РОСЭНЕРГОАТОМ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ДИВИЗИОН РОСАТОМА

Акционерное общество
«Российский концерн по производству электрической
и тепловой энергии на атомных станциях»

(АО «Концерн Росэнергоатом»)

ПРИКАЗ

14. 08. 2017 № 9/1091-П

Москва

О введении в действие
И 1.2.1.02.019.1121-2016

В целях повышения эффективности контроля металла оборудования и трубопроводов АЭС

ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Ввести в действие с 10.10.2017 И 1.2.1.02.019.1121-2016 «Определение механических свойств металла оборудования атомных станций безобразцовыми методами по характеристикам твердости. Инструкция» (далее – Инструкция, приложение).

2. Заместителям Генерального директора – директорам филиалов АО «Концерн Росэнергоатом» «Балаковская атомная станция» Бессонову В.Н., «Белоярская атомная станция» Сидорову И.И., «Билибинская атомная станция» Холопову К.Г., «Калининская атомная станция» Игнатову В.И., «Кольская атомная станция» Омельчуку В.В., «Курская атомная станция» Федюкину В.А., «Ленинградская атомная станция» Перегуде В.И., «Нововоронежская атомная станция» Поварову В.П., «Ростовская атомная станция» Сальникову А.А., «Смоленская атомная станция» Лубенскому П.А. принять Инструкцию к руководству и исполнению.

3. Департаменту планирования производства, модернизации и продления срока эксплуатации (Максимов Ю.М.) внести в установленном порядке Инструкцию в подраздел 1.13.1 части III Указателя технических документов, регламентирующих обеспечение безопасности на всех этапах жизненного цикла атомных станций (обязательных и рекомендуемых к использованию).

4. Департаменту инженерной поддержки (Тетерин Ю.П.) обеспечить координацию работ по внедрению Инструкции на АЭС.

gost.e-ecolog.ru

ЛР 140577/11.08

5. Признать утратившим силу с 10.10.2017 приказ ФГУП концерн «Росэнергоатом» от 19.09.2006 № 878 «О введении в действие РД ЭО 0027-2005».

И.о. Генерального директора  А.В. Шутиков

В.М. Григорьев
+7 (495) 783-01-43, доб. 21-29

Приложение к приказу
АО «Концерн Росэнергоатом»
от 14.08.2017 № 9/1091-П

РОСЭНЕРГОАТОМ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ДИВИЗИОН РОСАТОМА

Акционерное общество
«Российский концерн по производству электрической
и тепловой энергии на атомных станциях»

(АО «Концерн Росэнергоатом»)

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель Генерального
директора - директор по
производству и эксплуатации АЭС

А.Г. Жуков
«26» 05 2016

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ОБОРУДОВАНИЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ БЕЗОБРАЗЦОВЫМИ МЕТОДАМИ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ТВЕРДОСТИ

Инструкция

И 1.2.1.02.019.1121 - 2016

Предисловие

1 РАЗРАБОТАНА Акционерным обществом «Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций» (АО «ВНИИАЭС») при участии национального исследовательского университета «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»).

2 ВНЕСЕНА Департаментом инженерной поддержки АО «Концерн Росэнергоатом».

3 ВВЕДЕНА В ДЕЙСТВИЕ приказом АО «Концерн Росэнергоатом» от 14.08.2017 № 9/1091-П.

4 ВЗАМЕН РД ЭО 0027-2005.

Содержание

1		Область применения	1
2		Нормативные ссылки	3
3		Термины и определения	6
4		Обозначения и сокращения	9
5		Описание применяемых видов, методов и способов контроля	10
6		Требования к средствам измерения и вспомогательным приспособлениям	13
	6.1	Общие требования	13
	6.2	Средства измерения статического действия	13
	6.3	Средства измерения динамического действия	20
	6.4	Средства измерения кинетического действия	22
7		Подготовка к проведению контроля	23
8		Порядок проведения контроля	26
9		Оценка качества контролируемого объекта и оформление результатов контроля	30
	9.1	Обработка результатов измерений	30
	9.2	Вычисление значения твердости и оценка погрешности	32
	9.3	Взаимосвязь значений твердости, определяемых различными методами	33
	9.4	Определение характеристик механических свойств металла оборудования и трубопроводов АЭС по результатам испытаний на твердость	37
	9.5	Правила оформления результатов измерений	43
10		Требования к метрологическому обеспечению	44
11		Требования к квалификации персонала	45
12		Требования к безопасности	45

Приложение А (справочное) Классификация методов испытания на твердость 46

Приложение Б (справочное) Общие рекомендации по использованию средств измерения на АЭС 47

Приложение В (справочное) Обзор нестандартных методов определения твердости 49

Приложение Г (рекомендуемое) Методики определения механических свойств по диаграмме автоматического вдавливания шара..... 56

Библиография 67

Введение

В настоящей инструкции по определению механических свойств металла оборудования атомных станций безобразцовыми методами по характеристикам твердости внесены следующие дополнения и изменения:

– расширен перечень материалов, на которые распространяется настоящий документ;

– актуализирована используемая нормативная документация;

– представлена классификация переносных и портативных средств измерения для определения твердости, и приведены новые типы и марки таких средств измерения с рассмотрением принципа действия, функциональных возможностей и областей применения;

– актуализированы формулы для расчета значений твердости по Бринеллю HB 10/3000/10 по значениям твердости HV10, HRC, HRA и HRB для диапазона HB 10/3000/10 = 100…450;

– составлена таблица для взаимного перевода значений твердости по методам Бринелля HB 2,5/187,5/5, Виккерса HV10, Роквелла HRC, HRA и HRB в диапазоне HB 2,5/187,5/5 = 100…450;

– представлены формулы для расчета значений твердости по Бринеллю HB 2,5/187,5/5 по значениям твердости HV10, HRA, HRC и HRB для диапазона HB 2,5/187,5/5 = 100…450;

– уточнены корреляционные связи в виде формул для расчёта механических свойств материалов по твердости;

– учтен опыт применения предыдущей редакции документа.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ОБОРУДОВАНИЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ БЕЗОБРАЗЦОВЫМИ МЕТОДАМИ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ТВЕРДОСТИ

Инструкция

Дата введения - 10.10.2017

1 Область применения

1.1 Инструкция устанавливает основные положения определения кратковременных механических свойств по характеристикам твердости и требования к проведению контроля методами измерения твердости основного металла и сварных швов оборудования и трубопроводов АЭС при эксплуатации.

1.2 Инструкция распространяется на оборудование и трубопроводы 1-4 классов безопасности по НП-001 (за исключением обечаек и сварных швов корпусов ВВЭР, облучаемых флюенсом нейтронов с энергией более 0,5 МэВ, превышающим 10^{22} нейтр/м^2) и их опорные конструкции (включая незаменяемые элементы строительных конструкций для крепления оборудования).

1.3 Настоящая инструкция распространяется на следующие материалы, используемые при изготовлении оборудования и трубопроводов АЭУ и их опорных конструкций:

– углеродистые стали: Ст3сп5, 10, 15, 15Л, 20, 20Л, 20Ш, 20К, 22К, 22К-ВД, 22К-Ш, 25, 25Л, 30, 35, 40, 45;

– кремнемарганцовистые стали: 09Г2С, 15ГС, 15ГС-Ш, 16ГС, 20ГСЛ;

– легированные стали: 20Х, 30Х, 35Х, 40Х,45Х, 45ХН, 10ХСНД, 10ХН1М-Ш, 10Х2М, 10Х2М1ФБ, 10Х2М1ФБ-ВД, 12ХМ, 12МХ, 15ХМ, 20ХМ, 20ХМА, 20ХМЛ, 20ХМФЛ, 15Х1М1ФЛ, 30ХМ, 30ХМА, 35ХМ, 38ХМ, 30ХГСА, 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 15ХШ1ФЛ, 20ХШ1Ф1БР, 25Х2М1Ф, 12Х2МФА, 12Х2МФА-А, 15Х2МФА-А,

15Х2МФА, 18Х2МФА, 25Х2МФА, 25Х3МФА, 15Х3НМФА, 15Х2НМФА-А, 15Х2НМФА, 15Х2НМФА-А, 38ХН3МФА, 38Х2МЮА, 16ГНМА, 10ГН2МФА;

– высокохромистые стали: 08Х13, 12Х13, 20Х13, 20Х13Л, 30Х13, 08Х14МФ, 14Х17Н2, 05Х12Н2М, 20Х12ВНМФ, 06Х12Н3Д, 06Х12Н3ДЛ, 06Х13Н7Д2, 07Х16Н4Б, 07Х16Н4Б-Ш, 09Х17Н, 09Х17Н-Ш, 09ХГ7Н-ВД;

– коррозионно-стойкие стали: 09Х18Н9 (1Х18Н9), 10Х18Н9, 10Х18Н9-ВД, 10Х18Н9-Ш, 12Х18Н9, 08Х18Н10, 06Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 08Х18Н10ТШ, 08Х18Н12Т, 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т, 12Х18Н12Т, 12Х18Н9ТЛ, 12Х18Н12М3ТЛ, 12Х18Н12М3Л, 10Х11Н20Т3Р, 31Х19Н9МВБТ, 10Х11Н23Т3МР, 03Х16Н9М2, 03Х16Н9Н2-ВД, 03Х16Н9Н2-Ш, 08Х16Н11М3, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 03Х17Н14М3;

– железоникелевые сплавы: 03Х21Н32М3Б, ХН35ВТ, ХН35ВТ-ВД, Х20Н46Б;

– алюминий и его сплавы: АД00, АД0, АД1, АД, АВ, АМГ2, АМГ3, САВ1, САВ2;

– медь и ее сплавы: М1, М2, М3; латунь ЛО61-1; бронза БрАЖМц 10-3-1,5,

а также на материалы сварных швов указанных сталей, выполненных согласно ПНАЭ Г-7-009.

