



«Новые методы определения твёрдости материалов»

Лекция 29

Lec_29_metod_opr_tverd_3MC_LNA_08_12_2015

**Сравнение чисел
твёрдости, полученных
разными методами**

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

Содержание

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

★ Список литературы к лекции 29

★ Контрольные вопросы

★ Задания для самостоятельной работы



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

Для сравнения чисел твердости, полученных при использовании разных инденторов при непрерывном индентировании, целесообразно применить коэффициент формы пар инденторов:

где K_{ϕ} – коэффициент формы пар инденторов;

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

$F_1(h)$ – функция зависимости нагрузки от глубины внедрения для индентора №1;

$F_2(h)$ – функция зависимости нагрузки от глубины внедрения для индентора № 2.

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

В табл. приведены формулы для определения коэффициента формы разных пар инденторов в зависимости от глубины внедрения h для стали разной твердости.

Обозначение пары инденторов	Мера твердости		
	103 HB (№1)	187 HB (№2)	411 HB (№3)
	Формула для определения коэффициента формы пары инденторов		
10HB/5HB	$1,1974h+1,8627$	$-2,66h+2,6015$	$6,1008h+1,4717$
10HB/2,5HB	$8,2447h+2,1043$	$5,6734h+2,4314$	$15,82h+0,9966$
10HB/KA	$9,1394h+5,1232$	$12,57h+4,5313$	$-236,22h^2 + 41,353h + 2,8028$
10HB/HV	$10,853h+4,9928$	$292,87h^2 - 56,614h + 8,074$	$-281,85h^2 + 40,259h + 7,5157$
5HB/2,5HB	$3,1453h+1,1498$	$2,7723h+0,9602$	$5,3892h+0,7184$
5HB/HV	$3,2695h+2,7138$	$44,526h^2 - 12,604h + 2,9932$	$54,973h^2 - 10,153h + 5,3097$
5HB/KA	$2,4639h+2,7779$	$5,9399h+1,7916$	$-76,055h^2 + 11,425h + 1,4052$
2,5HB/HV	$-2,178h+2,3137$	$53,866h^2 - 18,918h + 3,1019$	$54,973h^2 - 10,153h + 5,3097$
2,5HB/KA	$-24742h+2,341$	$0,4726h+1,876$	$82,668h^2 - 16,24h + 2,9762$
KA/HV	$0,2458h+0,9796$	$27,808h^2 - 10,143h + 1,6482$	$47,739h^2 - 11,774h + 2,5537$

Зависимость коэффициента формы пар инденторов от глубины внедрения

Обозначение пары инденторов	Мера твердости		
	103 НВ (№1)	187 НВ (№2)	411 НВ (№3)
	Формула для определения коэффициента формы пары инденторов		
10НВ/5НВ	$1,1974h+1,8627$	$-2,66h+2,6015$	$6,1008h+1,4717$
10НВ/2,5НВ	$8,2447h+2,1043$	$5,6734h+2,4314$	$15,82h+0,9966$
10НВ/КА	$9,1394h+5,1232$	$12,57h+4,5313$	$-236,22h^2 + 41,353h + 2,8028$
10НВ/НВ	$10,853h+4,9928$	$292,87h^2 - 56,614h + 8,074$	$-281,85h^2 + 40,259h + 7,5157$
5НВ/2,5НВ	$3,1453h+1,1498$	$2,7723h+0,9602$	$5,3892h+0,7184$
5НВ/НВ	$3,2695h+2,7138$	$44,526h^2 - 12,604h + 2,9932$	$54,973h^2 - 10,153h + 5,3097$
5НВ/КА	$2,4639h+2,7779$	$5,9399h+1,7916$	$-76,055h^2 + 11,425h + 1,4052$
2,5НВ/НВ	$-2,178h+2,3137$	$53,866h^2 - 18,918h + 3,1019$	$54,973h^2 - 10,153h + 5,3097$
2,5НВ/КА	$-24742h+2,341$	$0,4726h+1,876$	$82,668h^2 - 16,24h + 2,9762$
КА/НВ	$0,2458h+0,9796$	$27,808h^2 - 10,143h + 1,6482$	$47,739h^2 - 11,774h + 2,5537$

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

На рис. приведены диаграммы зависимости коэффициентов формы разных пар инденторов от глубины внедрения для стали низкой твердости (образец №1).

