



# **«Новые методы определения твёрдости материалов»**

## **Лекция 32**

Lec\_32\_metod\_opr\_tverd\_3MC\_LNA\_16\_12\_2015

**Методика перевода чисел твердости, полученных вдавливанием разных инденторов, с использованием в качестве основного критерия глубины внедрения индентора**

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

# Содержание



**32.1. Методика перевода чисел твердости, полученных вдавливанием разных инденторов, с использованием в качестве основного критерия глубины внедрения индентора**



**Список литературы**



**Контрольные вопросы**



**Задания для самостоятельной работы**

# 32.1. Методика перевода чисел твердости, полученных вдавливанием разных инденторов, с использованием в качестве основного критерия глубины внедрения индентора

Различные принципы определения твердости с использованием инденторов разной формы (шарика, конуса, пирамиды) дают численно не совпадающие результаты, которые имеют к тому же неодинаковую размерность.

Это затрудняет физически обоснованный перевод чисел твердости, полученных разными методами.

Таблица перевода твердости

Рн ФУНТОВ	ННС	НВ30	НВ10	Рн ФУНТОВ	ННС	НВ30	НВ10
240	71	75	1200	58	354	373	
255	75	80	1230	59	359	382	
270	81	85	1260	60	362	392	
285	86	90	1300	61	363	403	
300	90	95	1330	62	365	413	
320	95	100	1360	63	402	423	
330	100	105	1400	64	413	434	
350	105	110	1430	65	424	445	
370	109	115	1460	66	435	456	
385	114	120	1500	67	446	472	
400	119	125	1570	68	460	484	
415	124	130	1600	69	472	497	
430	128	135	1630	70	483	514	
450	133	140	1700	71	501	527	
465	138	145	1730	72	517	544	
480	143	150	1800	73	532	560	
495	147	155	1870	74	549	578	
510	152	160	1900	75	561	596	
530	157	165	2000	76	584	615	
545	162	170	2140	77	607	639	
560	166	175	2160	78	622	655	
575	171	180				675	
590	176	185				698	
610	181	190				720	
625	185	195				745	
640	190	200				770	
660	195	205				800	
675	199	210				829	
690	204	215				864	
705	209	220				900	
720	214	225				940	
740	219	230					
755	223	235					
770	228	240					
785	233	245					
800	237	250					
820	242	255					
835	247	260					
850	251	265					
870	256	272					
890	261	280					
900	265	287					
920	270	293					
940	275	297					
970	281	302					
995	287	307					
1020	293	311					
1050	299	317					
1080	305	322					
1100	311	327					
1120	317	332					
1140	323	337					
1170	329	343					

Существующие таблицы перевода чисел твердости из одного метода в другой составлены по экспериментальным данным и не имеют физической основы.

Зависимость твердости для всех типов инденторов от нагрузки и других факторов делает перевод чисел твердости из одного метода в другой не вполне корректным.



# Методика перевода чисел твердости, полученных вдавливанием разных инденторов, с использованием в качестве основного критерия глубины внедрения индентора

Также было показано, что при низком уровне твердости соотношение между числами твердости, определенными по глубине и диаметру отпечатка, зависит от модуля упругости материала.

Для разных материалов необходимы отдельные таблицы перевода чисел твердости,

Приложение Е  
(рекомендуемое)

Таблица перевода твердости металла

По Виккерсу	По Бринеллю	По Роквеллу	По Виккерсу	По Бринеллю	По Роквеллу
H	НВ <sub>3000</sub>	HRC	H	НВ <sub>3000</sub>	HRC
240	240	20,3	450	425	44,5
245	245	21,2	460	434	45,3
250	250	22,1	470	443	46,1
255	255	23	480	452	46,9
260	260	23,9	490	-	47,5
265	265	24,8	500	-	48,2
270	270	25	510	-	49,6
275	275	26,4	520	-	50,0
280	280	27,2	530	-	51,1
285	285	28	540	-	52,0
290	290	28,8	550	-	52,8
295	295	29,5	560	-	53,6
300	300	30,2	570	-	54,4
310	310	31,6	580	-	55,3
320	319	33	590	-	56,2
330	328	34,2	600	-	57,1
340	336	35,3	610	-	58,0
350	344	36,3	620	-	58,9
360	352	37,2	630	-	59,8
370	360	38,1	640	-	60,7
380	368	38,8	650	-	61,6
390	376	39,7	660	-	62,5
400	384	40,5	670	-	63,4
410	392	41,3	680	-	64,3
420	400	42,1	690	-	65,2
430	408	42,9			
440	416	43,7			