1.4 Контроль кратковременных механических свойств в соответствии с настоящей инструкцией производится с целью контроля эффектов механизмов старения металла (изменение механических свойств) и использования полученных результатов при эксплуатации (в том числе при продлении срока службы) тепломеханического оборудования АЭС с целью реализации требований НП-096 (в т.ч. п.33), СТО 1.1.1.01.007.0281 (в т.ч. п. 4.3) и РД ЭО 1.1.2.0774 (в т.ч. раздел 5).

1.5 Требования настоящей инструкции обязательны для применения эксплуатирующей организацией – АО «Концерн Росэнергоатом», и филиалами – атомными станциями. Положения настоящей инструкции являются обязательными при заключении договоров с предприятиями и организациями, осуществляющими проектирование (разработку), поставляющими (в т.ч. по импорту) и применяющими

средства и методики НК твердости и оценки механических свойств металла оборудования, трубопроводов и других элементов АС.

2 Нормативные ссылки

В настоящем документе использованы ссылки на следующие нормативные документы:

НП-001-15 Общие положения обеспечения безопасности атомных станций

НП 084-15 Правила контроля основного металла, сварных соединений и наплавленных поверхностей при эксплуатации оборудования, трубопроводов и других элементов атомных станций

НП-089-14 Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок

НП-096-15 Требования к управлению ресурсом оборудования и трубопроводов атомных станций. Основные положения

ПНАЭ Г-7-010-89 Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля

ПНАЭ Г-7-002-86 Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок

ПНАЭ Г-7-025-90 Стальные отливки для атомных энергетических установок. Правила контроля

ПНАЭ Г-7-009-89 Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка. Основные положения

ГОСТ 2601-84 Сварка металлов. Термины и определения основных понятий

ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики

ГОСТ 2999-75 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу

ГОСТ 3722-2014 Подшипники качения. Шарики стальные. Технические условия

ГОСТ 6996-66 Сварные соединения. Методы определения механических свойств

ГОСТ 9012-59 Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю

ГОСТ 9013-59 Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу

ГОСТ 9031-75 Меры твердости образцовые. Технические условия

ГОСТ 9377-81 Наконечники и бойки алмазные к приборам для измерения твердости металлов и сплавов

ГОСТ 18661-73 Сталь. Измерение твердости методом ударного отпечатка

ГОСТ 18835-73 Металлы. Метод измерения пластической твердости

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

ГОСТ 22762-77 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости на пределе текучести вдавливанием шара

ГОСТ 22975-78 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Роквеллу при малых нагрузках (по Супер-Роквеллу)

ГОСТ 23273-78 Металлы и сплавы. Измерение твердости методом упругого отскока бойка (по Шору)

ГОСТ 23677-79 Твердомеры для металлов. Общие технические требования

ГОСТ 2.102 – 2013. Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов

ГОСТ 2.601-2006 Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы

ГОСТ 8.398-80 Приборы для измерения твердости металлов и сплавов. Методы и средства поверки

ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения

ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007 Металлы и сплавы. Измерение твердости по Виккерсу. Часть 1. Метод измерения

ГОСТ Р 56232-2014 Определение диаграммы «напряжение - деформация» методом инструментального индентирования шара. Общие требования

ГОСТ Р 8.748-2011 (ИСО 14577-1:2002) Металлы и сплавы. Измерение твердости и других характеристик материалов при инструментальном индентировании. Часть 1. Метод испытаний

ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения

ГОСТ Р 8.565-2014 Метрологическое обеспечение атомных станций. Основные положения

ГОСТ Р ИСО 5479-2002 Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения

ОТТ 1.5.2.01.999.0157-2013 Опорные конструкции элементов атомных станций с водо - водяными энергетическими реакторами. Общие технические требования

СТО 1.1.1.01.007.0281-2010 Управление ресурсными характеристиками элементов энергоблоков атомных станций

РД 03-33-2008 Инструкция об организации проведения экспертизы программных средств, применяемых при обосновании и (или) обеспечении безопасности объектов использования атомной энергии

РД 03-34-2000 Требования к составу и содержанию отчета о верификации и обосновании программных средств, применяемых для обоснования безопасности объектов использования атомной энергии

РД ЭО 0282-2005 Инструкция по металлографическому контролю состояния металла оборудования и трубопроводов на атомных электростанциях

РД ЭО 1.1.2.05.0330-2012 Руководство по расчёту на прочность оборудования и трубопроводов реакторных установок РБМК, ВВЭР, ЭГП на стадии эксплуатации, включая эксплуатацию за пределами проектного срока службы

РД ЭО 1.1.2.09.0774-2011 Оценка технического состояния и остаточного ресурса трубопроводов, сосудов и насосов энергоблоков атомных станций. Методика

РД ЭО 1.1.2.01.0318-2014 Метрологическое обеспечение атомных станций.

Метрологическое обеспечение неразрушающего контроля и диагностики. Основные положения

ПР 1.3.3.99.0010-2010 Порядок аттестации контролеров, выполняющих контроль металла действующих АЭС

ПБ 03-440-02 Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля

СТ ЦКБА 091-2011 Арматура трубопроводная. Определение механических свойств стали на основе измерения твердости

3 Термины и определения

В настоящей инструкции применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 головная материаловедческая организация: Головная материаловедческая организация - организация, признанная органом управления использованием атомной энергии компетентной оказывать услуги организациям в сфере ее специализации по выбору и обоснованию применения основных и сварочных материалов, технологий выплавки и разливки металла, термической резки, обработки давлением, сварки, наплавки, термической обработки при конструировании, изготовлении, монтаже и эксплуатации оборудования и трубопроводов АЭУ (НП-089).

3.2 индентор: Изготовленный из алмаза, твёрдого сплава или закаленной стали наконечник прибора, используемого для измерения твёрдости.

3.3 измерение: совокупность операций, выполняемых для определения количественного значения величины (федеральный закон №102-ФЗ [1]).

3.4 компонент: Часть элемента, границы которой проходят по одному или нескольким неразъемным и/или разъемным соединениям (РД ЭО 1.1.2.05.0330).

3.5 конструкторская документация: Графическая и текстовая документация, которая в отдельности или в совокупности определяют состав и устройство элемента и содержат необходимые данные для его разработки или изготовления, контроля,

приемки, эксплуатации и ремонта (ГОСТ 2.102).

3.6 металл шва: Сплав, образованный расплавленным основным и наплавленным металлами или только переплавленным основным металлом (ГОСТ 2601).

3.7 оборудование: работающие под давлением (избыточным, гидростатическим или вакуумметрическим) корпуса реакторов, страховочные корпуса, сосуды, теплообменники, баки, арматура, а также корпуса насосов и фильтров АЭУ (НП-089).

3.8 опорная конструкция: Изделие, предназначенное для восприятия нагрузок и воздействий со стороны опираемого (поддерживаемого или подвешенного) элемента и передачи их на строительные конструкции. Опорная конструкция не является границей давления (ОТТ 1.5.2.011.999.0157).

3.9 поверка средств измерений: совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям (федеральный закон №102-ФЗ [1]).

3.10 сварка: Получение неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании (ГОСТ 2601).

3.11 средство измерения техническое средство, предназначенное для измерений (федеральный закон №102-ФЗ [1]).

3.12 калибровка средств измерений: Совокупность операций по настройке средства измерения выполняемых в целях обеспечения значений метрологических характеристик заданным значениям.

3.13 твердость: Свойство материала сопротивляться упругой и упругопластической деформации или разрушению при внедрении в него другого, более твердого и не получающего остаточной деформации тела индентора.

3.14 трубопровод: Совокупность деталей и сборочных единиц из труб с относящимися к ним элементами (коллекторами, тройниками, переходами, отводами,

арматурой и т.п.), предназначенная для транспортировки рабочей среды от одного оборудования к другому.

3.15 эксплуатирующая организация АС (эксплуатирующая организация): Организация, созданная в соответствии с законодательством Российской Федерации и признанная в порядке и на условиях, установленных Правительством Российской Федерации, соответствующим органом управления использованием атомной энергии пригодной эксплуатировать АС и осуществлять собственными силами или с привлечением других организаций деятельность по размещению, проектированию, сооружению, эксплуатации и выводу из эксплуатации АС, а также деятельность по обращению с ядерными материалами и радиоактивными веществами. Для осуществления этих видов деятельности эксплуатирующая организация должна иметь разрешения (лицензии), выданные органами государственного регулирования безопасности, на право ведения работ в области использования атомной энергии (НП-001).

3.16 эксплуатационные документы: Техническая документация, предназначенная для эксплуатации изделий, ознакомления с их конструкцией, изучения правил эксплуатации (использования по назначению, технического обслуживания, текущего ремонта, хранения и транспортирования), отражения сведений, удостоверяющих гарантированные изготовителем значения основных параметров и характеристик (свойств) изделия, гарантий и сведений по его эксплуатации за весь период (длительность и условия работы, техническое обслуживание, ремонт и другие данные), а также сведений по его утилизации (ГОСТ 2.601).

3.17 элементы АС (элементы): Строительные конструкции, оборудование, приборы, трубопроводы, средства измерения, контроля, управления и автоматики, кабели и другие изделия, обеспечивающие выполнение заданных функций самостоятельно или в составе систем и рассматриваемые в проекте АС в качестве структурных единиц при выполнении анализов надежности и безопасности (НП-001).