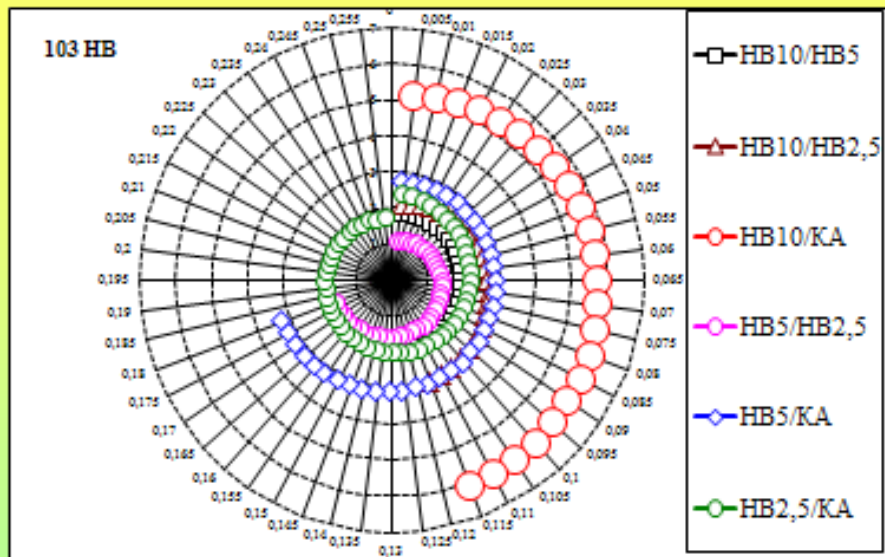


Диаграмма зависимости коэффициентов формы пар инденторов (шарики $\varnothing 10$; $\varnothing 5$; $\varnothing 2,5$ мм, алмазный конус с углом при вершине 120°) от глубины внедрения для стали низкой твердости (103 HB)

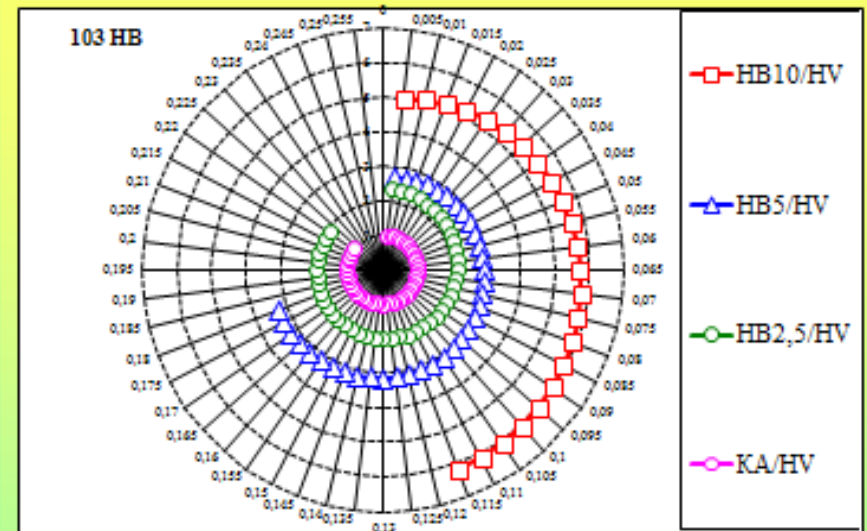


Диаграмма зависимости коэффициентов формы пар инденторов (шарики $\varnothing 10$; $\varnothing 5$; $\varnothing 2,5$ мм, алмазный конус с углом при вершине 120° , пирамида Виккерса) от глубины внедрения для стали низкой твердости 103 HB

