МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Омский государственный технический университет»

ИЗМЕРЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МАТЕРИАЛОВ

Учебное текстовое электронное издание
локального распространения

Омск
Издательство ОмГТУ
2017

Сведения об издании: 1, 2

© ОмГТУ, 2017

Составитель *А. А. Теплоухов* – канд. техн. наук, доцент кафедры физики

Измерение микротвердости поверхностных слоев материалов : метод. указания / Минобрнауки России, ОмГТУ ; [сост. А. А. Теплоухов]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2017.

Методические указания к лабораторному практикуму по курсу «Физические основы синтеза наноматериалов» содержат основной теоретический материал по изучаемым темам, рекомендации по выполнению лабораторных работ, контрольные вопросы.

Предназначены для магистрантов радиотехнического факультета, обучающихся по специальностям 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов», 28.04.02 «Наноинженерия».

Рекомендовано редакционно-издательским советом
Омского государственного технического университета

© ОмГТУ, 2017

1 электронный оптический диск

Оригинал-макет издания выполнен в Microsoft Office Word 2007/2010
с использованием возможностей Adobe Acrobat Reader.

Минимальные системные требования:

- процессор Intel Pentium 1,3 ГГц и выше;
- оперативная память 256 Мб и более;
- свободное место на жестком диске 260 Мб и более;
- операционная система Microsoft Windows XP/Vista/7/10;
- разрешение экрана 1024×768 и выше;
- акустическая система не требуется;
- дополнительные программные средства Adobe Acrobat Reader 5.0 и выше.

Редактор *Е. В. Осикина*
Компьютерная верстка *О. Г. Белименко*

Сводный темплан 2017 г.
Подписано к использованию 04.09.17.
Объем 0,89 Мб.

Издательство ОмГТУ.
644050, г. Омск, пр. Мира, 11; т. 23-02-12
Эл. почта: info@omgtu.ru

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания к лабораторным работам ориентированы на обеспечение качества подготовки магистрантов, обучающихся в техническом вузе, соответствующего требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования. Состоят из трех лабораторных работ с теоретическим материалом и практической частью, необходимых при подготовке магистров специальностей 28.04.02 «Наноинженерия» и 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов».

Для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Физические основы синтеза наноматериалов» необходимо усвоить теоретический материал курса, а также использовать знания, полученные при изучении дисциплин: «Основы научных исследований», «Физические основы современных методов исследования материалов».

Перед каждой лабораторной работой студенты самостоятельно готовятся по методическим указаниям к той работе, которая определена в табл. П.1 приложения 1.

В приложении 2 приведены формы титульных листов отчетов по лабораторным работам.

Для получения допуска на выполнение лабораторной работы студенту необходимо ответить на вопросы преподавателя по целям, задачам методике работы, используемым приборам и оборудованию, а также рассказать ход выполнения работы и предъявить заготовку отчета по лабораторной работе согласно приложению 3.

До лабораторной работы студенты не допускаются в случаях неготовности или несдачи отчета по предыдущей лабораторной работе.

Перед началом выполнения работ со студентами проводится инструктаж по технике безопасности по соответствующим инструкциям.

Выполнив измерительную часть лабораторной работы, студенты показывают преподавателю результаты своих измерений, убирают рабочее место, раскладывают по местам приборы и принадлежности, сдают образцы, производят дальнейшие расчеты и делают выводы.

Отчет по лабораторной работе должен содержать Ф.И.О. и номер группы студента, Ф.И.О. преподавателя, название лабораторной работы, ее цель, краткое изложение теоретического материала по теме, порядок выполнения работы, результаты измерений, выводы, дату проведения, подписи студента и преподавателя (см. приложение 3).

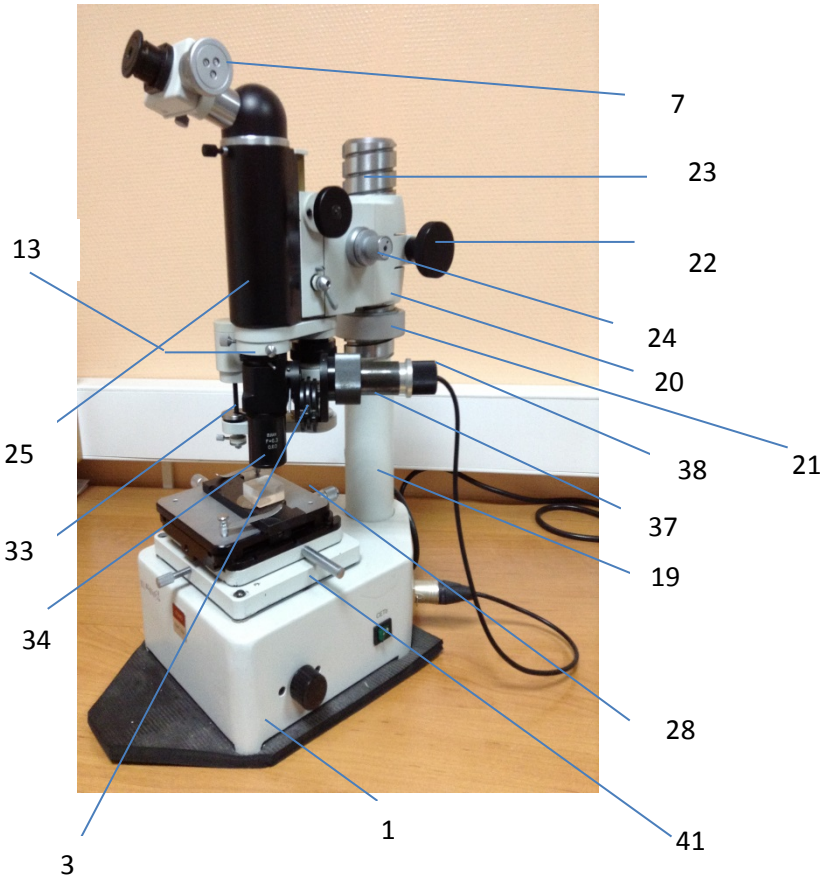
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1
КАЛИБРОВКА ПРИБОРА «ПМТ-3М»

Цель работы: ознакомиться с устройством и принципом действия микротвердомера «ПМТ-3М»; освоить методику калибровки и настройки прибора для измерения микротвердости материалов по Виккерсу; провести математическую обработку результатов измерений.

