	266	280	27	-
147	155	-	80	208	219	-	-	269	283	-	-
149	157	-	81	209	220	-	95	271	285	-	-
152	160	-	81.5	211	222	-	95.5	273	287	28	-

Таблицы перевода чисел твердости из одного метода в другой имеют в своей основе постулат,

что твердость не зависит от нагрузки индентирования и представляет собой константу для конкретного материала.

Таблица перевода чисел твёрдости

HB	HV	HRC	HRB	HB	HV	HRC	HRB	HB	HV	HRC	HRB
92	97	-	54	155	163	-	82.5	214	225	-	96
95	100	-	56	157	165	-	83	216	228	-	-
98	103	-	58	160	168	-	84.5	219	230	-	96.5
100	105	-	59	162	170	-	85	221	233	-	97
102	107	-	60	163	172	-	85.5	223	235	-	-
105	110	-	62	166	175	-	86	225	237	-	97.5
107	113	-	63.2	169	178	-	86.5	228	240	-	98
109	115	-	64.5	171	180	-	87	231	243	21	-
113	119	-	66	172	181	-	-	233	245	-	-
114	120	-	67	175	184	-	88	235	247	-	99
116	122	-	67.5	176	185	-	-	238	250	22	99.5
119	125	-	69	178	187	-	89	240	253	-	-
122	128	-	70	181	190	-	89.5	242	255	23	-
124	130	-	71	184	193	-	90	245	258	-	-
125	132	-	72	185	195	-	-	247	260	24	-
128	135	-	73	187	197	-	91	249	262	-	-
131	138	-	74	190	200	-	91.5	252	265	-	-
133	140	-	75	193	203	-	92	255	268	25	-
136	143	-	76.5	195	205	-	92.5	257	270	-	-
138	145	-	77	198	208	-	93	258	272	26	-
140	147	-	77.5	199	210	-	93.5	261	275	-	-
143	150	-	78.5	201	212	-	-	264	278	-	-
145	153	-	79.5	204	215	-	94	266	280	27	-
147	155	-	80	208	219	-	-	269	283	-	-
149	157	-	81	209	220	-	95	271	285	-	-
152	160	-	81.5	211	222	-	95.5	273	287	28	-

Анализ проблемы перевода чисел твердости из одного метода в другой

Полученные к настоящему времени многочисленные экспериментальные результаты свидетельствуют об обратном, а именно, твердость всегда зависит от нагрузки индентирования и эта зависимость может быть как прямой, так и обратной.

Явление размерного эффекта при определении твердости разными методами (indentation size effect) уже достаточно полно

HB	HV	HRC	HRB	HB	HV	HRC	HRB	HB	HV	HRC	HRB
92	97	-	54	155	163	-	82.5	214	225	-	96
95	100	-	56	157	165	-	83	216	228	-	-
98	103	-	58	160	168	-	84.5	219	230	-	96.5
100	105	-	59	162	170	-	85	221	233	-	97
102	107	-	60	163	172	-	85.5	223	235	-	-
105	110	-	62	166	175	-	86	225	237	-	97.5
107	113	-	63.2	169	178	-	86.5	228	240	-	98
109	115	-	64.5	171	180	-	87	231	243	21	-
113	119	-	66	172	181	-	-	233	245	-	-
114	120	-	67	175	184	-	88	235	247	-	99
116	122	-	67.5	176	185	-	-	238	250	22	99.5
119	125	-	69	178	187	-	89	240	253	-	-
122	128	-	70	181	190	-	89.5	242	255	23	-
124	130	-	71	184	193	-	90	245	258	-	-
125	132	-	72	185	195	-	-	247	260	24	-
128	135	-	73	187	197	-	91	249	262	-	-
131	138	-	74	190	200	-	91.5	252	265	-	-
133	140	-	75	193	203	-	92	255	268	25	-
136	143	-	76.5	195	205	-	92.5	257	270	-	-
138	145	-	77	198	208	-	93	258	272	26	-
140	147	-	77.5	199	210	-	93.5	261	275	-	-
143	150	-	78.5	201	212	-	-	264	278	-	-
145	153	-	79.5	204	215	-	94	266	280	27	-
147	155	-	80	208	219	-	-	269	283	-	-
149	157	-	81	209	220	-	95	271	285	-	-
152	160	-	81.5	211	222	-	95.5	273	287	28	-

и всесторонне доказано различными исследованиями, что ставит под сомнение саму идею перевода чисел твердости из одного метода в другой.