103 HB

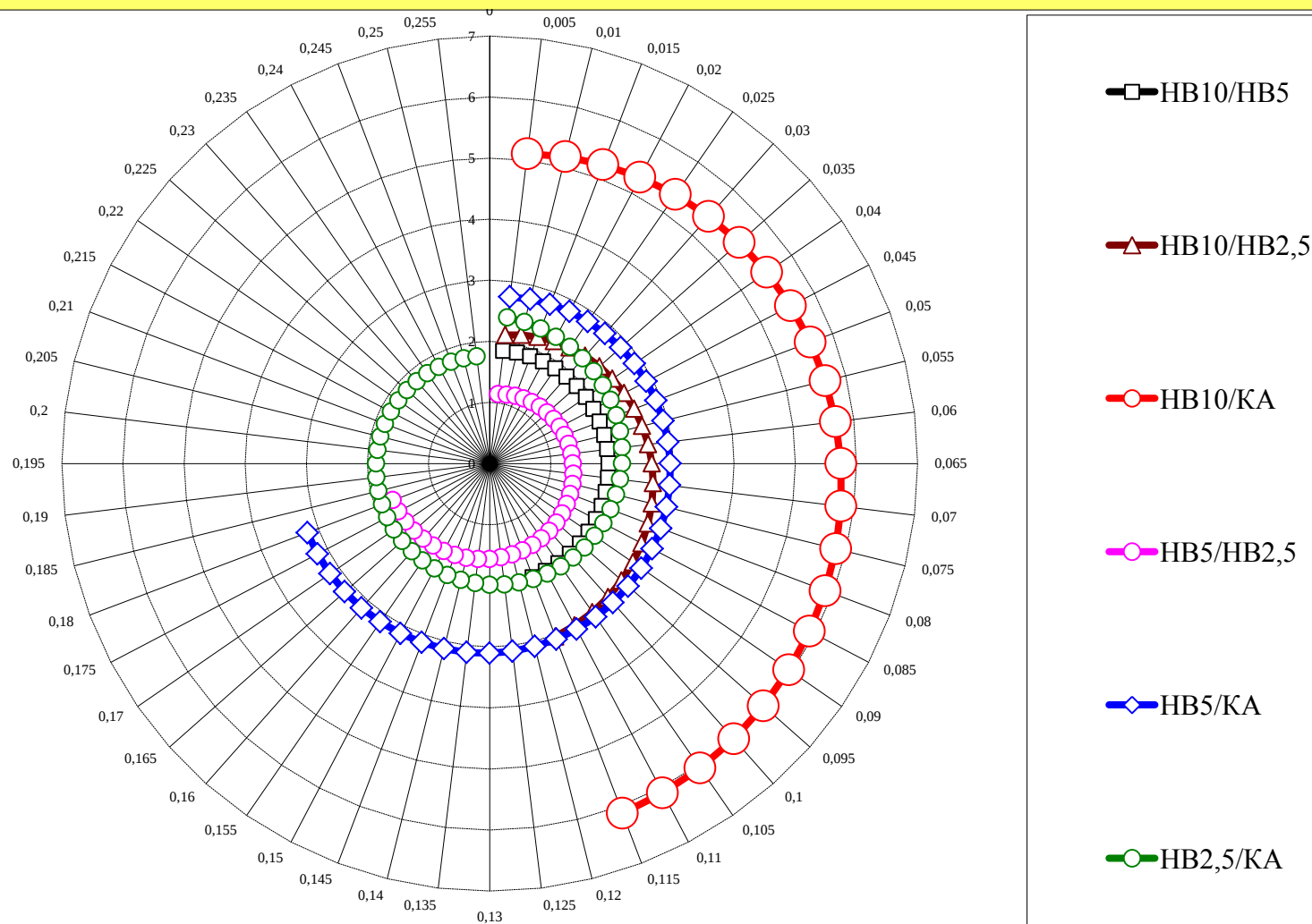


Диаграмма зависимости коэффициентов формы пар инденторов (шарики $\varnothing 10$; $\varnothing 5$; $\varnothing 2,5$ мм, алмазный конус с углом при вершине 120°) от глубины внедрения для стали низкой твердости (103 HB)

103 HB

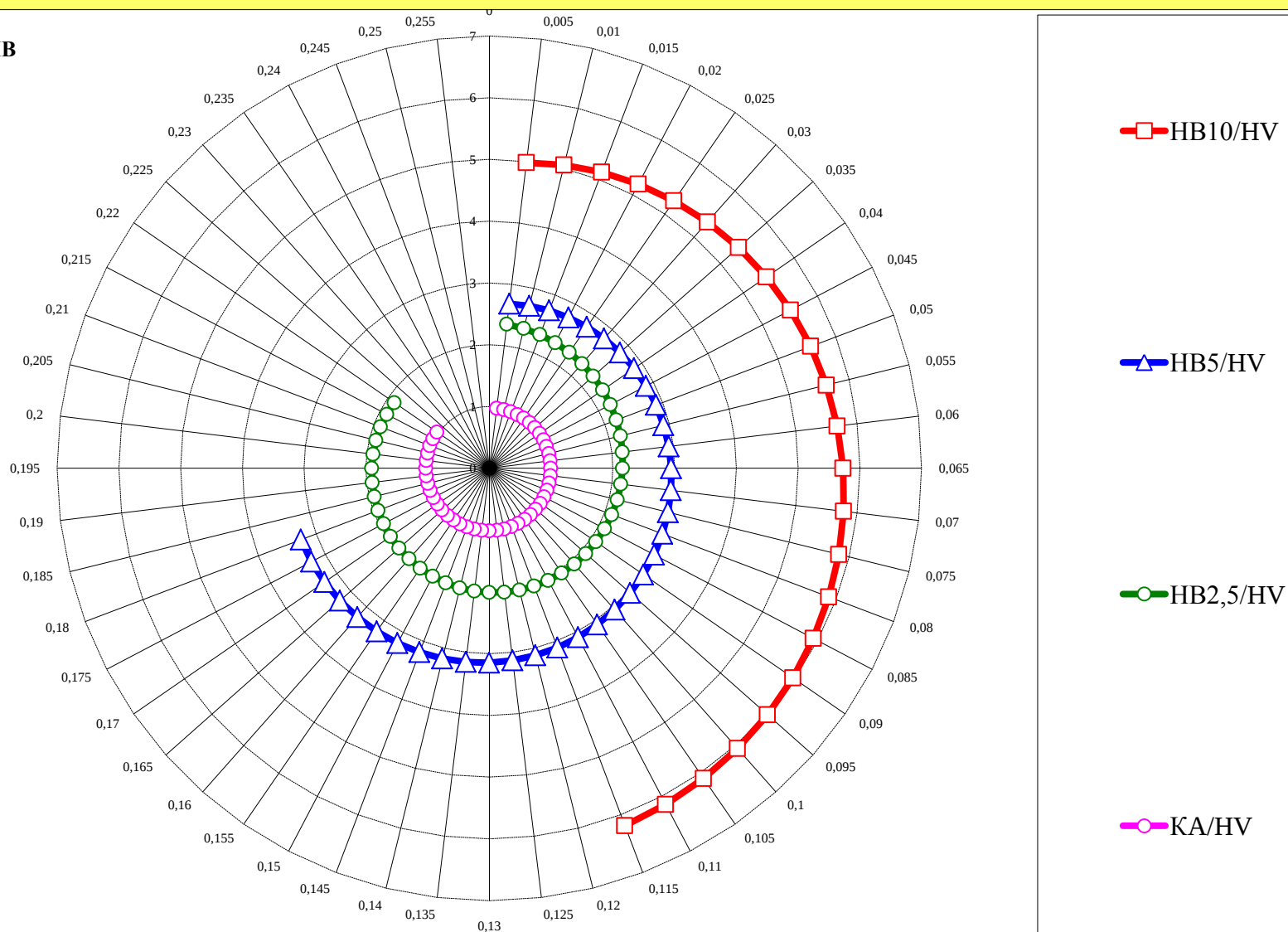
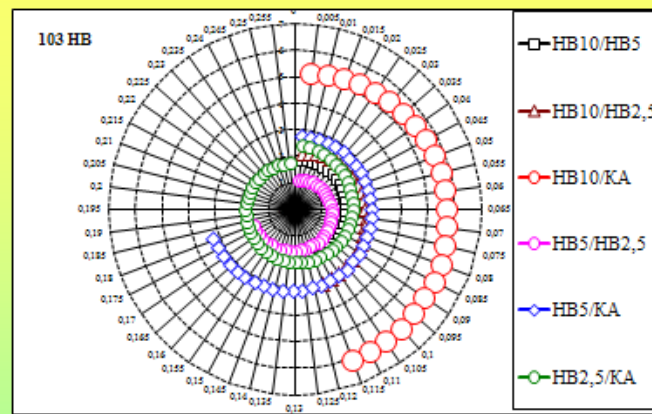