Приборы и принадлежности: микротвердомер «ПМТ-3М» (рис. 1.1; 1.2), прессик (рис. 1.1, *а*), пластилин, набор грузов, кристалл поваренной соли NaCl.

Устройство и принцип действия «ПМТ-3М»

Конструкция «ПМТ-3М». В состав микротвердомера входят следующие узлы: штатив с предметным столиком, кронштейн с тубусом и головкой с механизмом нагружения, окулярный микрометр, объектив.



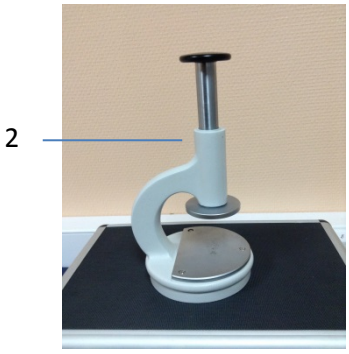


Рис. 1.1. Устройство «ПМТ-3М» (вид справа)

Рис. 1.1, а. Прессик

Штатив состоит из основания (*1*) (см. рис. 1.1) и колонки (*19*), имеющей снаружи ленточную резьбу для перемещения в вертикальном направлении кронштейна (*20*) с тубусом при помощи гайки (*21*). Кронштейн закрепляется на колонке при помощи разрезной втулки винтом (*22*), который при работе должен быть зажат.

В кронштейне размещены механизмы грубого и микрометрического (плавного) движения тубуса микротвердомера. Вращая барашек (*23*) грубого движения и барашек (*24*) микрометрического движения, можно перемещать тубус по вертикали.

Ход механизма грубого движения можно регулировать. Если один барашек грубого движения немного развернуть относительно другого, ход движения тубуса будет тяжелее или легче в зависимости от того, в какую сторону развернуты барашки. Кроме того, механизм грубого движения можно застопорить при помощи рукоятки (*25*). На барашке (*24*) с обратной стороны прибора имеется шкала, одно деление которой соответствует 0,002 мм перемещения тубуса.

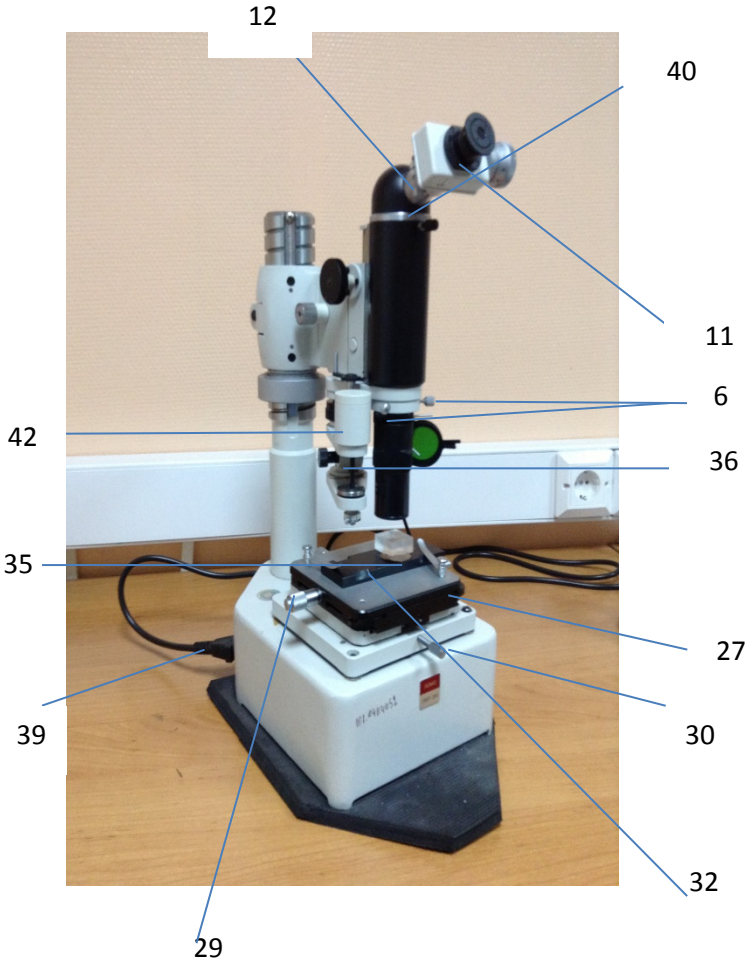


Рис. 1.2. Устройство «ПМТ-3М» (вид слева)

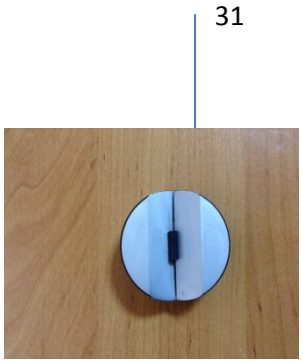


Рис. 1.2, а. Призма

Предметный столик (*27*) (см. рис. 1.2) укреплен на основании штатива тремя винтами. Верхняя часть столика, на которую устанавливается предмет, может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях при помощи винтов (*28*) и (*29*). Отпустив стопорный винт (*30*), можно за рукоятку (41) поворачивать столик от упора до упора.

На пластинку (*32*) с помощью пластилина (*35*) можно поместить предмет любой конфигурации. Призма (*31*) (рис. 1.2, *а*) применяется при исследовании поверхностей цилиндрических предметов.