При этом задача перевода чисел твердости до сих пор является актуальной и не утратит своей актуальности в ближайшие десятилетия.

Анализ проблемы перевода чисел твердости из одного метода в другой

Была предпринята попытка разработки методики перевода чисел твердости, полученных вдавливанием инденторов различной формы, которые широко используются в методах определения твердости по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу.

Поскольку в основе этих методов лежат принципы определения твердости,

HB	HV	HRC	HRB	HB	HV	HRC	HRB	HB	HV	HRC	HRB
92	97	-	54	155	163	-	82.5	214	225	-	96
95	100	-	56	157	165	-	83	216	228	-	-
98	103	-	58	160	168	-	84.5	219	230	-	96.5
100	105	-	59	162	170	-	85	221	233	-	97
102	107	-	60	163	172	-	85.5	223	235	-	-
105	110	-	62	166	175	-	86	225	237	-	97.5
107	113	-	63.2	169	178	-	86.5	228	240	-	98
109	115	-	64.5	171	180	-	87	231	243	21	-
113	119	-	66	172	181	-	-	233	245	-	-
114	120	-	67	175	184	-	88	235	247	-	99
116	122	-	67.5	176	185	-	-	238	250	22	99.5
119	125	-	69	178	187	-	89	240	253	-	-
122	128	-	70	181	190	-	89.5	242	255	23	-
124	130	-	71	184	193	-	90	245	258	-	-
125	132	-	72	185	195	-	-	247	260	24	-
128	135	-	73	187	197	-	91	249	262	-	-
131	138	-	74	190	200	-	91.5	252	265	-	-
133	140	-	75	193	203	-	92	255	268	25	-
136	143	-	76.5	195	205	-	92.5	257	270	-	-
138	145	-	77	198	208	-	93	258	272	26	-
140	147	-	77.5	199	210	-	93.5	261	275	-	-
143	150	-	78.5	201	212	-	-	264	278	-	-
145	153	-	79.5	204	215	-	94	266	280	27	-
147	155	-	80	208	219	-	-	269	283	-	-
149	157	-	81	209	220	-	95	271	285	-	-
152	160	-	81.5	211	222	-	95.5	273	287	28	-

а иногда числа твердости лишены всякого физического смысла (метод Роквелла), то возникает потребность в выборе общих, характерных для каждого метода, условий испытаний.

Таким объединяющим и характерным для каждого метода параметром может быть **диаграмма индентирования**, которая де-факто используется в каждом методе.

Анализ проблемы перевода чисел твердости из одного метода в другой

Принципиальное же отличие представляют собой лишь форма используемого индентора и методики, по которым на основе диаграммы индентирования рассчитываются числа твердости.

Поэтому за основу при разработке методик пересчета чисел твердости от одного метода к другому принята именно диаграмма индентирования инденторами различной формы,