Диаграмма зависимости коэффициентов формы пар инденторов (шарики $\varnothing 10$; $\varnothing 5$; $\varnothing 2,5$ мм, алмазный конус с углом при вершине 120° , пирамида Виккерса) от глубины внедрения для стали низкой твердости 103 HB

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

Графики зависимости K_{ϕ} от h нанесены на координатную сетку, состоящую из концентрических окружностей и радиусов. Каждый радиус соответствует определенной глубине внедрения индентора, которая увеличивается по часовой стрелке.

Каждая окружность характеризует уровень коэффициента K_{ϕ} , указанного цифрами в верхней части диаграммы.



Следует отметить, что в целях сокращения времени испытаний не были получены максимально

достижимые глубины внедрения разных инденторов в исследуемом диапазоне нагрузок.

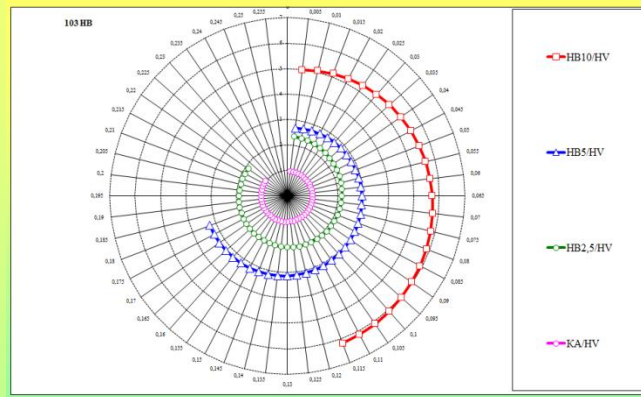
Влияние формы индентора на зависимость «нагрузка–глубина внедрения» для стали низкой твердости (образец № 1)

Из диаграмм на рис. следует, что K_{ϕ} зависит от глубины внедрения индентора.

Для каждой пары инденторов целесообразно фиксировать величину коэффициента формы,

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

соответствующую минимальной регистрируемой глубине внедрения $K_{\phi 1}$, коэффициент формы, отвечающий максимальной полученной глубине $K_{\phi 2}$, и среднее значение $K_{\phi.\text{ср}}$



В табл. приведены значения $K_{\phi_{\text{ср}}}$ и $K_{\phi 2} - K_{\phi 1}$ для различных пар инденторов и стали разной твердости.

