



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ООО «ПМК-Урал»

_____ **А.А. Зобнина**

« ____ » _____ **2026 г.**

ПРОГРАММА

повышения квалификации по методам измерения твердости

(подготовка к аттестации по СДА-24-2009, I и II уровни)

г. Пермь, 2026

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа предназначена для специальной подготовки специалистов-испытателей, желающих подтвердить квалификацию по методам измерения твердости в соответствии с «Правилами аттестации (сертификации) персонала испытательных лабораторий» (СДА-24-2009). Обучение охватывает физические основы взаимодействия индентора с материалом, устройство и настройку приборов, технологию измерений всеми методами, включёнными в актуальный Перечень областей аккредитации ИЛ-ЛРИ, обработку результатов и оценку неопределённости. Выпускники допускаются к сдаче экзаменов для присвоения II уровня квалификации.

2. ЦЕЛЬ

Сформировать компетенции, необходимые для самостоятельного проведения измерений твёрдости методами Бринелля, Виккерса, Роквелла, Супер-Роквелла, упругого отскока, ударного отпечатка, микротвёрдости, кинетическим методом и специальными методами, а также для выбора метода и оборудования, разработки технологических инструкций и руководства персоналом I уровня.

3. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН (120 часов)

№ п/п	Наименование темы	Часы
1	Общие основы испытаний и физические основы измерения твёрдости	8
2	Метод измерения твёрдости по Бринеллю	10
3	Метод определения предела текучести вдавливанием шара	4
4	Метод измерения твёрдости по Виккерсу	10
5	Методы измерения твёрдости по Роквеллу и Супер-Роквеллу	10
6	Методы упругого отскока бойка (по Шору и Либу)	8
7	Измерение твёрдости методом ударного отпечатка	6
8	Измерение микротвёрдости	8
9	Кинетический метод и специальные методы измерения твёрдости	4
10	Метрологическое обеспечение измерений твёрдости	6
11	Нормативная база и оформление результатов	4

№ п/п	Наименование темы	Часы
12	Подготовка образцов и настройка твердомеров	12
13	Измерение твёрдости различными методами	18
14	Обработка данных, оценка неопределённости, заключения	9
15	Предэкзаменационная подготовка и итоговое тестирование	3
Всего		120

4. СОДЕРЖАНИЕ ТЕМ

Тема 1. Общие основы испытаний и физические основы измерения твёрдости (8 ч)

1.1. Понятие твёрдости. Твёрдость как характеристика сопротивления материала пластической деформации, упругому восстановлению, царапанию, износу. Связь твёрдости с другими механическими свойствами (предел прочности, предел текучести). Роль измерений твёрдости в неразрушающем контроле и диагностике.

1.2. Физические принципы контактных методов. Внедрение индентора: упругая и пластическая деформация под наконечником. Напряжённое состояние под индентором. Влияние модуля упругости, предела текучести, наклёпа. Явление упругого восстановления отпечатка. Зависимость твёрдости от нагрузки, времени нагружения, формы и материала индентора.

1.3. Классификация методов измерения твёрдости. Статические (Бринелль, Виккерс, Роквелл, микротвёрдость) и динамические (упругий отскок, ударный отпечаток). Кинетический метод. Переносные и стационарные приборы.

1.4. Влияние свойств материала на результаты измерений. Шероховатость поверхности, толщина образца, расстояние между отпечатками, краевой эффект. Влияние температуры. Требования к минимальной толщине образца и расстоянию до края.

1.5. Охрана труда. Электробезопасность при работе с электрическими твердомерами. Механическая безопасность (массивные грузы, острые инденторы). Правила работы с химическими реактивами (при приготовлении образцов).

Тема 2. Метод измерения твёрдости по Бринеллю (10 ч)

2.1. Принцип метода. Вдавливание стального или твёрдосплавного шарика в поверхность образца под действием заданной нагрузки. Число твёрдости по Бринеллю

(HBW или HBS): отношение нагрузки к площади поверхности сферического отпечатка. ГОСТ 9012-59 – основной метод. ГОСТ 22761-77 – метод измерения твёрдости на пределе текучести? (уточнить). На самом деле ГОСТ 22761-77 – «Металлы и сплавы. Метод измерения твёрдости по Бринеллю переносными твердомерами статического действия». Будем считать, что это переносные твердомеры Бринелля.