Примечание. НВ<sub>3000</sub> - при нагрузке 30Д<sup>2</sup> = 30х10<sup>2</sup> = 3000 кгс = 30 кН. Число твердости по Бринеллю соответствует давлению в кг/мм<sup>2</sup>.

Т.к. на соотношение чисел твердости при переводе могут влиять разные факторы,

такие как химический состав материала, зернистое строение, термическая обработка, способность к наклепу и т.п.

# Методика перевода чисел твердости, полученных вдавливанием разных инденторов, с использованием в качестве основного критерия глубины внедрения индентора

Также было показано, что при низком уровне твердости соотношение между числами твердости, определенными по глубине и диаметру отпечатка, зависит от модуля упругости материала.

Для разных материалов необходимы отдельные таблицы перевода чисел твердости,

Приложение Е  
(рекомендуемое)

Таблица перевода твердости металлов

По Виккерсу	По Бринеллю	По Роквеллу	По Виккерсу	По Бринеллю	По Роквеллу
H	HB <sub>3000</sub>	HRC	H	HB <sub>3000</sub>	HRC
240	240	20,3	450	425	44,5
245	245	21,2	460	434	45,3
250	250	22,1	470	443	46,1
255	255	23	480	452	46,9
260	260	23,9	490	-	47,5
265	265	24,8	500	-	48,2
270	270	25	520	-	49,6
275	275	25,4	560	-	52,0
280	280	27,2	580	-	53,1
285	285	28	600	-	54,2
290	290	28,8	620	-	55,4
295	295	29,5	640	-	56,5
300	300	30,2	680	-	57,6
310	310	31,6	680	-	58,4
320	319	33	700	-	59,3
330	328	34,2	720	-	60,2
340	336	35,3	740	-	61,1
350	344	36,3	760	-	62
360	352	37,2	780	-	62,8
370	360	38,1	800	-	63,6
380	368	38,8	820	-	64,3
390	376	39,7	840	-	65,1
400	384	40,5	860	-	65,9
410	392	41,3	880	-	66,4
420	400	42,1	900	-	67
430	408	42,9			
440	416	43,7			

Примечание. HB<sub>3000</sub> - при нагрузке 30Д<sup>2</sup> = 30x10<sup>2</sup> = 3000 кгс = 30 кН. Число твердости по Бринеллю соответствует давлению в кг/мм<sup>2</sup>.

т.к. на соотношение чисел твердости при переводе могут влиять разные факторы,

такие как химический состав материала, зернистое строение, термическая обработка, способность к наклепу и т.п.

# Методика перевода чисел твердости, полученных вдавливанием разных инденторов, с использованием в качестве основного критерия глубины внедрения индентора

В стандарте ISO E 140-07 по переводу чисел твердости отмечено, что для железных и нежелезных металлов мягче 240 НВ одна таблица соотношений чисел твердости неизбежно приводит к большим ошибкам вследствие значительного различия в степени деформации перед испытанием, а также степени наклепа в процессе самого испытания.

Эта зависимость от степени наклепа может быть продемонстрирована с помощью шкал Роквелла 15-T, 30-T, 45-T, F и В,