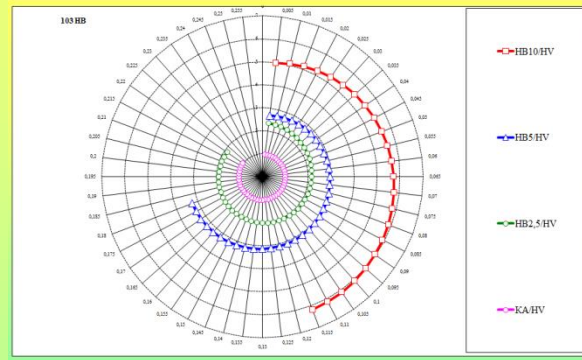
Значения $K_{\phi_{cp}}$ и $K_{\phi 2} - K_{\phi 1}$ для различных пар инденторов и стали разной твердости

Пара инденторов	Твердость HB					
	103(№1)		187 (№2)		411(№3)	
	$K_{\phi_{cp}}$	$K_{\phi 2} - K_{\phi 1}$	$K_{\phi_{cp}}$	$K_{\phi 2} - K_{\phi 1}$	$K_{\phi_{cp}}$	$K_{\phi 2} - K_{\phi 1}$
HB5/HB2,5	1,5	0,5	1,2	0,4	0,9	0,5
HB10/HB5	1,9	0,2	2,5	-0,3	1,6	0,2
HB10/HB2,5	2,6	0,9	2,7	0,6	1,5	1,0
HB2,5/КА	2,1	-0,6	1,9	0,2	2,6	-0,7
HB5/КА	3,0	0,5	2,1	0,8	2,3	0,6
HB10/КА	5,6	1,0	5,1	1,2	3,8	1,6
HB2,5/HV	2,2	-0,4	2,3	-1,9	5,9	-3,2
HB5/HV	3,0	0,7	2,5	-1,0	5,1	-0,3
HB10/HV	5,6	1,2	6,7	-2,7	8,4	1,3
КА/HV	1	0	1,1	-1,1	2,1	-0,9

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

Из диаграмм на рис. следует, что K_{ϕ} зависит от глубины внедрения индентора.

Для каждой пары инденторов целесообразно фиксировать величину коэффициента формы,



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

соответствующую минимальной регистрируемой глубине внедрения $K_{\phi 1}$, коэффициент формы, отвечающий максимальной полученной глубине $K_{\phi 2}$, и среднее значение $K_{\phi_{cp}}$

В табл. приведены значения $K_{\phi_{cp}}$ и $K_{\phi 2} - K_{\phi 1}$ для различных пар инденторов и стали разной твердости.

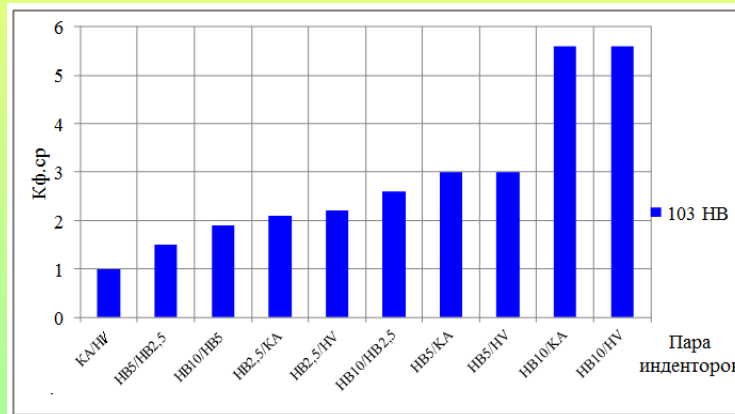
**Значения $K_{\phi_{cp}}$ и $K_{\phi2}-K_{\phi1}$ для различных пар инденторов и стали
разной твердости**

Пара инденторов	Твердость HB					
	103(№1)		187 (№2)		411(№3)	
	$K_{\phi_{cp}}$	$K_{\phi2}-K_{\phi1}$	$K_{\phi_{cp}}$	$K_{\phi2}-K_{\phi1}$	$K_{\phi_{cp}}$	$K_{\phi2}-K_{\phi1}$
HB5/HB2,5	1,5	0,5	1,2	0,4	0,9	0,5
HB10/HB5	1,9	0,2	2,5	-0,3	1,6	0,2
HB10/HB2,5	2,6	0,9	2,7	0,6	1,5	1,0
HB2,5/КА	2,1	-0,6	1,9	0,2	2,6	-0,7
HB5/КА	3,0	0,5	2,1	0,8	2,3	0,6
HB10/КА	5,6	1,0	5,1	1,2	3,8	1,6
HB2,5/HV	2,2	-0,4	2,3	-1,9	5,9	-3,2
HB5/HV	3,0	0,7	2,5	-1,0	5,1	-0,3
HB10/HV	5,6	1,2	6,7	-2,7	8,4	1,3
КА/HV	1	0	1,1	-1,1	2,1	-0,9

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

Наименьший $K_{\phi_{\text{ср}}}$, равный 1, имеет место для пары инденторов КА/HV, причем он не зависит от глубины внедрения индентора,

поскольку кривые $F - h$ для конуса и пирамиды Виккерса практически совпадают, т.е. «острота» инденторов одинакова.