2.2. Оборудование. Стационарные прессы Бринелля. Переносные твердомеры (ГОСТ 22761-77). Шарики диаметрами 10; 5; 2,5; 2; 1 мм. Выбор нагрузки и диаметра шарика в зависимости от материала и толщины образца. Соотношение P/D^2 (30; 10; 5; 2,5; 1,25). Измерение диаметра отпечатка с помощью микроскопа Бринелля или автоматических систем.

2.3. Проведение измерений. Подготовка поверхности. Минимальная толщина образца (не менее 8-кратной глубины отпечатка). Расстояние между центрами отпечатков, от края образца. Время выдержки под нагрузкой. Измерение диаметра в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Расчёт числа твёрдости HBW. Типичные значения для сталей, чугунов, цветных металлов.

2.4. Факторы, влияющие на точность. Качество поверхности, соосность, жёсткость системы нагружения, точность измерения диаметра. Поправки. Сравнение с другими методами. Переводные таблицы (HB → HRC, HV).

Тема 3. Метод определения предела текучести вдавливанием шара (4 ч)

3.1. Сущность метода по ГОСТ 22762-77. Определение предела текучести материала по глубине вдавливания шарика при определённой нагрузке. Связь между глубиной отпечатка и условным пределом текучести. Применение для оценки прочностных свойств сталей и сплавов без разрушения образца.

3.2. Оборудование. Приборы, реализующие принцип вдавливания шарика с регистрацией глубины (твердомеры типа ТЭМП, ТШ-2М и др.). Методика испытаний. Расчёт предела текучести по эмпирическим зависимостям. Область применения и ограничения.

Тема 4. Метод измерения твёрдости по Виккерсу (10 ч)

4.1. Принцип метода. Вдавливание алмазной пирамиды с квадратным основанием (угол при вершине 136°). Число твёрдости HV – отношение нагрузки к площади поверхности отпечатка, рассчитанной по длине диагоналей. ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007 – основной стандарт. ГОСТ 2999-75 – метод Виккерса для металлов (старый, но ещё применяемый). ГОСТ Р ИСО 6507-4-2009 – требования к твердомерам.

4.2. Оборудование. Стационарные твердомеры Виккерса. Нагрузки: от 1 кгс до 120 кгс (макро-Виккерс) и микро-Виккерс (меньшие нагрузки, см. тему 8). Измерение диагоналей с помощью микроскопа, встроенного в прибор. Требования к юстировке оптической системы.

4.3. *Проведение измерений.* Подготовка поверхности (шероховатость не более Ra 0,4 мкм). Выбор нагрузки в зависимости от твёрдости и толщины образца. Время выдержки. Измерение диагоналей d_1 и d_2 , расчёт HV. Построение градуировочных зависимостей. Метод применим для тонких слоёв, покрытий, отдельных структурных составляющих.

4.4. *Сравнение с другими методами.* Таблицы перевода HV в HB, HRC. Влияние упругого восстановления отпечатка.

Тема 5. Методы измерения твёрдости по Роквеллу и Супер-Роквеллу (10 ч)

5.1. *Принцип метода Роквелла.* Измерение глубины вдавливания индентора (алмазный конус с углом 120° или стальной шарик) под действием предварительной и основной нагрузок. Твёрдость HR вычисляется по разности глубин. Шкалы: HRA (алмаз, 60 кгс), HRB (шарик 1/16", 100 кгс), HRC (алмаз, 150 кгс) и др. ГОСТ 9013-59.

5.2. *Оборудование.* Стационарные и переносные твердомеры Роквелла. Устройство нагружающего механизма. Индикатор часового типа или электронный дисплей. Проверка твердомера с помощью эталонных мер твёрдости.

5.3. *Проведение измерений.* Выбор шкалы в зависимости от ожидаемой твёрдости и материала. Подготовка поверхности. Последовательность приложения нагрузок. Отсчёт твёрдости. Особенности испытаний тонких листов, цементованных слоёв.