Приложение Е  
Спецификация

Таблица перевода твердости металла

По Роквеллу H	По Бринеллю HB	По Роквеллу HRC	По Роквеллу HV	По Бринеллю HBS	По Роквеллу HRC
240	240	20,3	450	475	44,8
245	245	21,2	460	480	45,3
250	250	22,1	470	485	45,8
255	255	23	480	490	46,3
260	260	23,8	490	-	47,0
265	265	24,6	500	-	47,5
270	270	25,5	510	-	48,0
275	275	26,4	520	-	48,5
280	280	27,2	530	-	49,0
285	285	28	540	-	49,5
290	290	28,8	550	-	50,0
295	295	29,6	560	-	50,5
300	300	30,5	570	-	51,0
310	310	31,6	580	-	51,5
320	319	33	700	-	53,3
330	328	34,2	720	-	55,2
340	336	35,5	740	-	57,1
350	344	36,3	750	-	57,9
360	352	37,2	760	-	58,8
370	360	38,1	800	-	61,6
380	368	39,0	810	-	62,5
390	376	40,2	840	-	65,1
400	384	41,2	850	-	65,9
410	392	41,9	860	-	66,6
420	400	42,1	900	-	67
430	408	42,6	-	-	-
440	416	43,2	-	-	-

Примечание: Иллюстрация при нагрузке 3002 ± 30x10<sup>2</sup> и 3000 кгс и 30 мН. Число твердости по Бринеллю соответствует дважды в кг/мм<sup>2</sup>.

В которых нагрузка изменяется от 15 до 100 кгс и прилагается к шарикам Ø 1,588 мм.

Например, отожженное железо и холоднокатаный алюминиевый сплав могут иметь твердость 71 и 72 HR-15T соответственно, т.е. почти одинаковую.

# Методика перевода чисел твердости, полученных вдавливанием разных инденторов, с использованием в качестве основного критерия глубины внедрения индентора

В то же время твердость по шкале В для этих материалов составляет соответственно 31HRB и 7HRB.

Это объясняется тем, что при увеличении нагрузки более высокие напряжения увеличивают твердость на величину,

которая зависит от способности металла к наклепу.

Приложение Е  
(рекомендуемое)

Таблица перевода твердости металлов

По Виккерсу	По Бринеллю	По Роквеллу	По Виккерсу	По Бринеллю	По Роквеллу
H	НВ <sub>3000</sub>	HRC	H	НВ <sub>3000</sub>	HRC
240	240	20,3	450	425	44,5
245	245	21,2	460	434	45,3
250	250	22,1	470	443	46,1
255	255	23	480	452	46,8
260	260	23,9	490	-	47,5
265	265	24,8	500	-	48,2
270	270	25	520	-	49,6
275	275	26,4	560	-	52,0
280	280	27,2	580	-	53,1
285	285	28	600	-	54,2
290	290	28,8	620	-	55,4
295	295	29,5	640	-	56,5
300	300	30,2	680	-	57,5
310	310	31,6	680	-	58,4
320	319	33	700	-	59,3
330	328	34,2	720	-	60,2
340	336	35,3	740	-	61,1
350	344	36,3	760	-	62
360	352	37,2	780	-	62,8
370	360	38,1	800	-	63,6
380	368	39,8	820	-	64,3
390	376	39,7	840	-	65,1
400	384	40,5	860	-	65,8
410	392	41,3	880	-	66,4
420	400	42,1	900	-	67
430	408	42,9			
440	416	43,7			

Примечание. НВ<sub>3000</sub> - при нагрузке 30Н = 30x10<sup>2</sup> = 3000 кгс = 30 кН. Число твердости по Бринеллю соответствует давлению в кг/мм<sup>2</sup>.

Отожженный металл с высокой способностью к наклепу будет упрочняться намного больше в процессе испытания, чем наклепанный металл.

# Методика перевода чисел твердости, полученных вдавливанием разных инденторов, с использованием в качестве основного критерия глубины внедрения индентора

В стандарте Е140-07 отмечается, что перевод чисел твердости по приведенным в нем таблицам или при расчетах по уравнениям является приблизительным и должен использоваться только тогда, когда невозможно испытать материал при оговоренных условиях.

Использование объединяющего и характерного для каждого метода параметра испытания позволило бы осуществить



физически обоснованный перевод чисел твердости, полученных вдавливанием разных инденторов.

Таким параметром может быть диаграмма индентирования при непрерывном вдавливании индентора.

# Методика перевода чисел твердости, полученных вдавливанием разных инденторов, с использованием в качестве основного критерия глубины внедрения индентора

Было установлено, что зависимость твердости от нагрузки вызвана не тем, что свойства материала зависят от величины нагрузки на индентор, а тем, что с нагрузкой изменяются условия испытаний (изменяется вид контакта и скорость деформации в контакте).