4 Обозначения и сокращения

АЭС – атомная электростанция

АЭУ – атомная энергетическая установка

НД – нормативная документация

ПКД – проектно конструкторская документация

РД – руководящий документ

РУ – реакторная установка

СС – сварное соединение

ТУ – технические условия

УРХ – управление ресурсными характеристиками

D – диаметр шарового индентора

α – угол при вершине конического или пирамидального индентора

d – диаметр отпечатка

P – сила, приложенная к индентору

t – время выдержки под нагрузкой

h – глубина вдавливания индентора

R_a – среднее арифметическое отклонение профиля

$R_{p0,2}$ – предел текучести материала при растяжении

R_m – временное сопротивление материала при растяжении

A_5 – относительное удлинение пятикратного образца после разрыва

Z – относительное сужение поперечного сечения образца после разрыва

$H_{0,2}$ – твердость на пределе текучести

HB – твердость по Бринеллю

HB 2,5/187,5/5 – твердость по Бринеллю определенная при применении стального шарика диаметром 2,5 мм, при усилии 187,5 кгс (1837,5 Н) и продолжительности выдержки 5 с

HV – твердость по Виккерсу

HV_c – твердость, определенная при испытании методом ударного отпечатка при испытании коническим индентором

HB_c – твердость, определенная при испытании методом ударного отпечатка при испытании шаровым индентором

HRA – твердость по Роквеллу по шкале А

HRB – твердость по Роквеллу по шкале В

HRC – твердость по Роквеллу по шкале С

HS – твердость по Шору

HSD – твердость по Шору по шкале D

НД – пластическая твердость

HU – универсальная твердость

HM – твердость по Мартенсу

HL – твердость по Лейбу

5 Описание применяемых видов, методов и способов контроля

5.1 Применяемые методы подразделяются на стандартизованные и нестандартизованные[1)].

К стандартизованным методам относятся методы Бринелля, Виккерса, Роквелла и Шора. Значение твердости находится непосредственно из результата испытания (обычно, на основании соотношения приложенной к индентору нагрузки и геометрических параметров отпечатка).

К не стандартизированным методам определения твердости относятся акустико-импедансный и немеханические методы. Эти методы определения твердости применяются дополнительно для повышения статистической достоверности

[1)] Методы для которых стандарты отсутствуют, но приборы реализующие метод разработаны и внесены в федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

результатов, либо для упрощения процедуры контроля в случаях, когда применение других методов затруднено или невозможно. Значение твердости находится на основании корреляционных соотношений с результатами определения твердости, полученными стадартизованными методами.

5.2 В зависимости от характера воздействия наконечника существует три способа измерения твердости:

1) способ вдавливания (внедрения). Характеризует сопротивление металла упругой и упругопластической деформации;

2) способ упругого отскока. Характеризует упругие свойства металла;

3) способ царапания. Характеризует сопротивление металла разрушению путем среза.

5.2 По принципу действия методы определения твердости подразделяются на:

– механические;

– немеханические (бездеформационные).

В ходе испытаний механическими методами производится деформация материала, а в ходе испытаний немеханическими методами – измеряются его физические характеристики, отличные от механических. Механические методы могут быть как прямыми, так и косвенными, немеханические – только косвенными.

Немеханические методы определения твердости могут применяться только для предварительного обследования и выявления неоднородности свойств исследуемого материала. Измерение твердости немеханическими методами настоящей инструкцией не регламентируется.

Схематическое представление классификации механических методов определения твердости представлено в приложении А.

5.3 В зависимости от временного характера приложения нагрузки и измерения параметров вдавливания индентора, механические методы определения твердости подразделяются на:

– статические;

– динамические;

– кинетические.

Статические методы подразумевают медленное приложение нагрузки и выдержку под нагрузкой.

В динамических методах нагрузка прилагается быстро, а выдержка под нагрузкой не предусматривается.

Величины нагрузок и время выдержки определяются в соответствие с государственными стандартами.

В кинетических методах приложение нагрузки производится с ограниченной скоростью. В ходе испытаний производится непрерывная регистрация процесса вдавливания индентора с записью диаграммы «нагрузка на индентор - глубина вдавливания индентора».

Параметры приложения нагрузок определяются в соответствие с методикой измерения.

5.4 По величине прикладываемой нагрузки при вдавливании статические методы определения твердости разделяются: на испытания на микротвердость (нагрузка менее 0,5 кгс (4,9 Н)), испытания на твердость при малых нагрузках (от 0,5 (4,9 Н) до 5 кгс (49 Н)) и испытания на макротвердость (свыше 5 кгс (49 Н)).

5.5 Испытания на микротвердость настоящей инструкцией не регламентируются в связи с тем, что для определения механических характеристик металла необходимо проведение испытаний материала на твердость таким образом, чтобы результат измерений не зависел от структурных неоднородностей тестируемого материала.

5.6 Метод определения твердости выбирается в зависимости от различных факторов:

– твердости материала;

– размеров и формы образцов (детали);

– толщины измеряемого слоя материала;

- задач измерения и условий его проведения;
- других факторов.

6 Требования к средствам измерения и вспомогательным приспособлениям

6.1 Общие требования

6.1.1 Используемые средства измерения должны быть внесены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений и разрешены для использования в сфере Государственного регулирования обеспечения единства измерений (федеральный закон №102-ФЗ [1]), иметь действующие свидетельства о первичной или периодической поверке.

6.1.2 Классифицированный по методам определения твердости список средств измерений, удовлетворяющих п. 6.1.1, представлен в таблицах 1-3.

В соответствии с НП-084, допускается использовать для измерения твердости и другие, в том числе импортные средства измерения, удовлетворяющие требованиям настоящей инструкции и конструкторской документации контролируемого оборудования.

6.1.3 В средствах измерения статического действия могут применяться инденторы, имеющие форму: шарика, пирамиды или конуса.

6.1.4 Общие рекомендации по использованию средств измерения представлены в приложении Б.

6.1.5 Краткое изложение методов, имеющих широкое применение, но не описанных в отечественных стандартах представлено в приложении В.

6.2 Средства измерения статического действия

6.2.1 В таблице 1 перечислены статические методы измерения твердости, приведены ссылки на регламентирующие их стандарты как отечественные, так и соответствующие им международные. Также в таблице приведен краткий перечень средства измерения, реализующих каждый метод.

Таблица 1 - Перечень статических методов измерения твердости и средств измерения, их реализующих

Раздел	Содержание
Наименование метода	Измерение твердости вдавливанием стального шарика по Бринеллю
Стандарт	ГОСТ 9012; ISO 6506 [3]; DIN 50351 [4]; ASTM E10 [5].
Обозначения	Число твердости обозначается цифрами со стоящим после них символом НВ. При условиях испытаний отличных от стандартных (диаметр шарика D = 10 мм нагрузка P=3000 кг, время выдержки под нагрузкой t=10…15 с) после букв НВ указываются условия испытаний – *HB D/P/t.* При испытаниях с индентором из карбида вольфрама символ НВ дополняется буквой W (HBW). В зарубежных источниках также используется обозначение вида HB/*K*, где $K=P/D^2$
Средства измерения*	ИТ 5010, серия ТБ (модели ТБ 5004, ТБ 5004-03, ТБ 5056, ТБ 5056-02, ТШ-2М) (ООО «Завод испытательных приборов» (ЗИП) г. Иваново); УТ 5011, УТ 5011А, ТБ 5005А, ТРБ 5010, ТРБ 5010А (ООО «Точприбор Северо-Запад», г.С.-Петербург); ТБ-3000 (ООО «Импульс», г. Иваново); ПИМ-ДВ-1 (ООО «НПП «РобоТест», г.Москва); FB-3000LC (FUTURE-TECH CORP., Япония); NEXUS 3200 BIOS, NEXUS 3200XLM BIOS, NEXUS 3001XLM-IMP («INNOVATEST Europe BV», Нидерланды); LECO мод. DTLC-3000 и LCB-3100 («Sun-Tec Corporation», США); ВН3000 («ITW Test & Measurement GmbH», Германия); KB 3000, KB 1000, KB 750, KB 250 («KB Pruftechnik GmbH», Германия; ZHB 3000, BRIN200 A, BRIN200 D, BRIN200 M («Indentec hardness testing machines limited», Великобритания) и др.
Наименование метода	Измерение твердости по Бринеллю средствами измерения
Стандарт	ГОСТ 22761
Обозначения	Число твердости обозначается цифрами со стоящим после них символом НВ (например, 150 НВ 2,5/187,5/5)
Средства	ТБП 5013, ИТ 5160 (ООО «Завод испытательных приборов» (ЗИП),

Раздел	Содержание
измерения*	г. Иваново); ИТ 5160 («Точприбор», г. Иваново) и др.
Наименование метода	Измерение твердости алмазной пирамидой по Виккерсу
Стандарт	ГОСТ 2999; ГОСТ Р ИСО 6507-1; ISO 6507 1 [6]; DIN 50133 [7]; ASTM E92 [8].
Обозначения	Число твердости обозначается цифрами, характеризующими величину твердости со стоящим после них символом HV. При условиях испытаний отличных от стандартных (нагрузка P = 30 кгс (294Н) и времени выдержки под нагрузкой t = 10...15 с) после букв HV указываются условия испытаний – HV P/t.
Средства измерения*	ИТ 5010 (ООО «Завод испытательных приборов» (ЗИП), г.Иваново); ТП-7р-1, ТПП-2, ТВП-5012 (ПО «Точприбор», г. Иваново); ТВМ 1000 (ООО «Точприбор Северо-Запад», г.С.-Петербург); серия UH («ITW Test & Measurement GmbH, Reicherter Wolpert - Wilson hardness group», Германия); DuraScan 10, DuraScan 20, DuraScan 50, DuraScan 70, DuraScan 80 («EMCO-TEST PrufmaSchinen GmbH», Австрия); ZHV 10 («Zwick GmbH & Co. KG», Германия); NEXUS 4303, NEXUS 4303-IMP, NEXUS 4504, NEXUS 4504-IMP («INNOVATEST Europe BV», Нидерланды); LMV-50V, LV800, LV800L (Leco Corporation, США); ZHV 30-M, ZHV 30-S, ZHV 30-A, ZHV 50-M, ZHV 50-S, ZHV 50-A («Indentec hardness testing machines limited», Великобритания); FV800, FV300 («FUTURE-TECH CORP.», Япония); ZHV 10 («Zwick GmbH & Co. KG», Германия) и др.
Наименование метода	Измерение твердости по Роквеллу
Стандарт	ГОСТ 9013; ISO 6508 [9]; DIN 50103/1 [10]; ASTM E 18 [11].
Обозначения	Число твердости обозначается цифрами со стоящим после них символом HRA, HRB или HRC (в зависимости от используемой шкалы измерения)
Средства измерения*	ТР (мод. ТР 5006, ТР 5006М, ТР 5006-02, ТР 5014, ТР 5014-01, ТР-5014-01М, ТР 5043, ТР 5043-01) ООО «Завод испытательных