HB	HV	HRC	HRB	HB	HV	HRC	HRB	HB	HV	HRC	HRB
92	97	-	54	155	163	-	82.5	214	225	-	96
95	100	-	56	157	165	-	83	216	228	-	-
98	103	-	58	160	168	-	84.5	219	230	-	96.5
100	105	-	59	162	170	-	85	221	233	-	97
102	107	-	60	163	172	-	85.5	223	235	-	-
105	110	-	62	166	175	-	86	225	237	-	97.5
107	113	-	63.2	169	178	-	86.5	228	240	-	98
109	115	-	64.5	171	180	-	87	231	243	21	-
113	119	-	66	172	181	-	-	233	245	-	-
114	120	-	67	175	184	-	88	235	247	-	99
116	122	-	67.5	176	185	-	-	238	250	22	99.5
119	125	-	69	178	187	-	89	240	253	-	-
122	128	-	70	181	190	-	89.5	242	255	23	-
124	130	-	71	184	193	-	90	245	258	-	-
125	132	-	72	185	195	-	-	247	260	24	-
128	135	-	73	187	197	-	91	249	262	-	-
131	138	-	74	190	200	-	91.5	252	265	-	-
133	140	-	75	193	203	-	92	255	268	25	-
136	143	-	76.5	195	205	-	92.5	257	270	-	-
138	145	-	77	198	208	-	93	258	272	26	-
140	147	-	77.5	199	210	-	93.5	261	275	-	-
143	150	-	78.5	201	212	-	-	264	278	-	-
145	153	-	79.5	204	215	-	94	266	280	27	-
147	155	-	80	208	219	-	-	269	283	-	-
149	157	-	81	209	220	-	95	271	285	-	-
152	160	-	81.5	211	222	-	95.5	273	287	28	-

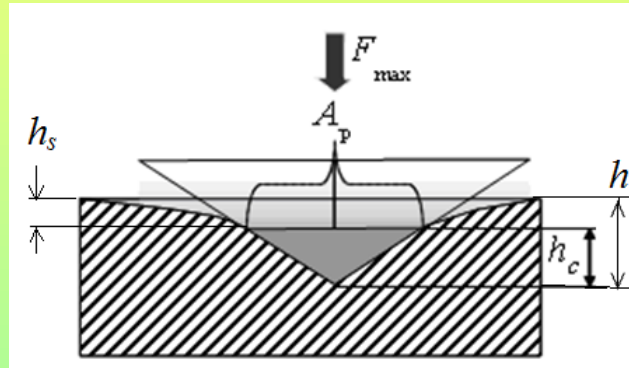
что представляет собой первооснову любого метода определения твердости,

а потом уже на основе диаграмм индентирования можно говорить и о перерасчете чисел твердости из одного метода в другой.

Анализ проблемы перевода чисел твердости из одного метода в другой

В качестве основного критерия для перерасчета чисел твердости, полученных по разным методам, может быть принята **глубина внедрения индентора определенной формы в зависимости от приложенной нагрузки.**

В качестве образцов для исследования приняты образцовые меры к твердомерам Бринелля с разной твердостью:



низкой (103 НВ – образец №1), средней (187 НВ – образец №2), высокой (411 НВ – образец №3).

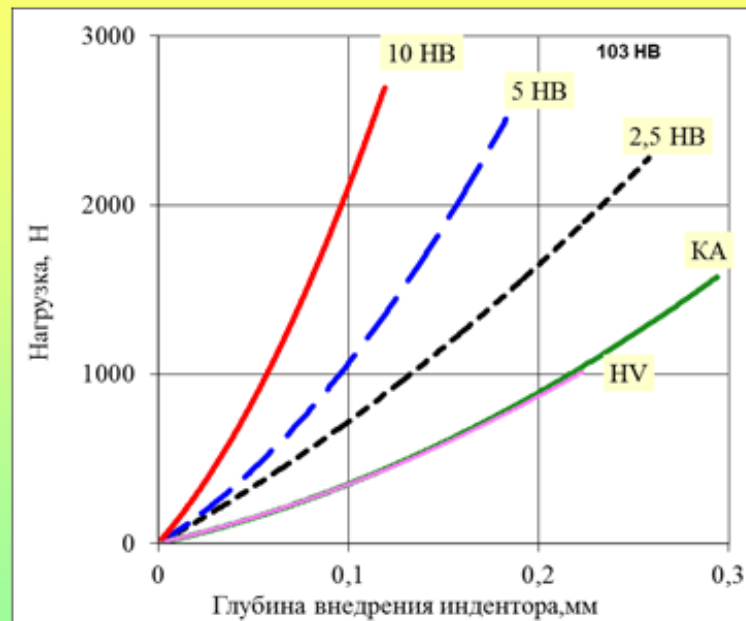
Индентирование проводили стальными шариками диаметрами 10; 5 и 2,5 мм, используемыми при испытаниях по Бринеллю, стандартным алмазным конусом с радиусом закругления у вершины 0,2 мм, используемым при испытаниях по Роквеллу, и пирамидой Виккерса.