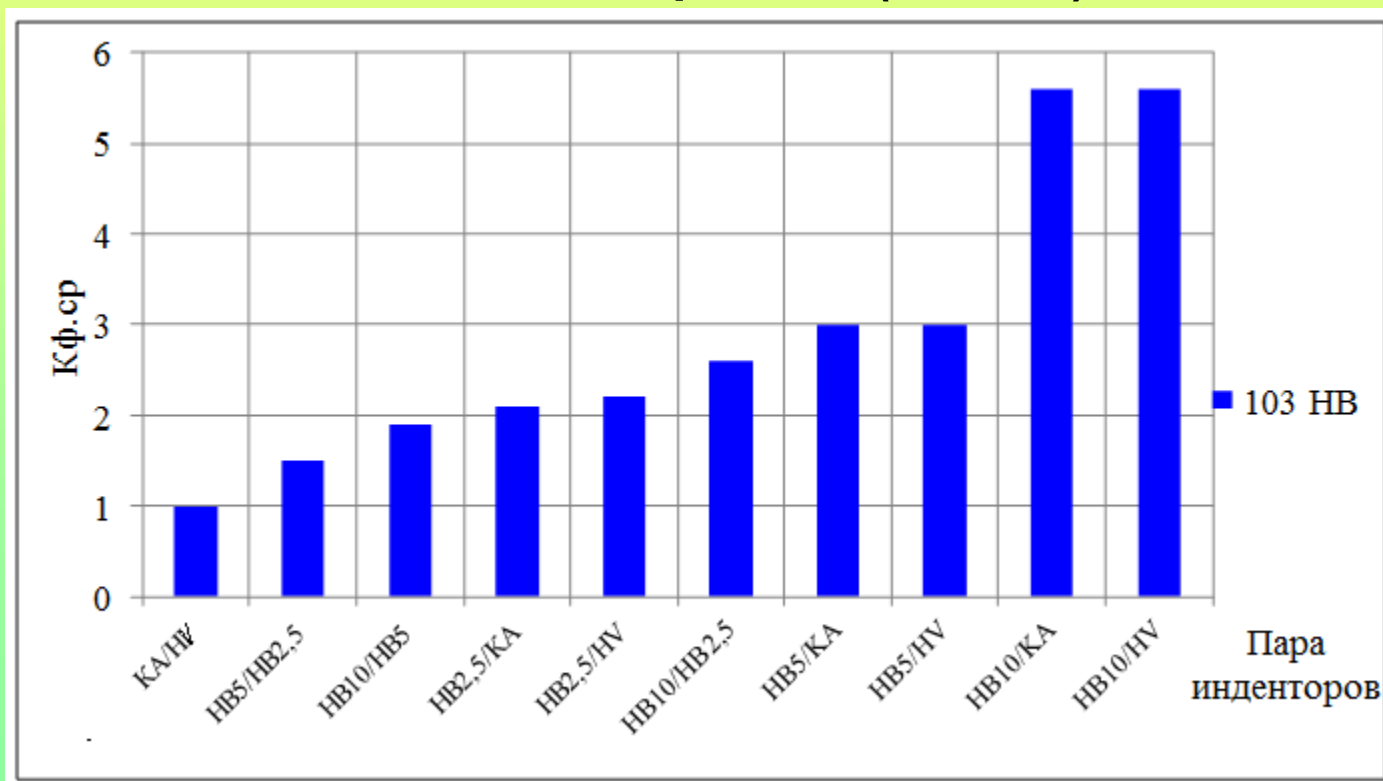
С увеличением разницы в «остроте» инденторов других пар $K_{\phi_{\text{ср}}}$ возрастает и достигает

максимального значения 5,6 для пары инденторов HB10/КА и HB10/HV (рис.).

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

На рис. представлена диаграмма, иллюстрирующая величину $K_{\phi_{cp}}$ для разных пар инденторов для образца №1.

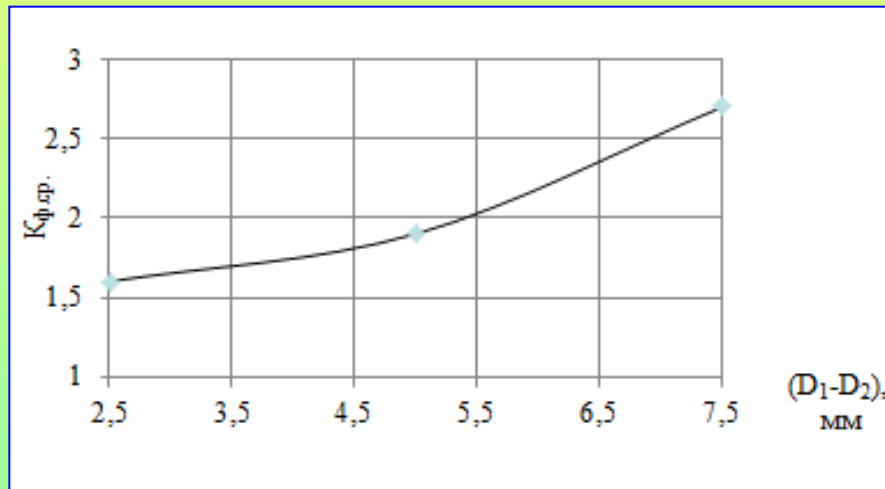
Средний коэффициент формы разных пар инденторов $K_{\phi_{cp}}$ для стали низкой твердости (103 HB)



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

Для пар инденторов, включающих шарики разного диаметра (HBD_1/HBD_2), чем больше разница в диаметре шариков ($D_1 - D_2$), тем больше $K_{\phi_{cp}}$, т.к. для получения одинаковой глубины внедрения индентора шарик большего диаметра является более «тупым» и требует применения большего усилия.