Раздел	Содержание
	приборов» (ЗИП), г. Иваново; 2140 ТР; ТР 5008, ТР 5008А, ТРБ 5010, ТРБ 5010А, ТРС 5009 и ТРС 5009А (ООО «Точприбор Северо-Запад», г.С.-Петербург); 8150, 8150 BK, 8150 LK, 8150 SK, 8150 TK, 4150 AK, 4150 BK, 4150 LK, 4150 SK, 4150 TK, 8150 («Indentec», Великобритания); NEXUS 610RS, NEXUS 610RSB, VERZUS 700RS, VERZUS 710RS, VERZUS 710RSB, NEMESIS 9000RS («INNOVATEST Europe BV», Нидерланды); TH500, TH550, TH300, TH301, HR-150A («Time Group Inc.», Китай); N7P, DuraJet, N3A, («EMCO-TEST PrufmaSchinen GmbH», Австрия); LR-100RD, LR-100RDL, LR-100R, LR-300TD, LR-300TDL («Leco Corporation», США); RB2000, R574 («ITW Test & Measurement, GmbH - Wilson hardness group», Германия); KB 150 («KB Pruftechnik GmbH», Германия) и др.
Наименование метода	Измерение твердости при малых нагрузках по Супер-Роквеллу
Стандарт	ГОСТ 22975; ISO 1024 [12]; DIN 50103/2 [13]; ASTM E 18 [11].
Обозначения	Число твердости обозначается цифрами со стоящим после них символом HRN или HRT (в зависимости от используемой шкалы измерения) и значением приложенной общей нагрузки P^{l}.
Средства измерения*	ТРС 5009 и ТРС 5009А (ООО «Точприбор Северо-Запад», г.С.-Петербург); KB 150 («KB Pruftechnik GmbH», Германия); DuraJet, N3A («EMCO-TEST PrufmaSchinen GmbH», Австрия); 8150, 8150 BK, 8150 LK, 8150 SK, 8150 TK, 4045 AK, 4045 BK, 4045 LK, 4045 SK, 4045 TK, 8150 («Indentec», Великобритания); LR-300TD, LR-300TDL («Leco Corporation», США) и др.
Наименование метода	Измерение твердости на пределе текучести вдавливанием шара
Стандарт	ГОСТ 22762
Обозначения	Число твердости обозначается цифрами со стоящим после них символом $H_{0,2}$ и с указанием размерности.
Средства измерения*	МЭИ-Т7 (ПО "Азотреммаш", г. Тольятти) и др.

Раздел	Содержание
Наименование метода	Измерение пластической твердости
Стандарт	ГОСТ 18835
Обозначения	Число твердости обозначается цифрами со стоящим после них символом НД
Наименование метода	Метод акустического импеданса
Стандарт	Стандартами не регламентируется
Средства измерения*	МЕТ-У1, МЕТ-У1А, МЕТ-У2, МЕТ-HRC, МЕТ-HB, МЕТ-HV, МЕТ-HSD (ООО «Центр «МЕТ», г. Москва); Константа ТУ (ЗАО «Константа», г. С.-Петербург); MIC 10, MIC 10DL, MIC 20 («GE Sensing & Inspection Technologies GmbH», Германия); ТКМ-459 (ООО «НПП «Машпроект», г.С.-Петербург); Инатест (ООО НПО «ИНАКОН», г. Москва) и др.
Примечание	Краткое описание метода дано в В.3 (приложение В).
* Средства измерения других типов/марок/производителей при условии соответствия требованиям настоящей инструкции. / По международным стандартам значение приложенной нагрузки ставится перед символами "N" или "T"	

6.2.2 Шарики, применяемые в качестве инденторов при измерении твердости, должны соответствовать следующим требованиям:

– материал для шариков - термически обработанная сталь или твердосплавный материал с твердостью по Виккерсу не ниже HV 850;

– шарик не должен иметь поверхностных дефектов, видимых с помощью лупы при пятикратном увеличении;

– допускаемые отклонения по диаметру шарика должны соответствовать требованиям ГОСТ 9012.

6.2.3 Пирамиды, применяемые в качестве инденторов при измерении твердости, должны соответствовать следующим требованиям ГОСТ 9377 и ГОСТ 2999:

– материал для пирамиды – алмаз;

– пирамида должна иметь правильную четырехгранную форму с углом между противоположными гранями при вершине 136°;

– все грани пирамиды должны быть наклонены к оси под одним и тем же углом, с отклонениями от номинала в пределах 30';

– длина линии стыка противоположных граней пирамиды должна быть не более 0,002 мм;

– рабочая часть алмаза должна составлять не менее 0,3 мм по оси алмаза;

– грани алмазной пирамиды должны быть тщательно отполированы и свободны от трещин и других поверхностных дефектов, видимых при тридцатикратном увеличении.

6.2.4 Алмазные наконечники, применяемые в качестве инденторов при измерении твердости по Виккерсу, должны согласно ГОСТ 2999 соответствовать требованиям ГОСТ 9377, приведённым в п. 6.2.3.

6.2.5 Шариковые наконечники, применяемые в качестве инденторов при измерении твердости по Бринеллю, должны соответствовать требованиям п. 6.2.2 и иметь диаметр 1; 2; 2,5; 5 или 10 мм согласно ГОСТ 9012.

6.2.6 Шариковые наконечники, применяемые в качестве инденторов при измерении твердости по Бринеллю переносными твердомерами, должны соответствовать требованиям п. 6.2.2 и, согласно ГОСТ 22761, иметь диаметр 1 или 2,5; допускается также применять шарики с D равным 5 и 10 мм.

6.2.7 Шариковые наконечники, применяемые в качестве инденторов при измерении твердости по Роквеллу, должны соответствовать требованиям п. 6.2.2 и иметь диаметр 1,588 мм согласно ГОСТ 9013.

6.2.8 Алмазные наконечники, применяемые в качестве инденторов при измерении твердости по Роквеллу, должны согласно ГОСТ 9013 соответствовать следующим требованиям:

– представлять собой конус с углом при вершине 120° и радиусом закругления при вершине 0,2 мм;

– соответствовать ГОСТ 9377.

6.2.9 Шариковые наконечники, применяемые в качестве инденторов при измерении методом твердости на пределе текучести вдавливанием шара, должны соответствовать требованиям п. 6.2.2 и иметь диаметры применяемых шариков 10, 20, 30, 40, 50 мм согласно ГОСТ 22762.

6.2.10 Шариковые наконечники, применяемые в качестве инденторов при измерении пластической твердости, должны соответствовать требованиям п. 6.2.2 и иметь диаметр не менее 1,5 мм согласно ГОСТ 18835.

6.2.11 Для определения пластической твердости (см. приложение к ГОСТ 18835) твердомеры должны быть оснащены приспособлениями для измерения глубины отпечатков с ценой деления 0,001 мм. Цена деления устройства для измерения диаметра отпечатка при определении НВ не более 0,05 мм.

6.2.12 Пределы допускаемой погрешности измерительного устройства стационарных твердомеров, реализующих метод измерения твердости вдавливанием стального шарика по Бринеллю, не должны превышать ±0,01 мм на одно миллиметровое деление шкалы и ±0,02 мм – на всю длину шкалы в соответствии с ГОСТ 23677.

6.2.13 Пределы допускаемой погрешности измерительного устройства статических твердомеров, реализующих метод измерения твердости алмазной пирамидой по Виккерсу, не должны превышать ±0,001 мм при измерении диагоналей длиной до 0,2 мм включительно и ±0,5% от измеряемой величины – при измерении диагоналей длиной свыше 0,2 мм в соответствии с ГОСТ 23677.

6.2.14 Для проверки погрешности измерения твердости твердомеры должны быть укомплектованы образцовыми мерами твердости второго разряда по ГОСТ 9031 в соответствие с ГОСТ 23677 (таблица 6).

6.2.15 Универсальные и специальные твердомеры комплектуют средствами поверки в соответствии с требованиями технических условий на твердомеры конкретного типа, согласованных и утвержденных в установленном порядке.

6.2.16 Твердомеры должны быть укомплектованы плоскими и призматическими столиками.

6.3 Средства измерения динамического действия

6.3.1 В таблице 2 перечислены динамические методы измерения твердости и краткий перечень наиболее известных средств измерения, реализующих каждый метод.