Механизм нагружения состоит из штока (*33*), укрепленного на двух пружинах, расположенных внутри корпуса механизма. На штоке зафиксирован воздушный демпфер (42). В держатель (*34*) вставляется алмазный наконечник, а на утолщенную часть штока кладется гиря из разновеса. Для получения отпечатка шток опускают плавным вращением рукоятки (*36*) арретира против часовой стрелки.

Осветитель (*37*) укреплен па тубусе микроскопа и служит для освещения исследуемого предмета. При повороте рукоятки (*13*) от упора до упора осветитель позволяет рассматривать предмет как в светлом, так и в темном поле. Равномерное освещение достигается перемещением и разворотом патрона с лампой (*38*).

При установке патрона с лампой необходимо соблюдать осторожность, так как сдвиг осветителя вызовет нарушение юстировки прибора.

Светофильтры (*3*) осветителя предназначены для повышения контрастности исследуемого предмета.

Лампа осветителя питается от сети через блок питания (*39*).

Винтовой окулярный микрометр (*11*) закрепляется на трубке насадки (*12*) винтом (*40*).

Принцип действия микротвердомера основан на вдавливании алмазного наконечника (в нашем случае – пирамиды с углом при вершине 136°) в исследуемый материал под определенной нагрузкой и измерении линейной величины диагонали полученного отпечатка. Число микротвердости определяется делением нормальной нагрузки, приложенной к алмазному наконечнику, на условную площадь боковой поверхности полученного отпечатка:

$$V = \frac{F}{S}.$$

Оптическая схема микроскопа показана на рис. 1.3.

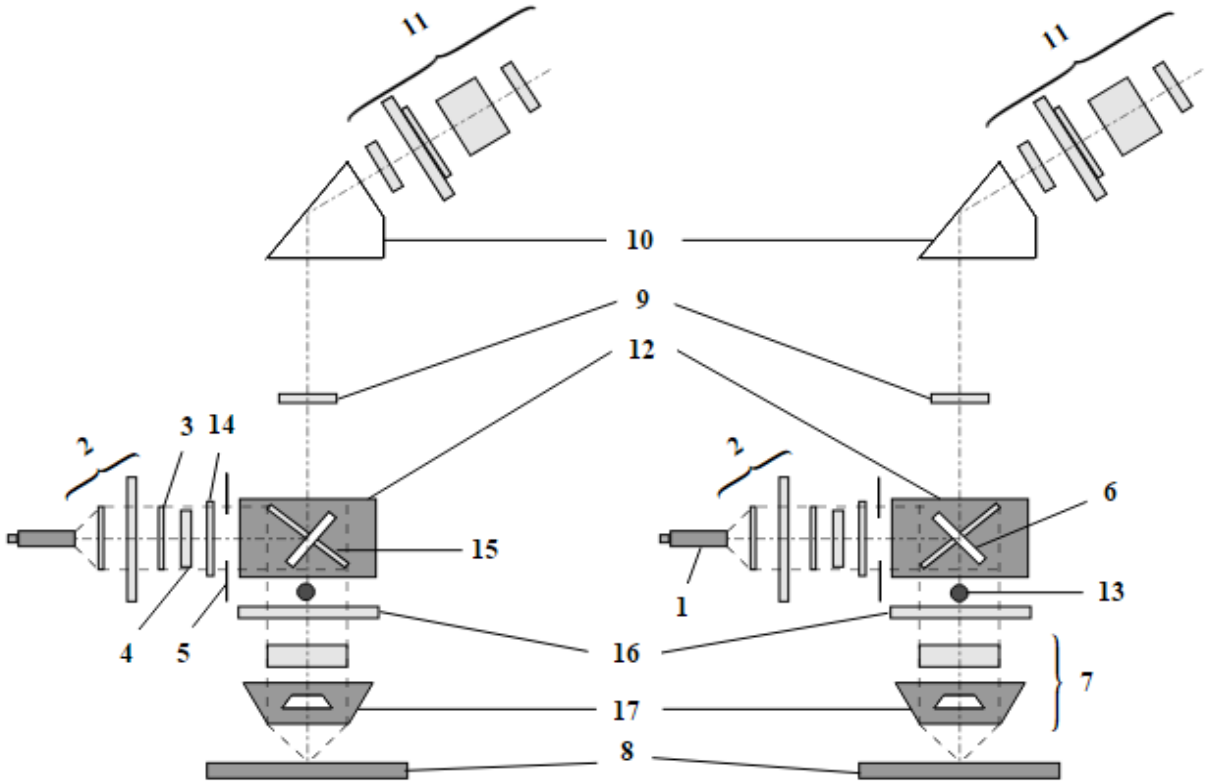


Рис. 1.3. Оптическая схема микроскопа:
1 – источник света; *2* – конденсор; *3* – набор светофильтров; *4* – коллекторная линза; *5* – ирисовая диафрагма; *6* – отражательная пластина; *7* – объектив; *8* – исследуемый образец; *9* – ахроматическая линза; *10* – призма; *11* – фокальная плоскость окулярного микрометра; *12* – держатель отражательной пластины; *13* – рукоятка; *14* – кольцевая диафрагма; *15* – отражательное зеркало; *16* – кольцевая диафрагма; *17* – параболическое зеркало

Микроскоп прибора позволяет рассматривать исследуемый предмет как в светлом, так и в темном поле.

При исследовании предметов в светлом поле луч от источника света (*1*) (см. рис. 1.3) через конденсор (*2*), светофильтр (*3*), коллекторную линзу (*4*) и ирисовую диафрагму (*5*) падает на отражательную пластинку (*6*). Далее луч проходит в объектив (*7*), попадает на исследуемый образец (*8*), отражается от него, снова попадает в объектив (*7*) и, пройдя отражательную пластинку (*6*), ахроматическую линзу (*9*) и призму (*10*), образует изображение предмета в фокальной плоскости окулярного микрометра (*11*).

Освещенность предмета при наблюдении в светлом поле регулируется изменением диаметра диафрагмы (*5*).