28.2. Влияние формы индентора на зависимость «нагрузка–глубина внедрения» для стали низкой твердости (образец № 1)

На рис. представлены нагрузочные кривые индентирования инденторами с разными геометрическими параметрами образца №1 (103 НВ).

Из рисунка видно, что рост нагрузки приводит к увеличению глубины внедрения индентора, интенсивность которого существенно зависит от формы и размеров индентора.

При локальных механических испытаниях в зависимости от формы индентора возможны два вида контакта – «тупой» и «острый».

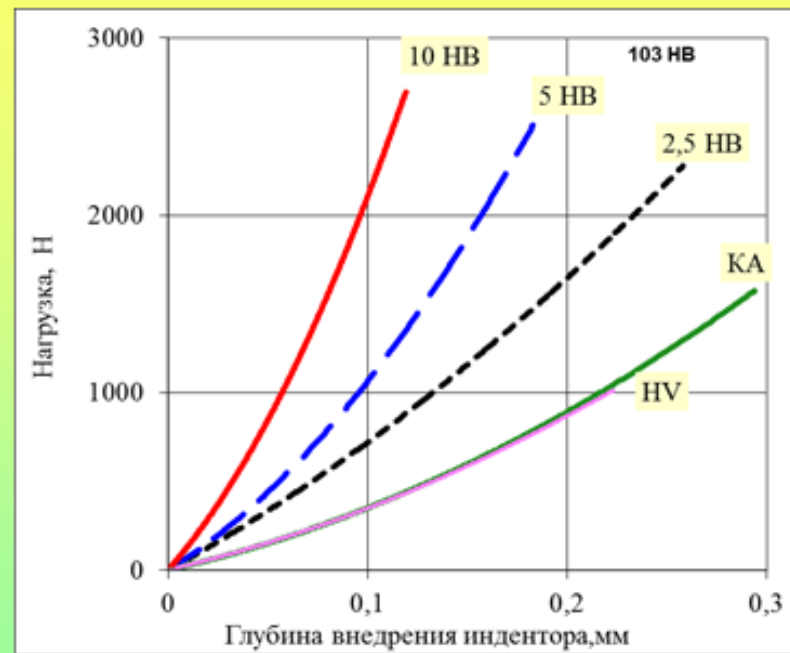


Зависимость между нагрузкой и глубиной внедрения разных инденторов для стали низкой твердости: 10 НВ – шарик диаметром 10 мм; 5 НВ – шарик диаметром 5 мм; 2,5 НВ – шарик диаметром 2,5 мм; КА – конус алмазный с углом при вершине 120°; HV – пирамида Виккерса

Влияние формы индентора на зависимость «нагрузка–глубина внедрения» для стали низкой твердости (образец № 1)

«Острый» контакт образуется при нагружении пирамидального индентора (Виккерса, Берковича) или конуса.

Наличие сингулярной точки (вершины пирамиды) приводит к тому, что участок упругого напряжения для идеально острого индентора отсутствует.