Таблица 2 - Перечень динамических методов измерения твердости и средств измерения их реализующих

Раздел	Содержание
Наименование метода	Измерение твердости методом ударного отпечатка
Стандарт	ГОСТ 18661
Обозначения	Число твердости обозначается цифрами со стоящим перед ними символом: при испытании коническим индентором – HV_c и при испытании шариковым индентором – HB_c
Средства измерений*	ТДМ-3 (ООО «Научно-промышленная компания «ЛУЧ», г. Москва); Equotip Piccolo, Equotip Piccolo 2, Equotip Bambino, Equotip Bambino 2 («PROCEQ SA», Швейцария) и др.
Наименование метода	Измерение твердости по Шору – метод упругого отскока бойка
Стандарт	ГОСТ 23273
Обозначения	Число твердости обозначается цифрами со стоящим после них символом HSD
Средства измерений*	2033 ТИР-Р, 2033 ТИР-РА (ООО «Импульс», г. Иваново); ТВР-А, ТВР-АМ, ТВР-D, ТВР-DM (ООО «Восток-7», г. Москва) и др.
Наименование метода	Измерение твердости по Лейбу
Стандарт	В России не регламентирован. ASTM A 956 [14]; DIN 50156-1 [15].
Обозначения	Число твердости обозначается цифрами со стоящим после них символом *HL (альтернативное обозначение L)*
Средства измерений*	ТЭМП-2, ТЭМП-3, ТЭМП-4 (ООО «НПП «Технотест», г. Москва); Equotip Piccolo, Equotip Piccolo 2, Equotip Bambino, Equotip Bambino 2, Equotip 2, Equotip 3 («PROCEQ SA», Швейцария);

Раздел	Содержание
	DynaMIC, DynaMIC DL (Фирма «Agfa NDT GmbH-Krautkramer Ultrasonic Systems», Германия); МИНИКОН 960 (ООО «АКТЕСТ», г. Москва); ТКМ-359 (ООО «НПП «Машпроект», г.С.-Петербург); Константа ТД (ЗАО «Константа», г. С.-Петербург) и др.
Примечание	Краткое описание метода дано в В.2 (приложение В).
* Твердомеры других типов/марок/производителей при условии соответствия требованиям настоящей инструкции.	

6.3.2 Средства измерений, основанные на методе Лейба, используют для определения твердости по шкале Бринелля, Виккерса или Роквелла.

6.3.3 Конические наконечники, применяемые в качестве инденторов при измерении сравнительной твердости по Виккерсу методом ударного отпечатка, должны соответствовать требованиям ГОСТ 18661:

- изготавливаться из твердого сплава;
- иметь образующие углы при вершине (136±10) °;
- иметь закругление вершины с радиусом не более 0,2 мм.

6.3.4 Шаровые наконечники, применяемые в качестве инденторов при измерении сравнительной твердости по Бринеллю методом ударного отпечатка, должны соответствовать требованиям п. 6.2.2 и иметь диаметры применяемых шариков 5 и 10 мм согласно ГОСТ 18661.

6.3.5 Наконечники, применяемые в качестве инденторов при измерении твердости по Шору, должны соответствовать требованиям ГОСТ 23273:

- материал – алмаз;
- наконечник имеет фору тела вращения с радиусом закругления рабочего конца R = 1,0 ± 0,1 мм согласно ГОСТ 9377;
- масса бойка вместе с алмазным индентором составляет (36,0±0,5) г согласно ГОСТ 9377.

6.4 Средства измерений кинетического действия

6.4.1 В таблице 3 перечислены кинетические методы измерения твердости и краткий перечень наиболее известных средств измерения, реализующих каждый метод.

Таблица 3 - Перечень кинетических методов измерения твердости и средств измерения их реализующих

Раздел	Содержание
Наименование метода	Испытания на непрерывное вдавливание алмазной пирамиды при инструментальном индентировании
Стандарт	ГОСТ Р 8.748 (ИСО 14577-1); DIN 50359 [16]; ISO 14577 [17].
Обозначения	Согласно DIN 50359 [16] число твердости обозначается цифрами со стоящим после них символом HU; Согласно ISO 14577 [17] число твердости обозначается цифрами со стоящим после них символом HM
Средства измерения*	Не представлены в Госреестре средств измерения
Примечание	Согласно ISO 14577 [17] от 05.2003 универсальная твердость получила новое наименование - «твердость по Мартенсу». Краткое описание метода дано в приложении В
Наименование метода	Метод инструментального индентирования шара
Стандарт	ГОСТ Р 56232; ASTM WK381 [18].
Средства измерения*	ТЕСТ-5У (ООО «НСУЦ «ЦМиР», г. Жуковский); ПИТМ-ДВ-02 (НПФ «Экспресс-измерения», г. Москва) и др.
Примечание	Описание методик определения механических свойств дано в приложении Г.
* Средства измерения других типов/марок/производителей при условии соответствия требованиям настоящей инструкции.	

6.4.2 Средства измерения, реализующие метод кинетического индентирования, должны обеспечивать:

– плавное изменение прилагаемой нагрузки;

– непрерывную оцифровку результатов показаний датчиков приложенной к индентору силы и перемещения индентора.

6.4.3 Алмазные наконечники, применяемые в качестве инденторов при измерении универсальной (кинетической) твердости, должны соответствовать требованиям п. 6.2.3.

6.4.4 Шаровые наконечники, применяемые в качестве инденторов при измерении твердости методом автоматического вдавливания шара, должны соответствовать требованиям п. 6.2.2.

В качестве инденторов используют шарики из твердых сплавов с номинальными диаметрами 1, 2, 2,5, 5 и 10 мм. Помимо шариков могут быть использованы шаровые сегменты, либо стержни с закруглением на конце. Радиус закругления, твердость и модуль упругости должны соответствовать требованиям ГОСТ 3722 для третьей степени точности. Шарики не должны иметь дефектов, видимых с помощью лупы при 5-кратном увеличении.

7 Подготовка к проведению контроля

Для достоверности результатов проведения контроля, необходимо подготовить поверхность металла в месте проведения измерений твердости.

7.1 На контролируемой поверхности изделия производится зачистка участка измерения так, чтобы края отпечатка после измерения твердости были достаточно отчетливы для измерения его размеров с требуемой точностью.

7.2 При испытаниях на криволинейных поверхностях радиус кривизны образца (изделия) должен быть не меньше величины 5D в случае, когда проводится испытание шаровым индентором или 5 мм в случае вдавливания пирамиды или конуса.

7.3 При механической обработке поверхности испытуемого изделия необходимо принять меры предосторожности против возможного нагрева или наклепа поверхности, так как это может привести к изменениям твердости испытуемой поверхности.

7.4 Поверхность изделия (образца), на которой определяется твёрдость, должна быть:

– сухой и чистой;

– ровной и плоской;

– должна быть без следов окалины, ржавчины, краски, грубых рисок, выбоин, канавок, царапин и других посторонних включений;

– зачищена до металлического блеска и отшлифована до параметров шероховатости, соответствующих требованиям ГОСТ и руководства по эксплуатации средства измерения, для данного метода измерения и типа средства измерения;

– недопустимо обезуглероживание поверхностного слоя и наклеп от холодной обработки или отпуск при излишнем нагреве.

7.5 Поверхность обрабатывается в два-три этапа со сменой направления обработки на 90° до удаления рисок от предыдущей обработки.

7.6 Конечное число этапов зачистки поверхности испытуемого металла определяется требованиями к шероховатости этой поверхности согласно ГОСТ 2789.

7.7 Подготовка (зачистка) контролируемой поверхности проводится в следующем порядке:

– удаление дефектов поверхности с толщиной снимаемого слоя от 0,25 до 1,5 мм. Механическая зачистка производится шлифмашинкой с крупнозернистой шлифовальной бумагой. Ручная зачистка производится драчевым напильником;

– шлифование с толщиной снимаемого слоя от 0,1 до 0,25 мм. Достигаемый параметр шероховатости Ra находится в пределах от 0,15 до 3,2 мкм. Механическая зачистка производится шлифмашинкой с мелкозернистой шлифовальной бумагой. Ручная зачистка производится шлифовальной бумагой;

– полирование с толщиной снимаемого слоя до 0,05 мм. Достигаемый параметр шероховатости Ra находится в пределах от 0,025 до 0,40 мкм. Механическая зачистка производится полировальным сукном, половина цилиндрической поверхности которого покрывается алмазной пастой или пастой ГОИ. При ручной полировке на полировальное сукно последовательно наносятся алмазные пасты

различной зернистости. После достижения зеркального состояния поверхности, поверхность очищается от пасты.

7.8 Рекомендуемая глубина снимаемого слоя при зачистке:

- ковано-штампованные поверхности не более 2 мм;
- поверхности литых деталей не более 4 мм.

7.9 Место для проведения испытания на твердость должно располагаться на линии, проходящей через центр подготовленной площадки и параллельной оси трубы. На рисунке 1 представлена номограмма, по которой определяется глубина снятого слоя в зависимости от ширины зачищенной площадки и диаметра трубы.

7.10 В случае отсутствия ясно выраженных границ сварного соединения, в местах зачистки рекомендуется провести травление зоны сварного шва в соответствии с РД ЭО 0282. Необходимость и возможность проведения травления определяется отдельным решением.

7.11 Фактическая толщина металла после зачистки не должна лежать ниже предельно допустимой толщины в соответствии с государственным стандартом или техническими условиями на изделие. В случае, если необходимая зачистка сделает металл тоньше ниже предельно допустимых значений толщины по стандартам или техническим условиям, то необходимо выбрать другое место для проведения испытаний. Если возможность выбора другого места исключена, то вопрос о проведении испытаний согласовать с Головной материаловедческой организацией.

В отдельных случаях, допустимое для измерений состояние поверхности определяется требованиями документации на средство измерения (паспорт, инструкция и др.).

7.12 Подготовка средства измерения к проведению измерений производится в соответствии с документацией на средство измерения (паспорт, инструкция и др.).

7.13 При необходимости для подтверждения метрологических характеристик проводится калибровка средств измерений. Калибровка осуществляется согласно методики калибровки или инструкции на средство измерения на образцовых мерах

твердости (меры твердости согласно ГОСТ 9031). В ходе калибровки определяются корреляционные зависимости, на основании которых показания средства измерения автоматически преобразуются в значения твердости по соответствующим стандартным шкалам Виккерса, Бринелля, Роквелла.