Призма (*10*) отклоняет луч на 45°, что создает удобство при работе на приборе.

Переход к работе в темном поле осуществляется поворотом держателя (*12*) отражательной пластинки и зеркала при помощи рукоятки (*13*). При работе в темном поле луч проходит светофильтр (*3*), кольцевую диафрагму (*14*) и попадает на отражательное зеркало (*15*). Далее, пройдя кольцевую диафрагму (*16*), луч отражается от параболического зеркала (*17*), попадает на исследуемый предмет (*8*), отражается от него и проходит тот же путь, что и при наблюдении в светлом поле.

Необходимые условия для проведения поверки правильной работы прибора:

– температура в помещении, в котором проводят поверку, должна быть (20 +/– 5) °С, относительная влажность воздуха – не более 80 %;

– допускаемая виброскорость в месте установки прибора – 0,315 мм/с для диапазона частот до 100 Гц.

Для уменьшения влияния вибрации рекомендуется использовать виброизолятор.

Перед поверкой с металлических частей прибора необходимо удалить пыль чистой салфеткой.

Ход проведения работы

1. По методическим указаниям знакомимся с устройством и принципом работы прибора «ПМТ-3М».

2. Перед проверкой точности показаний прибора определяем действительное значение цены деления шкалы барабанчика винтового окулярного микрометра (рис. 1.4). Для этого перемещаем оправы глазной линзы, устанавливаем окуляр на резкое изображение сетки; помещаем на предметный столик объект-микрометр и перемещаем тубусом механизм грубого и микрометрического движения; устанавливаем резкое изображение объект-микрометра, который нужно повернуть так, чтобы его штрихи были параллельны штрихам подвижной сетки окулярного микрометра; совмещаем перекрестие подвижной сетки окулярного микрометра с изображением штриха объект-микрометра и снимаем отсчет по шкале бара-

банчика окулярного микрометра; вращением барабанчика смещаем перекрестие подвижной сетки на возможно большее число делений шкалы объект-микрометра и снова снимаем отсчет по шкале барабанчика окулярного микрометра; при этом необходимо исключить мертвый ход окулярного микрометра, то есть перекрестие подводим с одной стороны.

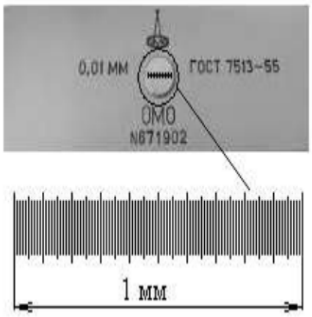


Рис. 1.4. Шкала барабанчика окулярного микрометра

Разность отсчетов дает число делений шкалы барабанчика окулярного микрометра, уместившихся в определенном числе делений шкалы объект-микрометра.

Действительное значение цены деления шкалы барабанчика окулярного микрометра E вычисляем по формуле:

$$E = T\frac{Z}{A},$$

где T – число делений объект-микрометра; Z – цена деления объект-микрометра (по его паспорту); A – разность отсчетов по шкале барабанчика окулярного микрометра.

Полученное выражение необходимо округлить до второй значащей цифры после запятой.

3. Производим проверку центровки отпечатков: выставляем перекрестие в центре поля зрения окуляра – определяем место вдавливания; на шток помещаем нагрузку 10 г; поворачиваем столик, наносим отпечаток; отпечаток, полученный от вдавливания, должен совпасть с центром перекрестия окулярного микрометра; в случае несовпадения регулировочными винтами (*6*) (см. рис. 1.2) подводим отпечаток до тех пор, пока перекрестия не совпадут; делаем контрольный отпечаток.

4. Производим поверку юстировки прибора путем определения значений микротвердости кристалла поваренной соли (NaCl).

5. На «свежий» скол кристалла наносим по 10 отпечатков при нагрузках 0,098 (10 гс).

6. При нанесении отпечатков на кристалл поваренной соли расстояние от отпечатка до края кристалла должно быть не менее 2,5 длины диагонали отпечатка. Расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее 3 длин диагонали наибольшего отпечатка.

7. При нанесении отпечатков нагрузка прикладывается плавным освобождением арретира, выдерживается в течение 10–15 с и затем снимается. Особое внимание должно быть обращено на недопустимость появления вибрации в результате освобождения арретира. Разность диагоналей одного отпечатка не должна превышать 3 % от наименьшей из них.

8. При каждом нанесении измеряем диагонали отпечатков и заносим в табл. 1.1. Измерение производим так: винтами (*29*) (см. рис. 1.2) и (*28*) (см. рис. 1.1) подводим центр перекрестия к одному краю и вращением барабанчика окулярного микрометра (7) производим замер, совмещая перекрестия со вторым краем.

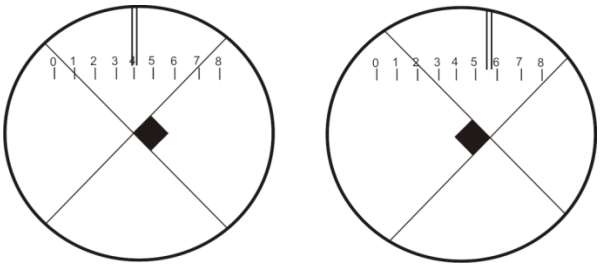


Рис. 1.5. Измерение длины диагонали отпечатка

9. Рассчитываем средние арифметические значения полученных значений микротвердости кристалла поваренной соли при указанных выше нагрузках и заносим в табл. 1.2.

10. Рассчитываем отношение оценки среднего квадратического отклонения длины диагоналей 10 отпечатков к их среднему арифметическому значению (в дальнейшем называемое коэффициентом вариации), которое не должно превышать 5 %.

11. Расчитываем значение микротвердости кристалла поваренной соли (NaCl) по методу Виккерса.

12. Делаем выводы.