При этом для всех пар сферических инденторов величина $K_{\phi_{cp}}$ невелика



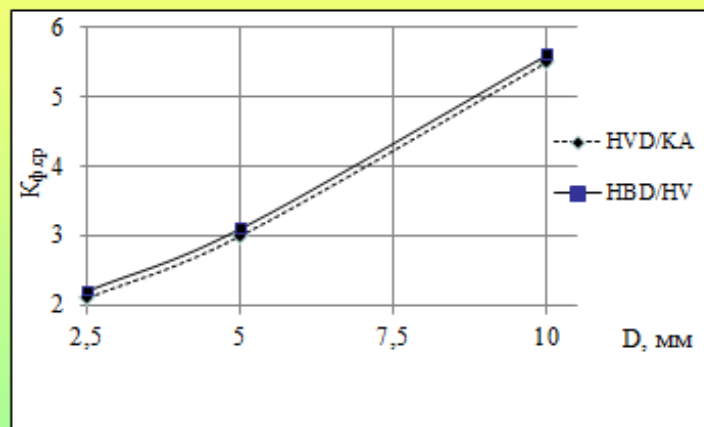
и колеблется от 1,5 для пары HB5/HB2,5 до 2,6 для пары HB10/HB2,5.

Зависимость $K_{\phi_{cp}}$ разных пар сферических инденторов (HBD_1/HBD_2) от разности диаметров шариков в паре ($D_1 - D_2$) для стали низкой твердости (103 HB)

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

Для пар инденторов с шариками разного диаметра и остроконечными инденторами разница «остроты» инденторов в паре еще больше увеличивается, что приводит к существенному увеличению $K_{\phi_{\text{ср}}}$, который растет тем интенсивнее, чем больше диаметр шарика в паре.

Для двух пар инденторов с одинаковым диаметром шарика и разными остроконечными инденторами (конусом и пирамидой) $K_{\phi_{\text{ср}}}$ будет одинаковым.