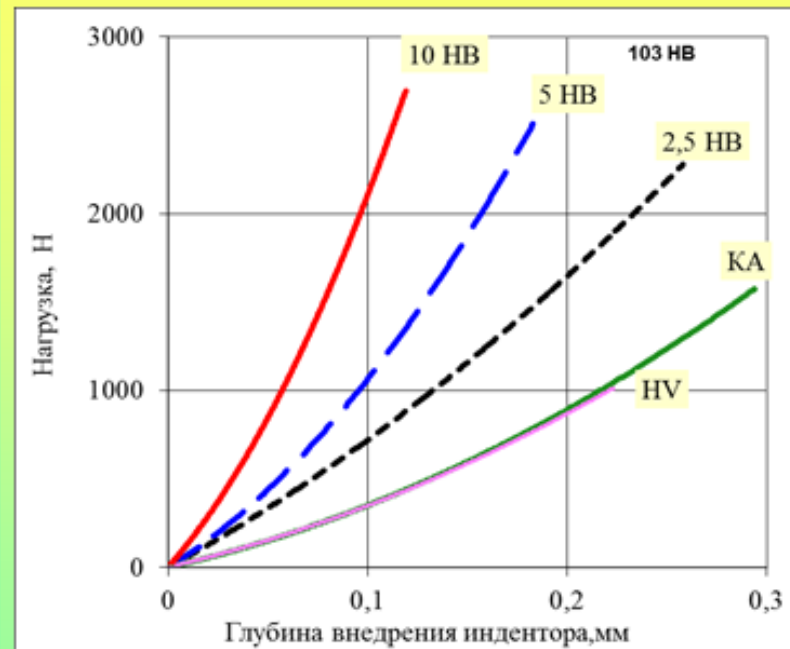


При увеличении нагрузки сразу же начинается пластическое деформирование материала образца в контакте. «Тупой» контакт возникает при нагружении плоской поверхности сферическим индентором.

Влияние формы индентора на зависимость «нагрузка–глубина внедрения» для стали низкой твердости (образец № 1)

В этом случае сингулярная точка при вершине индентора отсутствует. При нагружении сферического индентора сначала будет происходить упругое деформирование поверхности образца и только при более высокой нагрузке,

когда будет достигнут предел текучести для материала в контакте, начнется упругопластическая деформация.

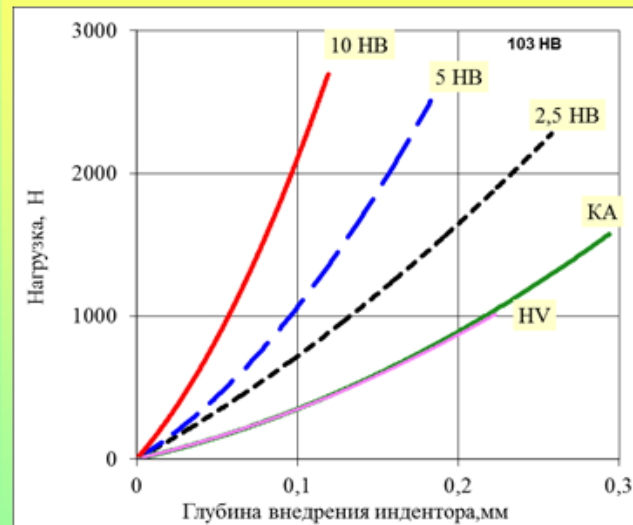


Нагрузка перехода от упругой деформации в отпечатке к упругопластической уменьшается с уменьшением радиуса сферы.

Влияние формы индентора на зависимость «нагрузка–глубина внедрения» для стали низкой твердости (образец № 1)

В данном исследовании имеет место и «тупой» и «острый» контакт, однако используемые конус и пирамида не были идеально острыми, поэтому в начале их нагружения возникает упругая деформация, но ее степень будет значительно меньше, чем в случае сферического индентора.

Из рис. видно, что с уменьшением угла вдавливания сферического индентора,



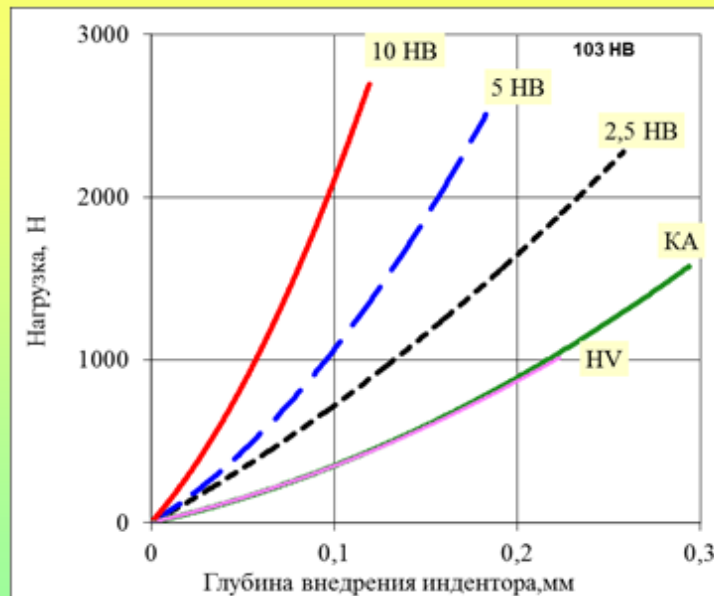
т.е. с уменьшением диаметра шарика от 10 до 5 и 2,5 мм нагрузка для получения одной и той же глубины внедрения индентора существенно уменьшается.