Обработка результатов измерений

$$E = T\frac{Z}{A};$$

E =

Цена деления объект-микрометра Z = 0,01 мм

Таблица 1.1

Среднее значение микротвердости

№ п/п	m, г	d_1, мкм	d_2, мкм	<d> среднее значение длин диагоналей, мкм	H_i	<H>
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

1) Среднее значение величины d, мкм:

$$< d >= \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$<d>_1$ =

$<d>_2$ =

$<d>_3$ =

$<d>_4$ =

$<d>_5$ =

$<d>_6$ =

$<d>_7$ =

$<d>_8 =$

$<d>_9 =$

$<d>_{10} =$

2) $H = \frac{0{,}189P}{<d>^2} 10^6$;

где P – нормальная нагрузка, приложенная к алмазному наконечнику (P, Н);

1 кгс = 9,81 Н;

P = 10 г.

$H_1 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_1{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_2 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_2{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_3 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_3{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_4 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_4{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_5 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_5{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_6 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_6{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_7 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_7{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_8 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_8{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_9 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_9{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_{10} = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_{10}{}^2} \cdot 10^6 =$

Среднее значение величины H:

$$< H >= \frac{H_1+H_2+H_3+H_4+H_5+H_6+H_7+H_8+H_9+H_{10}}{10} =$$

3) $\Delta d = \pm\sqrt{\frac{\sum_1^{10}(d-<d>)^2}{9}}$

$$< D >= \frac{\sum_1^{10} d_i}{10}$$

Таблица 1.2

Среднее квадратическое отклонение длины отпечатка

№ п/п	<*d*> среднее арифметическое значение длин диагоналей	<*D*>	Δd
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Коэффициент вариации: $K = \frac{\Delta d}{<D>} \cdot 100\ \%$

Вывод:

Контрольные вопросы

1. В чем заключается юстировка прибора «ПМТ-3М».
2. Каково время выдержки при получении отпечатка, чем оно обосновано?
3. Какова форма отпечатка при измерении микротвердости по Виккерсу на приборе «ПМТ-3М»?
4. Каково минимальное расстояние между отпечатками и чем это обусловлено?
5. Какие параметры измеряются в лабораторной работе и с какой целью?
6. К чему может привести повышенная вибрация при замерах и почему?
7. Как выбирается величина нагрузки на индентор?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2
ИЗМЕРЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ПРИБОРОМ «ПМТ-3М»

Цель работы: ознакомиться с методикой определения микротвердости материалов по Виккерсу; определить микротвердость стального образца, прибором «ПМТ-3М»; провести математическую обработку результатов измерений.

Приборы и принадлежности: микротвердомер «ПМТ-3М», прессик, пластилин, набор грузов, образцы из сталей С345, 09Г2С, 38Х2МЮА, Ст45.

Теоретическая часть

Твердость материала – это способность поверхностного слоя сопротивляться упругой и пластической деформации при механическом воздействии на нее другого, не менее твердого объекта. Данная величина для материалов не является постоянной, как, например, температура плавления. Это сложная характеристика, зависящая от различных свойств материала, в том числе и от метода ее измерения. На выбор метода измерения твердости влияют разные факторы: объемы измерений, твердость измеряемых образцов, их геометрия, линейные размеры и многое другое. Это привело к появлению различных методов измерения твердости. Практически все они регламентированы ГОСТами и ИСО. Твердость условно разделена на макротвердость (нагрузки более 49 Н), твердость и микротвердость (нагрузки от 0,049 Н до 4,9 Н). Наиболее часто встречаются и используются методы измерения твердости по Бринеллю (рис. 2.1), Роквеллу (рис. 2.2), Виккерсу (рис. 2.3).

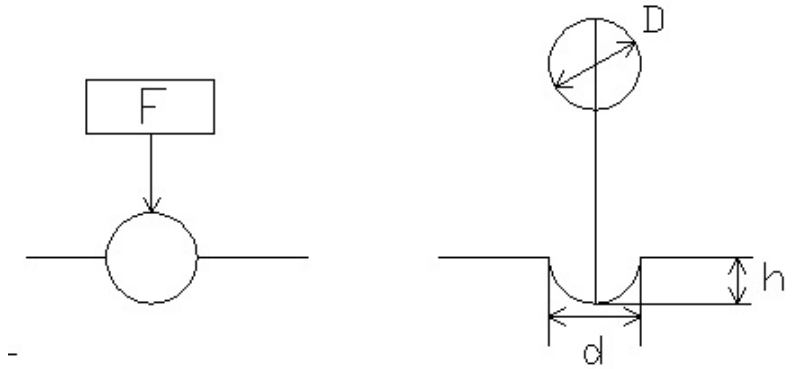


Рис. 2.1. Метод Бринелля

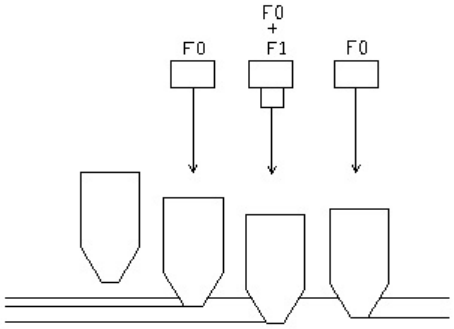


Рис. 2.2. Метод Роквелла

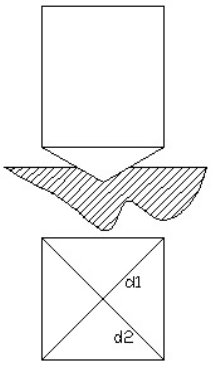


Рис. 2.3. Метод Виккерса

В нашей работе мы будем использовать метод Виккерса. Методика измерений для определения твердости по Виккерсу определяется ГОСТ 2999-75 и ISO 6507. Сам метод заключается в том, что индентор (в нашем случае это усеченная четырехгранная алмазная пирамида с углом 136° между противоположными гранями) вдавливается в образец (нагрузка плавно возрастает и выдерживается в течение 10–15 секунд). После снятия нагрузки на образце остается отпечаток, имеющий форму квадрата, длины диагоналей позволяют произвести расчет твердости образца.