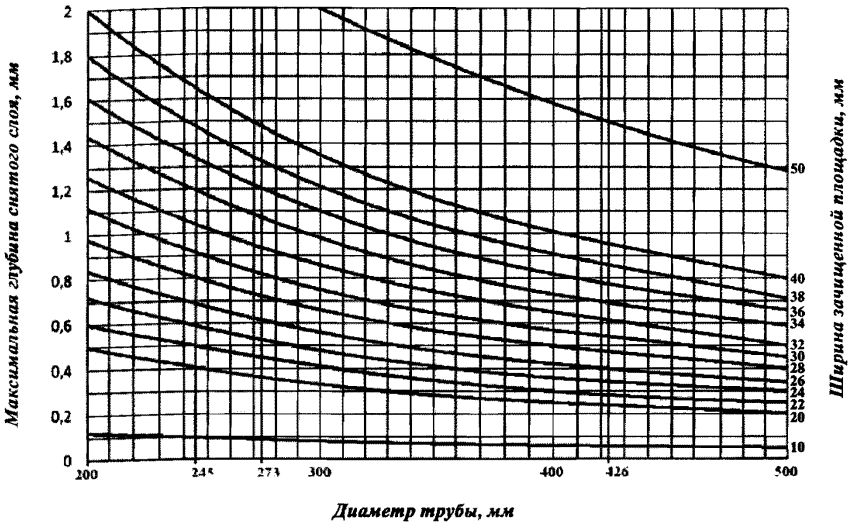


Рисунок 1 - Номограмма для определения глубины снятого слоя в зависимости от диаметра труб и ширины зачищенной площадки

8 Порядок проведения контроля

8.1 При измерении твердости стандартизованными методами должны быть соблюдены требования соответствующих стандартов: ГОСТ 9012; ГОСТ 22761; ГОСТ 2999; ГОСТ 9013; ГОСТ 22975; ГОСТ 22762; ГОСТ 18835; ГОСТ Р ИСО 6507-1; ГОСТ 18661; ГОСТ 23273; ГОСТ Р 56232.

Измерение твердости не стандартизованными методами выполняется в соответствии с требованиями паспорта и/или руководства (инструкции) по эксплуатации средство измерения.

При измерении твердости металла отливок должны быть соблюдены требования ПНАЭ Г-7-025.

При измерении твердости металла на вырезках сварных соединений должны быть соблюдены требования ГОСТ 6996.

Измерения проводятся (если другое не установлено инструкцией по эксплуатации средства измерения) при:

- температуре воздуха от 15^0С до $28\ ^0$С.
- относительной влажности воздуха (65 ± 15) %.

При разногласиях в результатах измерения твердости проводят при температуре (23±5) °С.

8.2 Измерение твердости средствами измерения статического действия производится в следующем порядке:

- индентор приводится в соприкосновение с подготовленной поверхностью в направлении, перпендикулярном к испытуемой площадке;
- для методов определения твердости по глубине вдавливания к индентору прикладывается предварительная нагрузка;
- к индентору прикладывается окончательная нагрузка;
- производится выдержка под нагрузкой;
- в случае использования методов Роквелла, Супер-Роквелла производится определение глубины вдавливания после снятия основной нагрузки;
- в случае использования метода акустического импеданса определяется площадь отпечатка без снятия нагрузки;
- в остальных случаях – после отвода индентора производится измерение геометрических размеров отпечатка.

Продолжительность приложения нагрузки и время выдержки под нагрузкой должны соответствовать стандартам, регламентирующим используемый метод испытания.

8.3 При измерении твердости средствами измерения статического действия должны быть соблюдены следующие условия:

– индентор с подготовленной площадкой должен соприкасаться и вдавливаться без удара;

– обеспечение плавного возрастания нагрузки;

– поддержание постоянства нагрузки в течение установленного времени;

– обеспечение перпендикулярности приложения нагрузки по отношению к испытуемой поверхности;

– при проведении измерений непосредственно на оборудовании переносными средствами измерения, при необходимости, обеспечить жесткую связь средства измерения с испытуемым изделием при помощи струбцины, цепного или магнитного захвата;

– расстояние между центром отпечатка и краем образца или соседнего отпечатка должно быть не менее 2,5 диаметра (длины диагонали) отпечатка;

– толщина объекта измерения должна быть не менее десятикратной глубины отпечатка;

– испытуемое изделие на время проведения измерений должно находиться в разгруженном состоянии от основных рабочих нагрузок.

8.4 Измерение твердости средствами измерения динамического действия производится в следующие этапы:

– при измерении методом ударного отпечатка в поверхность контрольного бруска и испытуемого образца (изделия) ударным способом внедряется индентор. После отвода индентора производится измерение геометрических размеров отпечатка;

– при измерении методом Шора и Лейба боек с индентором на конце падает на испытуемую поверхность материала, по характеристикам отскока бойка (для метода Шора – по высоте отскока, для метода Лейба – по скорости отскока) рассчитывается значение твердости.

8.5 При измерении твердости средством измерения динамического действия должны быть соблюдены следующие условия:

– обеспечена перпендикулярность движения индентора по отношению к испытуемой поверхности;

– расстояние между центром отпечатка при измерении методом Лейба и краем образца или соседнего отпечатка должно быть не менее 2,5 диаметра отпечатка;

– объект не должен быть намагниченным;

– не рекомендуется проводить измерения твердости методом Лейба и Шора на изделиях толщиной менее 10 мм;

– для средства измерения ударного действия должны быть соблюдены требования ГОСТ 18661.

8.6 Измерение твердости средствами измерения кинетического действия производится в следующие этапы:

– индентор приводится в соприкосновение с подготовленной поверхностью в направлении, перпендикулярном к испытуемой площадке;

– к индентору прикладывается плавно возрастающая нагрузка;

– производится выдержка под нагрузкой;

– производится плавное снятие нагрузки на индентор;

– в ходе нагружения производится запись диаграммы вдавливания в координатах «глубина вдавливания индентора – приложенная к индентору сила».

8.7 При измерении твердости кинетическим методом должны быть соблюдены следующие условия:

– выполнены требования п. 8.3;

– обеспечено постоянство скорости перемещения индентора при нагружении;

– скорость пластической деформации материала под индентором должна быть сопоставима со скоростью деформации материала при испытаниях на одноосное растяжение.

8.8 Места и количество измерений твердости определяются в ПКД и эксплуатационной документации. В случае отсутствия в ПКД и эксплуатационной документации требований, рекомендуется принять к руководству следующие требования.

8.8.1 Измерение твердости оборудования рекомендуется проводить в следующих объемах и зонах:

1) одно сварное соединение каждого компонента (две зоны основного металла и одна зона металла шва);

2) в одной зоне для основного металла каждого компонента (для компонентов, не имеющих СС).

Контроль рекомендуется проводить в первую очередь для продольных сварных соединений или пересечений сварных соединений.

8.8.2 Измерение твердости трубопроводов рекомендуется проводить в следующих объемах и зонах:

1) одно СС каждого типоразмера;

2) один гиб каждого типоразмера.

8.8.3 Количество измерений в одной контролируемой зоне должно составлять не менее 8 (в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5479).

9 Оценка качества контролируемого объекта и оформление результатов контроля

9.1 Обработка результатов измерений

Обработка результатов измерений включает в себя следующие этапы:

– вычисление значений твердости, получаемых непосредственно в результате серии испытаний и оценка погрешности полученного значения твердости согласно подразделу 9.2;

– пересчет, если это необходимо, полученного значения твердости в значение твердости по требуемой шкале (например, перевод в единицы по шкале Бринелля

производится как промежуточный этап при расчете механических свойств) согласно подразделу 9.3;

– расчет значений механических свойств по характеристикам твердости и оценка погрешности полученных значений механических свойств согласно подразделу 9.4 настоящей инструкции.

Оценка качества контролируемого объекта производится путем сопоставления результатов измерений твердости и оценки механических свойств с требованиями технических условий, ГОСТ, ПКД и/или нормативной документации.

Результаты оценки механических свойств сравниваются с требованиями технических условий, ГОСТ, ПКД и/или следующей нормативной документации (в области ее действия):

– для основного металла оборудования и трубопроводов по ПНАЭ Г-7-002-86;

– для металла шва оборудования и трубопроводов по ПНАЭ Г-7-010-89;

– для основного металла и металла шва опорных конструкций по ОТТ 1.5.2.011.999.0157.

Неудовлетворительными считаются следующие результаты:

– среднее значение твердости в серии измерений одной зоны с учетом прибавки к нему погрешности средства измерения ниже требований НД и/или ПКД;

– среднее значение механических свойств металла (предела текучести $R_{p0,2}$, временного сопротивления R_m, относительного удлинения A_5 и относительного сужения Z) определенное путем пересчета значений твердости по зависимостям таблицы 8 с учетом прибавки к нему погрешности пересчета, ниже требований НД и/или ПКД.

При неудовлетворительных результатах измерений твердости и оценки механических свойств, контроль осуществляется повторно, число измерений и объем контроля удваивается.

В случае повторного получения неудовлетворительных результатов замеров твердости и оценки механических свойств необходимо выполнить не менее одного из перечисленного:

– измерение твердости на стационарных средствах измерения;

– испытания на одноосное растяжение натурных образцов (при наличии возможности вырезки и подготовки требуемых образцов);

– расчет подтверждающий возможность дальнейшей эксплуатации контролируемого элемента с выявленными отклонениями.

С целью подтверждения отсутствия недопустимого изменения механических свойств в процессе эксплуатации, необходимо предусмотреть повторные замеры твердости и оценку механических свойств элемента с выявленными отклонениями характеристик в рамках реализации программы УРХ.

9.2 Вычисление значения твердости и оценка погрешности

Вычисление итогового значения твердости производится по серии испытаний. Для каждого испытания производится расчет значения твердости.

При измерении стандартизованным методом, процедура расчета значения твердости должна выполняться в соответствии с регламентирующим данный метод стандартом.

Для средств измерения, реализующих нестандартизованные методы, и удовлетворяющих п. 6.1.1, расчет производится в соответствии с документацией на средство измерения (паспорт, инструкция и др.).

Статистическая обработка результатов испытаний при необходимости (если другое не установлено инструкцией по эксплуатации на средство измерения) проводится в соответствии с ГОСТ Р 8.736.