Следовательно, разные материалы необходимо сравнивать не при одинаковой нагрузке на индентор,



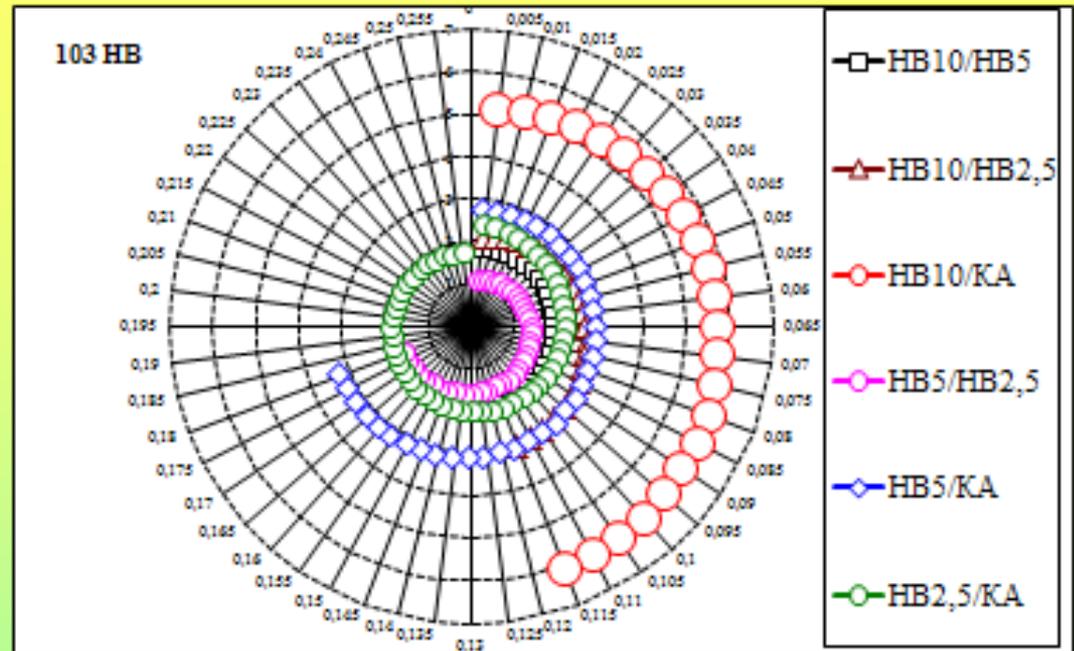
а при одной и той же глубине отпечатка, чтобы влияние таких факторов, как вершины индентора и скорости деформации на результаты испытаний было одинаковым.

Поэтому в качестве критерия для пересчета чисел твердости, полученных разными методами, нами была принята глубина внедрения индентора  $h$ .

# Методика перевода чисел твердости, полученных вдавливанием разных инденторов, с использованием в качестве основного критерия глубины внедрения индентора

Для пересчета чисел твердости, полученных при вдавливании разных инденторов, использовался коэффициент формы пар инденторов (7.6), представляющий собой отношение нагрузок двух инденторов разной геометрии, необходимых для получения одинаковой глубины внедрения  $h$

На основании кривых индентирования для инденторов разной геометрии были построены диаграммы зависимости  $K_f$  для разных пар инденторов и сталей разной твердости.



# Методика перевода чисел твердости, полученных вдавливанием разных инденторов, с использованием в качестве основного критерия глубины внедрения индентора

Следует отметить, что средний коэффициент формы пар инденторов  $K_{ф.ср.}$  и коэффициенты формы для наименьшей и наибольшей достигнутой глубины внедрения ( $K_{ф1}$  и  $K_{ф2}$  соответственно) при пересчете чисел твердости не используется.

Эти коэффициенты имеют теоретический интерес и были применены для



более глубокого изучения процессов вдавливания инденторов разной геометрии в испытываемую поверхность с разной твердостью.

Для пересчета чисел твердости используется  $K_{ф}$  для какой-то определенной глубины внедрения индентора  $h$ .