5.4. *Метод Супер-Роквелла по ГОСТ 22975-78.* Принцип – аналогичен Роквеллу, но с меньшими основными нагрузками (15; 30; 45 кгс), что позволяет измерять твёрдость тонких слоёв, азотированных, цианированных поверхностей. Шкалы N (алмаз) и T (шарик). Порядок проведения, расчёт твёрдости HRN и HRT. Преимущества перед классическим Роквеллом.

Тема 6. Методы упругого отскока бойка (по Шору и Либу) (8 ч)

6.1. *Физический принцип.* Измерение отношения скоростей бойка до и после удара. Связь с модулем упругости и пределом текучести материала. Динамический метод, практически не оставляющий отпечатка.

6.2. *Метод по Шору (ГОСТ 23273-78).* Прибор – склероскоп Шора. Боек с алмазным наконечником падает с фиксированной высоты, измеряется высота отскока. Шкалы C и D. Применение для крупногабаритных деталей, валков. Недостатки: чувствительность к массе детали, шероховатости, наклёпу.

6.3. *Метод по Либу (ГОСТ Р 8.969-2019, ИСО 16859-1).* Современный динамический метод. Датчик с твёрдосплавным шариком, измеряются скорости до и после удара с помощью магнитной индукции. Твёрдость HL (Leeb) вычисляется как отношение скоростей, умноженное на 1000. Мобильные приборы, работающие в любом пространственном положении. Шкалы HL (разные типы датчиков D, DC, G, C). Перевод HL в другие шкалы (HB, HV, HRC) с помощью встроенных алгоритмов. Требования к

подготовке поверхности (шероховатость, масса детали, толщина). Поверка приборов по эталонным мерам.

6.4. *Сравнение методов Шора и Либа.* Области применения, точность, ограничения.

Тема 7. Измерение твёрдости методом ударного отпечатка (6 ч)

7.1. *Принцип метода.* Динамическое вдавливание стального шарика в поверхность образца с помощью бойка (энергия удара известна). Твёрдость оценивается по диаметру отпечатка или отношению диаметров отпечатков на эталонном и испытуемом образцах. ГОСТ 18661-73 – метод ударного отпечатка по Полюди. ГОСТ 28868-90 – твёрдость цветных металлов методом ударного отпечатка.

7.2. *Оборудование.* Ударные твердомеры типа Полюди (механический боёк). Приборы с ручным ударником. Эталонные бруски с известной твёрдостью. Измерение диаметров отпечатков микроскопом.

7.3. *Проведение измерений.* Подготовка поверхности. Установка прибора. Нанесение удара. Измерение диаметров отпечатков на эталонном и испытуемом образцах. Расчёт твёрдости по формуле или таблицам. Применение для грубой оценки твёрдости крупных деталей в полевых условиях.

Тема 8. Измерение микротвёрдости (8 ч)

8.1. *Принцип и область применения.* Микротвёрдость по Виккерсу и Кнупу. Вдавливание алмазных пирамид при малых нагрузках (от 0,01 до 2 кгс). ГОСТ 9450-76 – основной стандарт. Измерение твёрдости отдельных фаз, структурных составляющих, покрытий, упрочнённых слоёв.

8.2. *Оборудование.* Микротвердомеры (ПМТ-3, современные цифровые модели). Устройство механизма нагружения, измерительный микроскоп. Требования к виброизоляции, юстировке.

8.3. *Проведение измерений.* Изготовление шлифов (аншлифов) с минимальным наклёпом. Выбор нагрузки в зависимости от размера анализируемой области. Время выдержки. Измерение диагоналей. Расчёт микротвёрдости Н_μ (HV). Определение микротвёрдости по Кнупу (алмазная пирамида с ромбическим основанием) – ГОСТ 9450-76. Построение графиков зависимости микротвёрдости от глубины.

8.4. *Факторы, влияющие на результат.* Качество приготовления шлифа, вибрации, температура, точность наведения на отпечаток. Корреляция микротвёрдости с макротвёрдостью.