9.3 Взаимосвязь значений твердости, определяемых различными методами

9.3.1 При сопоставлении значений твердости, полученных различными методами, необходимо помнить, что:

– зависимости для такого перевода являются эмпирическими;

– при одном и том же способе измерения твердости ее значение зависит от нагрузки: при меньших нагрузках значения твердости получаются более высокими.

9.3.2 Сопоставляемые значения твердости по Бринеллю, Виккерсу и Роквеллу приведены в таблице 4 [19]. Твердость по Бринеллю определялась вдавливанием стального шарика диаметром 10 мм под нагрузкой 3000 кГ (29430 Н) с выдержкой под нагрузкой 10 секунд. Твердость по Роквеллу определялась по шкале «С» под общей нагрузкой 150 кГ, по шкале «В» под общей нагрузкой 110 кГ и по шкале «А» под общей нагрузкой 60 кГ с выдержкой под нагрузкой 10 секунд.

Требуемая точность прикладываемой нагрузки и определения времени выдержки обеспечивалась используемыми средствами измерения.

Уравнения перевода определяемых различными методами значений твердости в значения твердости по Бринеллю для сталей с различным уровнем твердости в диапазоне 100…450 НВ 10/3000 представлены в таблице 5.

Значения твердости по Бринеллю НВ 2,5/187,5/5В, измеренные переносными средствами измерения, снабженными стальным закаленным шариком диаметром D равным 2,5 мм, будут несколько выше, чем значения твердости НВ 10/3000 из-за влияния масштабного фактора. Поэтому формулы пересчета значений НВ по значениям твердости HV, HRC, HRB и HRA будут отличаться от вышеприведенных формул.

Результаты определения твердости представлены в таблице 6, а уравнения перевода определяемых различными методами значений твердости в значение твердости по Бринеллю НВ 2,5/187,5/5 – в таблице 7.

Твердость по Бринеллю определялась вдавливанием стального шарика диаметром 2,5 мм под нагрузкой 187,5 кГ (1840 Н) с выдержкой под нагрузкой 5 секунд. Твердость по Виккерсу определялась под нагрузкой 10 кГ (98,1 Н) с выдержкой под нагрузкой 10 секунд. Твердость по Роквеллу определялась по шкале «С» под общей нагрузкой 150 кГ, по шкале «В» под общей нагрузкой 100 кГ с выдержкой под нагрузкой 10 секунд и по шкале «А» под общей нагрузкой 60 кГ с выдержкой под нагрузкой 5 секунд.

Таблица 4 – Соотношения между значениями твердости, определенными методами Виккерса (HV), Роквелла (HRA, HRB, HRC) и Бринелля (НВ 10/3000)

Твердость по Бринеллю НВ 10/3000, кГ/мм^2	Твердость по Виккерсу HV, кГ/мм^2	Твердость по Роквеллу			Твердость по Бринеллю НВ 10/3000, кГ/мм^2	Твердость по Виккерсу HV, кГ/мм^2	Твердость по Роквеллу		
		HRC	HRA	HRB			HRC	HRA	HRB
451	490	47.0	74.4		201	201		59.0	93.6
444	481	46.5	74.1		197	197		58.4	92.6
435	468	45.7	73.6		193	193		57.9	91.8
426	456	44.9	73.2		190	190		57.5	91.1
417	445	44.1	72.7		187	187		57.1	90.5
409	434	43.3	72.3		184	184		56.6	89.7
401	424	42.6	71.9		181	181		56.3	89.1
393	414	41.9	71.5		178	178		55.8	88.2
385	404	41.2	71.1		175	175		55.4	87.6
378	395	40.5	70.7		172	172		54.9	86.7
370	386	39.8	70.3		169	169		54.4	85.9
363	378	39.1	70.0		166	166		53.9	85.0
356	370	38.5	69.6		163	163		53.4	84.1
347	359	37.6	69.1		160	160		52.9	83.2
339	349	36.7	68.7		157	157		52.4	82.4
331	340	35.8	68.2		154	154		51.8	81.5
323	331	34.9	67.8		151	151		51.3	80.4
315	322	34.1	67.4		148	148		50.8	79.5
306	311	33.0	66.9		145	145		50.2	78.3
297	301	31.9	66.4		142	142			77.2
288	292	30.8	65.9		139	139			76.0
280	283	29.7	65.5		136	136			74.8

Твердость по Бринеллю НВ 10/3000, кГ/мм^2	Твердость по Виккерсу HV, кГ/мм^2	Твердость по Роквеллу			Твердость по Бринеллю НВ 10/3000, кГ/мм^2	Твердость по Виккерсу HV, кГ/мм^2	Твердость по Роквеллу		
		HRC	HRA	HRB			HRC	HRA	HRB
272	274	28.6	65.0		133	133			73.5
265	266	27.5	64.5		130	130			72.2
257	259	26.4	64.0		127	127			70.8
251	251	25.4	63.5		124	124			69.3
245	246	24.6	63.1		121	121			67.8
239	239	23.6	62.6	99.5	118	118			66.3
232	233	22.6	62.1	98.7	115	115			64.6
226	227	21.6	61.6	97.9	112	112			63.0
221	221	20.7	61.0	97.0	109	109			61.1
215	215	19.7	60.5	96.1	106	106			59.3
210	210	18.6	59.9	95.2	103	103			57.3
205	205		59.4	94.4	100	100			55.2

Таблица 5 – Уравнения для перевода значений твердости, определяемых методами Виккерса и Роквелла, в твердость по Бринеллю НВ 10/3000

Твердость	Ограничение	Уравнение	Коэффициент корреляции R
По Виккерсу HV	$100 \le HV \le 250$	$HB = HV$	1
	$250 < HV \le 500$	$HB = -4{,}68 \cdot 10^{-4} HV^2 + 1{,}186 \cdot HV - 18.4$	0,9998
По Роквеллу HRB	$55 \le HRB \le 100$	$HB = 1{,}21 \cdot 10^{-3} HRB^3 - 0{,}229 \cdot HRB^2 + 16{,}18 \cdot HRB - 301.7$	0,9999
По Роквеллу HRC	$18 \le HRC \le 48$	$HB = 0{,}126 \cdot HRC^2 + 0{,}162 \cdot HRC + 164$	0,9999
По Роквеллу HRA	$50 \le HRA \le 75$	$HB = 0{,}438 \cdot HRA^2 - 42 \cdot HRA + 1156$	0,9990

Таблица 6 – Соотношения между значениями твердости, определенными методами Виккерса (HV10), Роквелла (HRA, HRB, HRC) и Бринелля (HB 2,5/187,5/10)

Твердость по Бринеллю HB 2,5/187,5/10, кГ/мм^2	Твердость по Виккерсу HV, кГ/мм^2	Твердость по Роквеллу			Твердость по Бринеллю HB 2,5/187,5/10, кГ/мм^2	Твердость по Виккерсу HV, кГ/мм^2	Твердость по Роквеллу		
		HRC	HRA	HRB			HRC	HRA	HRB
451	489	47.0	74.2		201	211	16.9	57.5	94.5
444	481	46.5	73.9		197	207		57.1	93.5
435	471	45.7	73.4		193	202		56.6	92.5
426	461	45.0	73.0		190	199		56.3	91.7
417	451	44.2	72.5		187	196		55.9	90.8
409	442	43.4	72.1		184	192		55.6	90.0
401	433	42.7	71.7		181	189		55.2	89.2
393	424	41.9	71.3		178	186		54.8	88.3
385	416	41.2	70.8		175	182		54.4	87.4
378	408	40.5	70.4		172	179		54.0	86.5
370	399	39.7	70.0		169	176		53.6	85.6
363	391	39.0	69.6		166	172		53.1	84.7
356	383	38.3	69.2		163	169		52.7	83.8
347	373	37.4	68.6		160	166		52.2	82.8
339	364	36.5	68.2		157	162		51.7	81.8
331	356	35.6	67.7		154	159		51.1	80.8
323	347	34.8	67.2		151	156		50.5	79.7
315	338	33.9	66.7		148	152		49.9	78.7
306	328	32.8	66.1		145	149		49.0	77.6
297	318	31.7	65.5		142	146			76.4
288	308	30.6	64.9		139	142			75.2
280	299	29.6	64.3		136	139			74.0
272	290	28.5	63.7		133	136			72.7
265	282	27.6	63.2		130	132			71.4
257	273	26.5	62.6		127	129			70.0
251	267	25.6	62.1		124	126			68.5
245	260	24.7	61.6		121	122			67.0
239	253	23.7	61.1		118	119			65.3
232	246	22.6	60.5		115	116			63.5
226	239	21.6	60.0		112	112			61.5
221	233	20.7	59.5		109	109			59.3
215	227	19.6	58.9		106	106			56.8

Твердость по Бринеллю НВ 2,5/187,5/10, кГ/мм^2	Твердость по Виккерсу HV, кГ/мм^2	Твердость по Роквеллу			Твердость по Бринеллю НВ 2,5/187,5/10, кГ/мм^2	Твердость по Виккерсу HV, кГ/мм^2	Твердость по Роквеллу		
		HRC	HRA	HRB			HRC	HRA	HRB
210	221	18.7	58.4	96.7	103	102			53.8
205	216	17.7	57.9	95.5	100	99			50.2

Таблица 7 – Уравнения для перевода значений твердости, определяемых методами Виккерса и Роквелла, в твердость по Бринеллю НВ 2,5/187,5/5

Твердость	Ограничение	Уравнение	Коэффициент корреляции R
По Виккерсу HV	$100 < HV \leq 500$	$HB = 0{,}9\,HV + 11$	0,9991
По Роквеллу HRB	$50 \leq HRB \leq 95$	$HB = 0{,}0376 \cdot HRB^2 - 3{,}17 \cdot HRB + 165$	0,9934
По Роквеллу HRC	$16 \leq HRC \leq 48$	$HB = 0{,}118 \cdot HRC^2 + 0{,}736 \cdot HRC + 155$	0,9981
По Роквеллу HRA	$45 \leq HRA \leq 75$	$HB = 0{,}33 \cdot HRA^2 - 28{,}5 \cdot HRA + 748$	0,9989

9.4 Определение характеристик механических свойств металла оборудования и трубопроводов АЭС по результатам испытаний на твердость

9.4.1 Для определения характеристик механических свойств металла применяются методики, реализующие:

а) использование предварительно установленных корреляционных соотношений между значениями твердости и искомыми механическими свойствами;

б) определение механических свойств по кинетической диаграмме вдавливания шарового индентора в координатах «нагрузка – глубина внедрения индентора».