# Методика перевода чисел твердости, полученных вдавливанием разных инденторов, с использованием в качестве основного критерия глубины внедрения индентора

Зная нагрузку  $F_1$  и глубину внедрения для индентора №1 (а, следовательно, и твердость, которую можно посчитать по соответствующей формуле), можно определить коэффициент формы  $K_\phi$  данной пары инденторов №1 и №2 по соответствующей диаграмме.

Затем по формуле  $F_2(h) = \frac{F_1(h)}{K_\phi}$  находят нагрузку  $F_2$  для индентора №2

$$F_2(h) = \frac{F_1(h)}{K_\phi} \cdot$$

Зная  $F_2$  и  $h$  для индентора №2, по соответствующей формуле определяют твердость.

Воспользовавшись необходимыми формулами, можно составить таблицы пересчета чисел твердости для инденторов разной геометрии.

# Методика перевода чисел твердости, полученных вдавливанием разных инденторов, с использованием в качестве основного критерия глубины внедрения индентора

Следует иметь в виду, что в настоящей работе приведены данные для перевода чисел твердости для образцов с твердостью 103, 187 и 411 НВ. Именно такую твердость имеют образцовые меры для прибора Бринелля.

В принципе можно построить диаграммы для большего количества значений твердости и переводить числа твердости,

$$F_2(h) = \frac{F_1(h)}{K_{\phi}}$$

используя диаграмму для наиболее близкого значения твердости.

Перевод может быть осуществлен для всех видов инденторов, в том числе шариков разного диаметра, алмазного конуса, алмазной пирамиды Виккерса.

# Выводы

1) Для перевода чисел твердости, полученных непрерывным индентированием разными инденторами, целесообразно использовать коэффициент формы пар инденторов  $K_{\phi}$ , представляющий собой отношение нагрузок для двух инденторов разной геометрии, требуемых для получения одинаковой глубины внедрения индентора  $h$ ,

$$K_{\phi} = \frac{F_1(h)}{F_2(h)}$$

2) Для анализа процессов, происходящих при вдавливании инденторов разной формы, имеет смысл использовать коэффициенты формы пар инденторов для минимальной и максимальной достигнутых глубин внедрения ( $K_{\phi 1}$  и  $K_{\phi 2}$  соответственно), а также среднее значение этих коэффициентов

$$K_{\phi.ср} = \frac{K_{\phi 2} - K_{\phi 1}}{2}.$$

3) Различия в характере изменения  $K_{\phi.ср}$  разных пар инденторов с повышением твердости связаны с неодинаковой степенью снижения коэффициента трения с испытуемым материалом инденторов разной геометрии.

# Выводы

4) Разный характер зависимости от глубины внедрения  $K_{\phi}$  разных пар инденторов обусловлен неодинаковой степенью роста коэффициента трения при увеличении степени деформации.

5) Диаграмма зависимости  $K_{\phi}$  от глубины внедрения  $h$  для разных пар инденторов позволяет, зная нагрузку и глубину внедрения для одного индентора (а следовательно, и твердость), найти нагрузку для получения такой же глубины внедрения для другого индентора и по соответствующей формуле рассчитать твердость.

6) Предложенная методика перевода чисел твердости с использованием кривых индентирования позволяет получить достаточно точные и физически обоснованные числа твердости. Сравнение чисел твердости, полученных разными методами, производится при одинаковой глубине вдавливания, что исключает различия в условиях испытаний.

# Список литературы к лекции 32

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) ISO 14577-1:2002. Metallic materials — Instrumented indentation test for hardness and materials parameters — Part 1: Test method



# Контрольные вопросы

1. Какой параметр является общим для всех методов определения твёрдости?
2. Что такое коэффициент формы пар инденторов?
3. В чём суть разработанной методики перевода чисел твёрдости?

# **Задания для самостоятельной работы**

1. Проанализировать достоинства и недостатки разработанной методики перевода чисел твёрдости.



# Кафедра технології металлов и матеріалознавства

**Лалазарова Наталія Алексеевна**

**E-mail: [lalaz1991@mail.ru](mailto:lalaz1991@mail.ru)**

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

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