Еще большее ее уменьшение имеет место при переходе к остроконечным инденторам (конусу и пирамиде).

Влияние формы индентора на зависимость «нагрузка–глубина внедрения» для стали низкой твердости (образец № 1)

Например, для получения глубины внедрения индентора 0,1 мм, необходимое усилие для шариков диаметром 10, 5 и 2,5 мм, алмазного конуса и алмазной пирамиды составляет 2120, 1840, 1080, 370 и 370 Н соответственно.

Таким образом, чем «острее» индентор, т.е. чем больше удельное давление на поверхность испытуемого образца,



тем больше глубина вдавливания индентора при одной и той же нагрузке.

Так, при усилии 1000 Н глубина вдавливания для шариков диаметром 10, 5 и 2,5 мм, алмазного конуса и алмазной пирамиды составляет 0,056; 0,095; 0,13; 0,22 0,222 мм соответственно.

Влияние формы индентора на зависимость «нагрузка–глубина внедрения» для стали низкой твердости (образец № 1)

При увеличении глубины отпечатка разница в нагрузке для его достижения при вдавливании разных инденторов еще больше увеличивается.

Следует отметить, что кривые для конуса и пирамиды практически совпадают.

Аппроксимацией кривых индентирования степенной функцией были получены следующие уравнения:

$$F_{\text{HB10}}=82580h^2+12797h, \quad (28.1)$$

$$F_{\text{HB5}}=37106h^2+6924,7h, \quad (28.2)$$

$$F_{\text{HB2,5}}=10263h^2+6178,7h, \quad (28.3)$$

$$F_{\text{КА}}=9585,9h^2+2537,8h, \quad (28.4)$$

$$F_{\text{HV}}=8659,5h^2+2607,4h, \quad (28.5)$$

где F_{HB10} , F_{HB5} , $F_{\text{HB2,5}}$, $F_{\text{КА}}$, F_{HV} – нагрузка при использовании разных инденторов, Н; h – глубина внедрения индентора, мм.

Список литературы к лекции 28

- 1) Мощенок В.И. Новые методы определения твердости материалов : монография / В.И. Мощенок. – 2-е изд. доп. и перераб. – Х. : ХНАДУ, 2013. – 324 с.
- 2) Федосов, С. А. Определение механических свойств материалов микроиндентированием. Современные зарубежные методики / С. А. Федосов, Л. Пешек . – М.: Физический факультет МГУ, 2004.- 100 с.
- 3) Испытание материалов непрерывным вдавливанием индентора / С. И. Булычев, В. П. Алехин. - М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
- 5) W. Wolf. Inferenu of mechanical properties from instrumented depth sensing indentation depths . / W. Wolf.// Crust. Res. Technol. – 2000. – 35. – P. 377-399.



Контрольные вопросы

1) Какой постулат лежит в основе таблиц перевода чисел твёрдости?

2) Какие существуют методики перевода чисел твёрдости?



Задания для самостоятельной работы

1. Изучить по литературным источникам методики перевода чисел твёрдости.





Кафедра технології металлов и матеріалознавства

Лалазарова Наталія Алексеевна

E-mail: lalaz1991@mail.ru

г. Харків, ул. Петровського, 25, ХНАДУ, КАФЕДРА ТМ и М

Tel.(8-057)707-37-92