Твердость по Виккерсу вычисляют делением нагрузки P на площадь поверхности полученного пирамидального отпечатка:

$$H = \frac{0{,}189P}{< d >^2},$$

где P – нормальная нагрузка, приложенная к алмазному наконечнику (P, Н);

$<d>$ – среднее арифметическое значение длин обеих диагоналей отпечатка (мкм).

Среднее арифметическое значение длин обеих диагоналей отпечатка рассчитывается так:

$$< d > = T \cdot Z,$$

где T – число делений объекта микрометра;

Z – цена деления, Z = 0,3125 мкм.

Твердость по Виккерсу всегда обозначается буквами *HV* без указания размерности, кгс/мм² (10 МПа). Основными параметрами при измерении твердости по Виккерсу являются нагрузка *P* до 980,7 Н (100 кгс) и время выдержки 10–15 с. В других случаях после символа *HV* указывают индексы, разделенные наклонной чертой и обозначающие нагрузку и время выдержки, и через тире – число твердости.

Основным недостатком метода является зависимость измеряемой твердости, а особенно микротвердости от приложенной нагрузки или глубины вдавливания индентора.

Микротвердость по Виккерсу – это та же твердость по Виккерсу, только целями ее исследований являются очень малые объекты: тонкие пленки, микроскопические участки; нагрузка индентора колеблется в диапазоне от 0,049 Н до 4,9 Н. Число микротвердости определяется делением нормальной нагрузки, приложенной к алмазному наконечнику, на условную площадь боковой поверхности полученного отпечатка:

$$HV = \frac{F}{S}.$$

Измерение микротвердости стандартизовано ГОСТ 9450-76. Число микротвердости пишется без единицы измерения, но с указанием нагрузки, например 21HV0,098.

Ход проведения работы

1. Получаем у преподавателя образец для выполнения лабораторной работы. Включаем прибор.

2. Прижимаем прессиком образец к пластине и устанавливаем ее на предметный столик.

3. Добиваемся резкого изображения исследуемого образца, выводим перекрестие на выбранное место.

4. Поворачиваем предметный столик влево до упора и выставляем на шток нагрузку, в нашем случае 100 г.

5. Плавно прикладываем нагрузку на 10–15 секунд, затем, подняв индентор, поворачиваем стол вправо до упора, проводим измерения диагоналей отпечатка и заносим значения в табл. 2.1.

6. Выбираем место для следующего отпечатка: минимальное расстояние между отпечатками – две длины диагонали и не менее двух с половиной диагоналей от края образца. Так же наносим еще шесть отпечатков, производя замеры диагоналей, заносим значения в табл. 2.1.

7. Производим обработку результатов измерений, заполняем табл. 2.1.

8. Делаем вывод.

Обработка результатов измерений

Таблица 2.1

Среднее и абсолютное значения микротвердости

№ п/п	m, г	d_1, мкм	d_2, мкм	<d> среднее арифметическое значение длин диагоналей, мкм	H_i	<H>	ΔH
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							

1) Среднее значение величины d (мкм):

$$< d >= \frac{d_1 + d_2}{2};$$

$<d>_1 =$

$<d>_2 =$

$<d>_3 =$

$<d>_4 =$

$<d>_5 =$

$<d>_6 =$

$<d>_7 =$

2) $H = \frac{0{,}189P}{<d>^2} 10^6$;

где P – нормальная нагрузка, приложенная к алмазному наконечнику (P, Н);

1 кгс = 9,81 Н;

P = 100 г.

$H_1 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_1{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_2 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_2{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_3 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_3{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_4 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_4{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_5 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_5{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_6 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_6{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_7 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_7{}^2} \cdot 10^6 =$

Среднее значение величины H:

$$< H >= \frac{H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 + H_7}{7} =$$

3) Средняя квадратичная погрешность S:

$\Delta H_i = \langle H \rangle - H_i$ – абсолютная i погрешность

$\Delta H_1 = \langle H \rangle - H_1 =$

$\Delta H_2 = \langle H \rangle - H_2 =$

$\Delta H_3 = \langle H \rangle - H_3 =$

$\Delta H_4 = \langle H \rangle - H_4 =$

$\Delta H_5 = \langle H \rangle - H_5 =$

$\Delta H_6 = \langle H \rangle - H_6 =$

$\Delta H_7 = \langle H \rangle - H_7 =$

$$S = \sqrt{\frac{\Delta H_1{}^2 + \Delta H_2{}^2 + \Delta H_3{}^2 + \Delta H_4{}^2 + \Delta H_5{}^2 + \Delta H_6{}^2 + \Delta H_7{}^2}{7(7-1)}} =$$

4) Приборная погрешность:

$$\Delta H_{пр} = 0{,}001/2 = 0{,}0005.$$

5) Случайная погрешность:

$t_{an} =$

$\alpha = 0{,}9$ (согласно табл. П.2 приложения 1);

$\Delta H_{сл} = S \cdot t_{an} =$

6) Абсолютная погрешность измерений:

$$\Delta H = \sqrt{\Delta H_{сл}{}^2 + \Delta H_{пр}{}^2} =$$

7) Относительная погрешность:

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{< H >} 100\ \% =$$

8) Округление погрешности и среднего значения:

$\Delta H =$

$<H> =$

9) Ответ: $\begin{cases} \mathrm{H} = < H > \pm \Delta H = \\ \varepsilon = \qquad \% \\ \alpha = 0{,}9 \end{cases}$

Вывод:

Контрольные вопросы

1. Что такое микротвердость?
2. Запишите формулу для определения твердости.
3. Способ нагружения, подбор нагрузки на индентор.
4. Какие методы используются при измерении твердости?
5. В чем заключается отличие между твердостью и микротвердостью?
6. Какова цель лабораторной работы № 2?
7. Какими государственными документами регламентируется метод Виккерса?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3
ИЗМЕРЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ПРИБОРОМ «ПМТ-3М» ПОСЛЕ НАНЕСЕНИЯ ИХ НА СТАЛЬНУЮ ПОДЛОЖКУ. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОТВЕРДОСТИ

Цель работы: пользуясь методикой определения микротвердости материалов по Виккерсу, определить микротвердость выданного образца прибором «ПМТ-3М»; провести сравнительный анализ изменения микротвердости до и после нанесения покрытия.