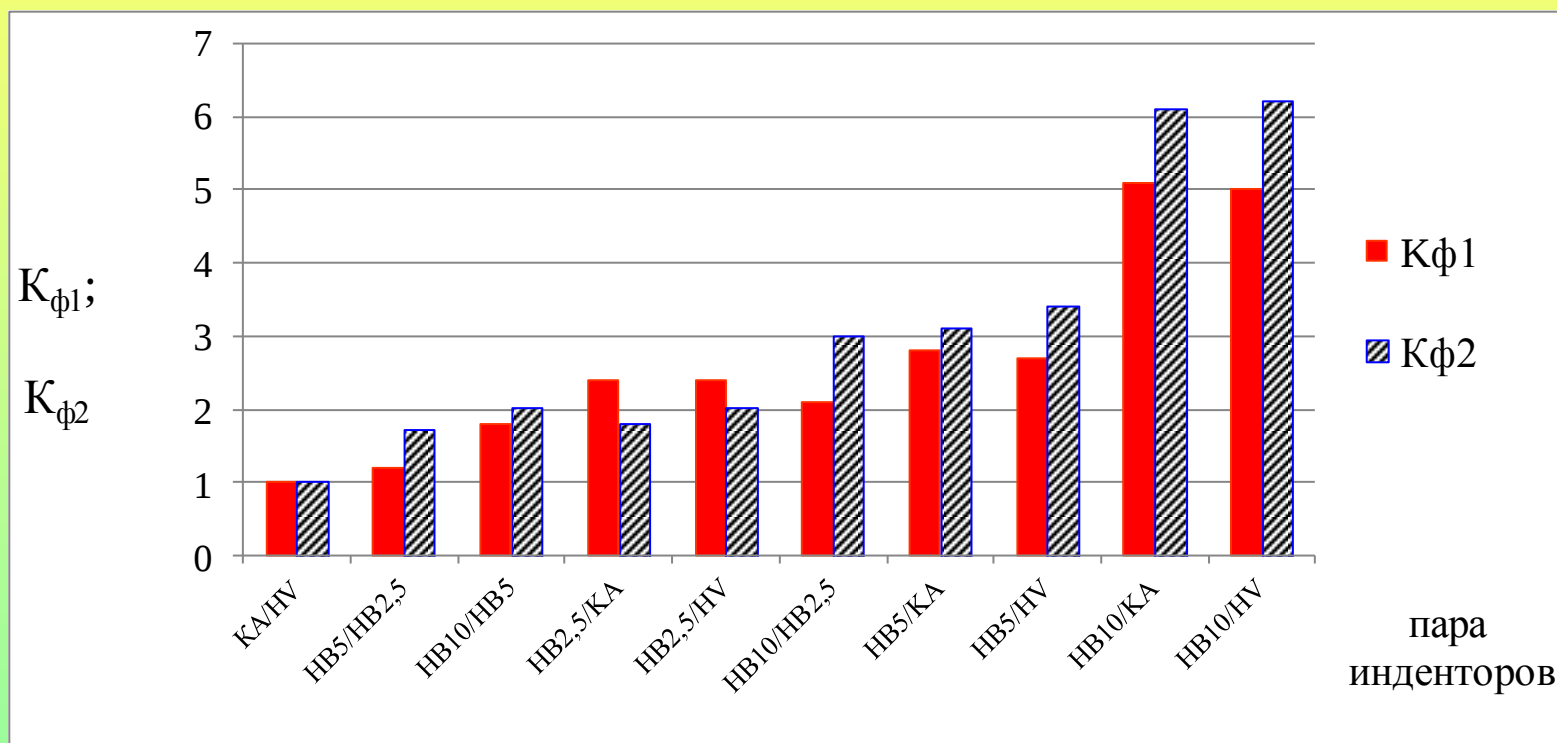


Максимальный $K_{\phi_{\text{ср}}}$ имеет место для пар HB10/KA и HB10/HV и составляет 5,6.

Зависимость $K_{\phi_{\text{ср}}}$ разных пар инденторов, включающих шарик и конус (HBD/KA) или шарик и пирамиду (HBD/HV), от диаметра шарика для стали низкой твердости (103 HB)

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

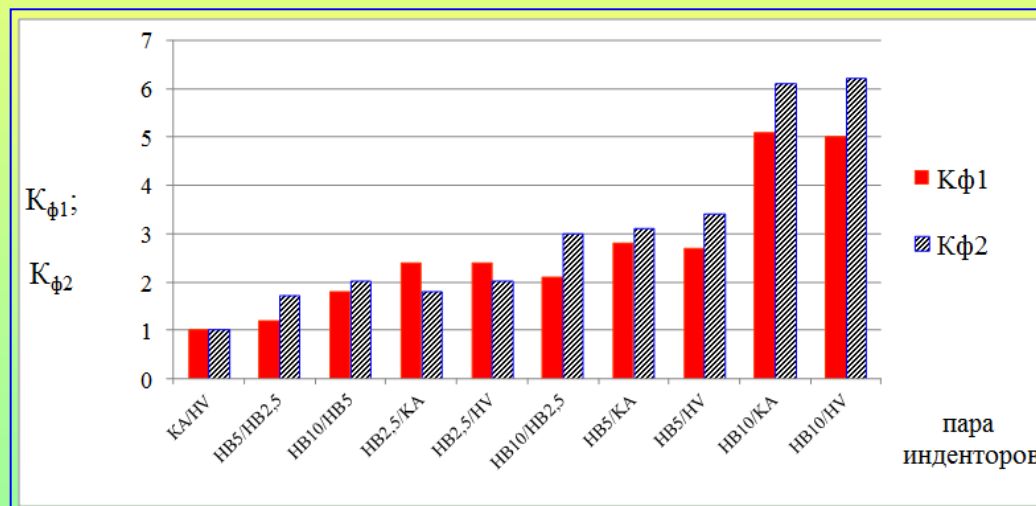
На рис. приведены коэффициенты формы разных пар инденторов для минимальной ($K_{\phi 1}$) и максимальной ($K_{\phi 2}$) глубины внедрения.



Коэффициент формы разных пар инденторов при минимальной и максимальной глубине внедрения индентора ($K_{\phi 1}$ и $K_{\phi 2}$ соответственно) для стали низкой твердости (103 HB)

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

Из рисунка видно, что для всех пар инденторов, кроме HB2,5/KA и HB2,5/HV при увеличении глубины внедрения коэффициент формы увеличивается ($K_{\phi 2} > K_{\phi 1}$). Это увеличение различно для разных пар инденторов и колеблется от 0,2 мм для пары HB10/HB5 до 1,2 для пары HB10/HV.



Для пар инденторов HB2,5/ KA и HB2,5/ HV наблюдается уменьшение K_{ϕ} при увеличении глубины внедрения (на 0,6 и на 0,4 соответственно), т.е. $(K_{\phi 2} - K_{\phi 1}) < 0$. При этом в формуле для подсчета K_{ϕ} коэффициент при h для этих пар инденторов является отрицательным (табл.).

Список литературы к лекции 29

- 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) Что такое коэффициент формы пар инденторов?

2) От чего зависит коэффициент формы пар индентора?

3) Как изменяется коэффициент формы в зависимости от глубины для различных инденторов для мягкой стали?



Задания для самостоятельной работы

1. Изучить по литературным источникам принципы создания различных таблиц, диаграмм 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