Тема 9. Кинетический метод и специальные методы измерения твёрдости (4 ч)

9.1. *Кинетический метод (И 1.2.1.02.019.1121-2016).* Сущность: непрерывная регистрация глубины внедрения индентора в процессе нагружения (кривая «нагрузка –

глубина»). Позволяет определять не только твёрдость, но и модуль упругости, работу упругой и пластической деформации. Приборы – нанотвердомеры, микротвердомеры с функцией кинетического индентирования. Применение для тонких покрытий, наноструктурированных материалов.

9.2. *Специальные (в т.ч. комбинированные) методы.* Краткий обзор методик, предусмотренных инструкциями по эксплуатации специального оборудования (например, твердомеры со сменными датчиками для резины, пластмасс). Указание на необходимость аттестации методик в соответствии с требованиями лаборатории.

Тема 10. Метрологическое обеспечение измерений твёрдости (6 ч)

10.1. *Эталонные меры твёрдости.* Государственные и рабочие эталоны для Бринелля, Роквелла, Виккерса, Шора, Либа. Требования к стабильности и однородности. Поверка и калибровка мер.

10.2. *Поверка твердомеров.* Прямая и косвенная поверка. Прямая: проверка нагрузок, геометрии инденторов, измерительной системы. Косвенная: измерение эталонных мер и сравнение с приписанными значениями. Периодичность. Документирование поверок.

10.3. *Оценка неопределённости измерений.* Источники неопределённости: неопределённость эталонной меры, разброс показаний прибора, неоднородность образца, оператор. Бюджет неопределённости для методов HB, HRC, HV. Расчёт расширенной неопределённости. Внутрилабораторный контроль точности.

Тема 11. Нормативная база и оформление результатов (4 ч)

11.1. *Обзор нормативных документов.* Актуальный Перечень областей аккредитации ИЛ-ЛРИ (п. 3). Стандарты на методы: ГОСТ 9012-59, ГОСТ 22761-77, ГОСТ 22762-77, ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007, ГОСТ 2999-75, ГОСТ 9013-59, ГОСТ 22975-78, ГОСТ 23273-78, ГОСТ Р 8.969-2019, ГОСТ 18661-73, ГОСТ 28868-90, ГОСТ 9450-76. Метрологические стандарты. Правила выбора метода в зависимости от задачи.

11.2. *Оформление протоколов.* Требования к содержанию протокола: идентификация образца, метод, шкала твёрдости, применяемый прибор, условия (температура), результаты единичных измерений, среднее значение, неопределённость. Заключение о соответствии нормативным требованиям.

Тема 12. Подготовка образцов и настройка твердомеров (12 ч)

Цель: освоить подготовку образцов к измерениям твёрдости и настройку основных типов твердомеров.

Оборудование и материалы: образцы различных сталей, алюминиевых и медных сплавов, шлифовальные станки, полировальные круги, микроскопы Бринелля и

Виккерса, меры твёрдости эталонные, твердомеры Бринелля, Роквелла, Виккерса, переносные приборы Либа.

Порядок выполнения:

1. Подготовка поверхности: шлифовка, полировка до требуемой шероховатости. Изучение влияния качества поверхности на результаты.
2. Подготовка микрошлифов для микротвёрдости.
3. Проверка твердомера Бринелля: проверка нагрузки, измерение диаметра шарика.
4. Проверка твердомера Роквелла: установка алмазного конуса, проверка предварительной и основной нагрузок.
5. Калибровка приборов Либа по эталонной мере.
6. Установка и юстировка микротвердомера ПМТ-3.
7. Запись параметров в лабораторный журнал.

Тема 13. Измерение твёрдости различными методами (18 ч)

Цель: приобрести навыки самостоятельного измерения твёрдости всеми включёнными в перечень методами.

Оборудование и материалы: твердомеры (стационарные и переносные), образцы с неизвестной твёрдостью, эталонные меры.