Приборы и принадлежности: микротвердомер «ПМТ-3М», прессик, пластилин, набор грузов, образцы из сталей С345, 09Г2С, 38Х2МЮА, Ст45.

Теоретическая часть

На практике часто возникает необходимость измерить твердость объекта малой величины, а он меньше индентера Бринелля или Роквелла. Для решения этой проблемы используется метод микротвердости по Виккерсу. Твердость по Виккерсу позволяет оценить вклад границ зерен в значение твердости. Но размер отпечатка твердомера получается порядка 300 мкм, а это намного больше размера зерна в обычных сплавах. Использование микротвердомера «ПМТ-3М» позволяет поставить отпечаток в отдельное зерно, фазу, слой. Измерение микротвердости тонких покрытий (пленок) на стальных подложках имеет рад особенностей. Дело в том, что необходимо правильно подобрать нагрузку индентора. При маленькой нагрузке размер отпечатка будет меньше, соответственно погрешность измерений будет высока. Излишне большая нагрузка может привести к продавливанию тонкой пленки и «прорыву» покрытия (рис. 3.1).

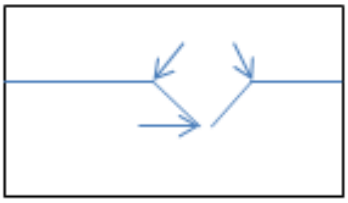


Рис. 3.1. Продавливание тонкой пленки покрытия

В результате получится измерение микротвердости подложки, а не поверхностного слоя. Может произойти отрыв покрытия, если его адгезия окажется меньше возникающих упругих деформаций, в этом случае также измерения будут некорректными. Поэтому нагрузку для каждого выдаваемого образца при измерении микротвердости необходимо согласовывать с преподавателем.

Ход проведения работы

1. Получаем у преподавателя эталонный образец и образец для выполнения лабораторной работы. Включаем прибор.

2. Прижимаем прессиком эталонный образец к пластине и устанавливаем ее на предметный столик.

3. Добиваемся резкого изображения эталонного образца, выводим перекрестие на выбранное место.

4. Поворачиваем предметный столик влево до упора и выставляем на шток нагрузку, в нашем случае 100 г.

5. Плавно прикладываем нагрузку на 10–15 секунд, затем, подняв индентор, поворачиваем стол вправо до упора, проводим измерение диагоналей отпечатка и заносим значения в табл. 3.1.

6. Выбираем место для следующего отпечатка. Минимальное расстояние между отпечатками – две длины диагонали и не менее двух с половиной диагоналей от края образца. Так же наносим еще три отпечатка, производя замеры диагоналей, заносим их значения в табл. 3.1.

7. Вычисляем микротвердость эталонного образца, результат заносим в табл. 3.1 и сравниваем с паспортными данными эталона.

8. Меняем на столике эталонный образец на лабораторный. Добиваемся резкого изображения лабораторного образца, выводим перекрестие на выбранное место.

9. Поворачиваем предметный столик влево до упора и выставляем на шток нагрузку, в нашем случае 100 г (50 г).

10. Плавно прикладываем нагрузку на 10–15 секунд, затем, подняв индентор, поворачиваем стол вправо до упора, проводим измерение диагоналей отпечатка и заносим в табл. 3.2.

11. Выбираем место для следующего отпечатка. Минимальное расстояние между отпечатками – две длины диагонали и не менее двух с по-

ловиной диагоналей от края образца. Так же наносим еще девять отпечатков, производим замеры диагоналей, заносим их значения в табл. 3.2.

12. Производим обработку результатов измерений, заполняем табл. 3.2.

13. Проводим сравнительный анализ изменения микротвердости, данные для сравнения по материалу без покрытия предоставляет преподаватель.

14. Делаем выводы.

Обработка результатов измерений

Таблица 3.1

Среднее значение микротвердости

№ п/п	m, г	d_1, мкм	d_2, мкм	<d> среднее арифметическое значение длин диагоналей, мкм	H_i	<H>
1						
2						
3						
4						

1) Среднее значение величины d (мкм):

$$< d > = \frac{d_1 + d_2}{2},$$

$<d>_1 =$

$<d>_2 =$

$<d>_3 =$

$<d>_4 =$

2) $H = \frac{0{,}189P}{<d>^2} 10^6$;

где P – нормальная нагрузка, приложенная к алмазному наконечнику (P, Н);

1 кгс = 9,81 Н;

$P = 100$ г.

$$H_1 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_1{}^2} \cdot 10^6 =$$

$$H_2 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_2{}^2} \cdot 10^6 =$$

$$H_3 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_3{}^2} \cdot 10^6 =$$

$$H_4 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_4{}^2} \cdot 10^6 =$$

Среднее значение величины H:

$$< H > = \frac{H_1 + H_2 + H_3 + H_4}{4} =$$

Промежуточный вывод:

Таблица 3.2

Средние и абсолютные значения миротвердости

№ п/п	m, г	d_1, мкм	d_2, мкм	<d> среднее значение длин диагоналей, мкм	H_i	<H>	ΔH
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Среднее значение величины d (мкм):

$$< d >= \frac{d_1 + d_2}{2};$$

$<d>_1 =$

$<d>_2 =$

$<d>_3 =$

$<d>_4 =$

$<d>_5 =$

$<d>_6 =$

$<d>_7 =$

$<d>_8 =$

$<d>_9 =$

$<d>_{10} =$

$$H = \frac{0{,}189P}{< d >^2} 10^6,$$

где P – нормальная нагрузка, приложенная к алмазному наконечнику (P, Н);

1 кгс = 9,81 Н;

P = 100 г (50 г).

$H_1 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_1{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_2 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_2{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_3 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_3{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_4 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_4{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_5 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_5{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_6 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_6{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_7 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_7{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_8 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_8{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_9 = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_9{}^2} \cdot 10^6 =$

$H_{10} = \frac{0{,}189 \cdot P}{<d>_{10}{}^2} \cdot 10^6 =$

Среднее значение величины *H*:

$$< \mathrm{H} >= \frac{H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 + H_7 + H_8 + H_9 + H_{10}}{10} =$$

Средняя квадратичная погрешность *S*:

$\Delta H_i = <H> - H_i$ – абсолютная *i* погрешность;

$\Delta H_1 = <H> - \mathrm{H}_1 =$

$\Delta H_2 = <H> - \mathrm{H}_2 =$

$\Delta H_3 = <H> - \mathrm{H}_3 =$

$\Delta H_4 = <H> - \mathrm{H}_4 =$

$\Delta H_5 = <H> - \mathrm{H}_5 =$

$\Delta H_6 = <H> - \mathrm{H}_6 =$

$\Delta H_7 = <H> - \mathrm{H}_7 =$

$\Delta H_8 = <H> - \mathrm{H}_8 =$

$\Delta H_9 = <H> - \mathrm{H}_9 =$

$\Delta H_{10} = <H> - \mathrm{H}_{10} =$

$$S=\sqrt{\frac{\Delta H_1{}^2+\Delta H_2{}^2+\Delta H_3{}^2+\Delta H_4{}^2+\Delta H_5{}^2+\Delta H_6{}^2+\Delta H_7{}^2+\Delta H_8{}^2+\Delta H_9{}^2+\Delta H_{10}{}^2}{10(10-1)}}=$$

4) Приборная погрешность:

$$\Delta H_{\text{пр}}=\frac{0{,}001}{2}=0{,}0005.$$

5) Случайная погрешность:

$t_{\text{an}}=$

$\alpha=0{,}9$ (согласно табл. П.2 приложения 1);

$\Delta H_{\text{сл}}=S\cdot t_{\text{an}}=$

6) Абсолютная погрешность измерений:

$$\Delta H=\sqrt{\Delta H_{\text{сл}}{}^2+\Delta H_{\text{пр}}{}^2}=$$

7) Относительная погрешность:

$$\varepsilon=\frac{\Delta H}{<H>}100\ \%=$$

8) Округление погрешности и среднего значения:

$\Delta H=$

$<H>=$

Ответ: $\begin{cases} \text{H}=<H>\pm\Delta H= \\ \varepsilon= \qquad \% \\ \alpha=0{,}9 \end{cases}$

Вывод:

Контрольные вопросы

1. Привести примеры деталей, которым необходима высокая твердость.
2. Как определить микротвердость методом Виккерса?
3. Что называется индентором и какой вид индентера используется в нашей работе?
4. Что такое коэффициент Стьюдента?
5. Каковы области использования метода микротвердости?
6. Какова цель лабораторной работы № 3?
7. Зачем необходимо смещать отпечатки друг относительно друга на определенное расстояние?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паспорт микротвердомера «ПМТ-3М».

2. ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007. Металлы и сплавы. Измерение твердости по Виккерсу. – Часть 1. Метод измерения. – М. : Стандартинформ, 2008. – 19 с.

3. ГОСТ Р ИСО 6507-2-2009. Металлы и сплавы. Измерение твердости по Виккерсу. – Часть 2. Поверка и калибровка твердомеров. – М. : Стандартинформ, 2010. – 24 с.

4. РД ЭО 0027-2005. Инструкция по определению механических свойств металла оборудования атомных станций безобразцовыми методами по характеристикам твердости. – М. : Росэнергоатом, 2005. – 52 с.

5. Золотаревский, В. С. Механические свойства металлов / В. С. Золотаревский. – М. : МИСИС, 1998. – 400 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П.1

График лабораторных работ

Подгруппа / Лабораторная работа	Подгруппа № 1	Подгруппа № 2	Подгруппа № 3	Подгруппа № 4	Подгруппа № 5
лабораторная работа № 1	1 занятие	2 занятие	3 занятие	1 занятие	2 занятие
лабораторная работа № 2	2 занятие	3 занятие	1 занятие	2 занятие	3 занятие
лабораторная работа № 3	3 занятие	1 занятие	2 занятие	3 занятие	1 занятие

Таблица П.2

Коэффициент Стьюдента

Количество измерений / α значение	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,90	6,31	2,92	2,35	2,13	2,01	1,94	1,9	1,86	1,84
0,95	12,71	4,30	3,18	2,78	2,57	2,45	2,36	2,31	2,26

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «ФИЗИКА»

ОТЧЕТ
по лабораторной работе № 1

Калибровка прибора «ПМТ-3М»

Выполнил:
студент гр._____
_____
Проверил:_____
_____

Омск, 2017 г.

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «ФИЗИКА»

ОТЧЕТ
по лабораторной работе № 2

Измерение микротвердости стальных образцов прибором «ПМТ-3М»

Выполнил:
студент гр._____
_____
Проверил:_____
_____

Омск, 2017 г.

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «ФИЗИКА»

ОТЧЕТ
по лабораторной работе № 3

Измерение микротвердости металлических покрытий прибором «ПМТ-3М» после нанесения их на стальную подложку. Сравнительный анализ изменения микротвердости

Выполнил:
студент гр._____
_____
Проверил:_____
_____

Омск, 2017 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Отчет по лабораторной работе должен содержать следующую информацию:

1. Ф.И.О. и номер группы студента.
2. Ф.И.О. преподавателя.
3. Название лабораторной работы.
4. Цель работы.
5. Порядок выполнения работы.
6. Таблицы.
7. Выводы.
8. Дата проведения лабораторной работы.
9. Подписи студента и преподавателя.