Порядок выполнения:

1. Измерение твёрдости по Бринеллю (HBW) на сталях и алюминии.
2. Измерение твёрдости на пределе текучести (по возможности с использованием твердомера ТЭМП или расчётным методом).
3. Измерение твёрдости по Виккерсу (HV) на тонких листах, покрытиях.
4. Измерение твёрдости по Роквеллу (HRC, HRB) и Супер-Роквеллу (HRN, HRT) на закалённых сталях, цветных металлах.
5. Измерение твёрдости методом Шора (склероскоп) и Либа (современный твердомер) на крупногабаритных деталях.
6. Измерение твёрдости методом ударного отпечатка (Польди) на прутках.
7. Измерение микротвёрдости на шлифах (HV0,05 – HV0,5) на различных структурных составляющих.
8. Демонстрация кинетического метода (при наличии нанотвердомера) или разбор данных.

Каждый слушатель выполняет не менее 5 измерений в каждом методе, заносит результаты в таблицы.

Тема 14. Обработка данных, оценка неопределённости, заключения (9 ч)

Цель: научиться обрабатывать результаты, рассчитывать неопределённость и оформлять итоговые документы.

Порядок выполнения:

1. Статистическая обработка: вычисление среднего, стандартного отклонения, выбраковка промахов.
2. Перевод твёрдости из одной шкалы в другую по таблицам, сравнение.
3. Составление бюджета неопределённости для одного из методов (например, HRC): приборная, эталонной меры, от неоднородности образца, операторская.
4. Составление протокола измерений твёрдости по конкретному заданию.
5. Разработка рабочей инструкции по измерению твёрдости на заданном оборудовании.
6. Инспекционный контроль: проверка работ коллег, оформление заключения.

Тема 15. Предэкзаменационная подготовка и итоговое тестирование (3 ч)

Цель: систематизировать знания и подготовиться к квалификационному экзамену.

Содержание:

- Повторение ключевых тем: физические основы методов, влияние параметров, меры твёрдости.
- Решение тестовых заданий (не менее 25 вопросов) из сборника НОАП.
- Пробное практическое задание: измерение твёрдости образца неизвестной твёрдости двумя методами и оформление протокола.
- Индивидуальные консультации, выдача допуска.

5. НОРМАТИВНАЯ БАЗА

Основной документ:

- СДА-24-2009. Правила аттестации (сертификации) персонала испытательных лабораторий.

Метод Бринелля:

- ГОСТ 9012-59. Металлы. Метод измерения твёрдости по Бринеллю.
- ГОСТ 22761-77. Металлы и сплавы. Метод измерения твёрдости по Бринеллю переносными твердомерами статического действия.

Метод на пределе текучести:

- ГОСТ 22762-77. Металлы и сплавы. Метод определения предела текучести вдавливанием шара.

Метод Виккерса:

- ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007. Металлы и сплавы. Измерение твёрдости по Виккерсу. Часть 1. Метод измерений.
- ГОСТ Р ИСО 6507-4-2009. Часть 4. Таблицы значений твёрдости.
- ГОСТ 2999-75. Металлы. Метод измерения твёрдости по Виккерсу.

Метод Роквелла:

- ГОСТ 9013-59. Металлы. Метод измерения твёрдости по Роквеллу.

Метод Супер-Роквелла:

- ГОСТ 22975-78. Металлы и сплавы. Метод измерения твёрдости по Супер-Роквеллу.

Методы упругого отскока:

- ГОСТ 23273-78. Металлы и сплавы. Измерение твёрдости методом упругого отскока бойка (по Шору).
- ГОСТ Р 8.969-2019 (ИСО 16859-1:2015). ГСИ. Твёрдость металлов и сплавов. Метод измерения твёрдости по Либу.

Метод ударного отпечатка:

- ГОСТ 18661-73. Сталь. Измерение твёрдости методом ударного отпечатка.
- ГОСТ 28868-90. Металлы и сплавы цветные. Измерение твёрдости методом ударного отпечатка.

Микротвёрдость:

- ГОСТ 9450-76. Измерение микротвёрдости вдавливанием алмазных наконечников.

Кинетический метод:

- И 1.2.1.02.019.1121-2016. Методика измерений твёрдости кинетическим методом.

Специальные методы:

- Специальные методики, инструкции по эксплуатации оборудования.