9.4.2 В таблице 8 приведены корреляционные соотношения, позволяющие по значениям твердости по Бринеллю НВ определять значения характеристик механических свойств металла:

– предела текучести $R_{p0,2}$ с погрешностью 15% для основного металла, 20% для металла сварных швов;

– временного сопротивления R_m с погрешностью 10% для основного металла, 15% для металла сварных швов;

– относительного удлинения A_5 с погрешностью 20 %;

– относительного сужения Z с погрешностью 30 %.

В таблице 8 определены марки сталей для которых справедливы представленные зависимости.

Представленные в таблице 8 зависимости предназначены для определения механических свойств одноосного растяжения при комнатной температуре по значениям твердости измеренными при комнатной температуре.

9.4.3 Представленная в таблице 8 зависимость между твердостью по Бринеллю НВ и временным сопротивлением для углеродистых и легированных кремнемарганцовистых сталей выведена на основании рекомендации ГОСТ 22761.

9.4.4 Формулы для сталей 15Л, 20Л, 25Л, 10Х17Н13М3Т, 14Х17Н2, 12Х18Н9ТЛ получены в т.ч. с использованием сведений СТ ЦКБА 091.

9.4.5 Для легированных сталей соотношение между твердостью на пределе текучести $H_{0,2}$ и пределом текучести приведено в ГОСТ 22762.

9.4.6 Для сталей углеродистых и легированных кремнемарганцовистых, включая их сварные соединения, соотношение между твердостью и пределом текучести принято согласно [20].

9.4.7 Представленные в таблице 8 зависимости подтверждены результатами испытаний на твердость и одноосное растяжение [21].

9.4.8 Обзор методик определения характеристик механических свойств по диаграмме вдавливания шарового индентора приведен в приложении Г.

9.4.9 Для обоснования возможности использования численных методик определения механических свойств по характеристикам твердости и оценки

погрешности расчета необходима аттестация программных средств, реализующих численные процедуры, в соответствии с РД ЭО 03-33, РД 03-34.

Таблица 8 - Определение характеристик механических свойств материалов по измеренным значениям твердости НВ

Материал	Марка стали	Ограничение	Свойство	Единицы измерения	Уравнение
Стали углеродистые и легированные кремнемарганцовистые, включая их сварные соединения	Ст3сп5, 10, 15, 20, 20Ш, 20К, 22К, 22К-ВД, 22К-Ш, 25, 30, 35, 40, 45, 09Г2С, 15ГС, 15ГС-Ш, 16ГС	-	R_m	МПа	$8{,}8\cdot10^{-4}\cdot HB^2+2{,}66\cdot HB+103$
			$R_{p0,2}$	МПа	$2\cdot HB$
			A_5	%	$4{,}5\cdot10^4/(2\,R_m+\,R_{p0,2})$
			Z	%	$1{,}9\cdot10^5/(R_m+\,R_{p0,2}+2000)$
Стали углеродистые литые	15Л, 20Л, 25Л	100<НВ<200	R_m	МПа	$3{,}5\cdot HB+66$
Стали легированные и легированные хромомолибденованадиевые перлитного класса, включая их сварные соединения	16ГНМА, 16ГНМ, 10ХСНД, 12МХ, 12ХМ, 15ХМ, 20ХМ, 20ХМА, 10Х2М, 10ХН1М, 10ГН2МФА 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 12Х2МФА, 15Х2МФА, 15Х2МФА-А, 18Х2МФА, 15Х2НМФА, 15Х2НМФА-А, 15Х3НМФА, 15Х3НМФА-А, 36Х2Н2МФА, 38ХН3МФА	НВ≥200	R_m	МПа	$3{,}4\cdot HB-90$
			$R_{p0,2}$	МПа	$3{,}6\cdot HB-240$
		НВ<200	R_m	МПа	$2{,}5\cdot HB+90$
			$R_{p0,2}$	МПа	$2{,}4\cdot HB$
		-	A_5	%	$4{,}2\cdot10^4/(2\cdot R_m+\,R_{p0,2})$
			Z	%	$2{,}3\cdot10^5/(R_m+\,R_{p0,2}+2000)$
Высокохромистые стали	14Х17Н2	240<НВ<280	R_m	МПа	$0{,}0038\cdot HB^2+0{,}4\cdot HB+470$
			$R_{p0,2}$	МПа	$-0{,}0027\cdot HB^2+3{,}6\cdot HB-82$
			A_5	%	$0{,}0002\cdot HB^2-0{,}186\cdot HB+47{,}5$
			Z	%	$-0{,}0001\cdot HB^2+$

Материал	Марка стали	Ограничение	Свойство	Единицы измерения	Уравнение
					0,0563·НВ+53,6
Стали аустенитного класса	08Х18Н10Т, 08Х18Н10ТШ, 08Х18Н12Т, 12Х18Н10Т	НВ≥200	R_m	МПа	2,5·НВ+140
			$R_{p0,2}$	МПа	3,0·НВ - 260
		НВ<200	R_m	МПа	1,9·НВ+250
			$R_{p0,2}$	МПа	1,7·НВ
		-	A_5	%	$7,5 \cdot 10^4/(2 \cdot R_m+R_{p0,2})$
			Z	%	$1,8 \cdot 10^5/(R_m+ R_{p0,2}+2000)$
	10Х17Н13М3Т	-	R_m	МПа	2,209·НВ+256
Сварные соединения аустенитных сталей	08Х18Н10Т, 08Х18Н10ТШ, 08Х18Н12Т, 12Х18Н10Т	-	R_m	МПа	1,9·НВ+250
			$R_{p0,2}$	МПа	2,2·НВ
			A_5	%	$6,8 \cdot 10^4/(2 R_m+ R_{p0,2})$
			Z	%	$1,8 \cdot 10^5/(R_m+ R_{p0,2}+2000)$
Стали аустенитного класса литые	12Х18Н9ТЛ	100<НВ<180	R_m	МПа	$0,0175 \cdot НВ^2-3,39 \cdot НВ+680$
Корпусные стали включая их сварные соединения	15Х2НМФА, 15Х2МФА	-	R_m	МПа	3,5·НВ-105
			$R_{p0,2}$	МПа	3,8·НВ-290
			A_5	%	$4,2 \cdot 10^4/(2 \cdot R_{m+} R_{p0,2})$
			Z	%	$2,3 \cdot 10^5/(R_m+ R_{p0,2}+2000)$
10ГН2МФА (включая их сварные соединения)		-	R_m	МПа	2,2·НВ+180
			$R_{p0,2}$	МПа	2,45·НВ
			A_5	%	$4,2 \cdot 10^4/(2 \cdot R_{m+} R_{p0,2})$
			Z	%	$2,3 \cdot 10^5/(R_m+ R_{p0,2}+2000)$
Сплавы	БрАЖМц 10-3-1,5	-	R_m	МПа	3,9 НВ
			$R_{p0,2}$	МПа	1,4 НВ

Материал	Марка стали	Ограничение	Свойство	Единицы измерения	Уравнение
	ХН35ВТЮ-ВД	-	R_m	МПа	3,9 НВ
			$R_{p0,2}$	МПа	2,4 НВ

И

9.5 Правила оформления результатов измерений

Результаты измерения твердости оформляются согласно требованиям эксплуатационной документации конкретной АЭС или по рекомендуемой форме приведенной на рисунке 2.

1. Номер протокола	
2. Дата проведения измерения	
3. Объект контроля	
4. Станционное обозначение объекта контроля	
5. Условия эксплуатации объекта контроля	
6. Сведения о материалах	
7. Марка средства измерения	
8. Регистрационный номер средства измерения	
9. Сведения о поверке средства измерения	
10. Нормативный документ, на основании которого производится оценка качества	
11. Нормативный документ, на основании которого производится оценка качества	
12. Инициалы, фамилия оператора (контролера)	

Место испытания	Марка стали	Число испытаний	Твердость металла				Механические свойства				Примечание
			Шкала	Значение	Погрешность измерения	НВ	R_m, МПа	$R_{p0.2}$, МПа	A_5, %	Z, %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Рисунок 2 - Рекомендуемая форма записи результатов измерения твердости с определением механических свойств

При необходимости в протоколе указываются рассчитанные значения механических свойств (столбцы 8-11).

10 Требования к метрологическому обеспечению

10.1 Средства измерения, должны быть внесены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений и разрешены для использования в сфере Государственного регулирования обеспечения единства измерений (Федеральный закон №102-ФЗ [1]). На момент поставки средства измерения должны иметь действующие свидетельства о первичной или периодической поверке.

10.2 Средства измерения проходят поверку в соответствии с методикой поверки, с межповерочными интервалами, установленными при проведении испытаний СИ в целях утверждения типа, а также после ремонта.

10.3 Метрологическое обеспечение средств контроля должно осуществляться в соответствии с требованиями РД ЭО 1.1.2.01.0318.

Косвенные измерения по настоящей инструкции выполняются по аттестованным методикам (методам) измерений.

10.4 Измерение твердости производится на стационарных, переносных и портативных средств измерения. Подготовка средств измерения к проведению измерений производится в соответствие с руководством по эксплуатации или паспортом на средство измерения.

11 Требования к квалификации персонала

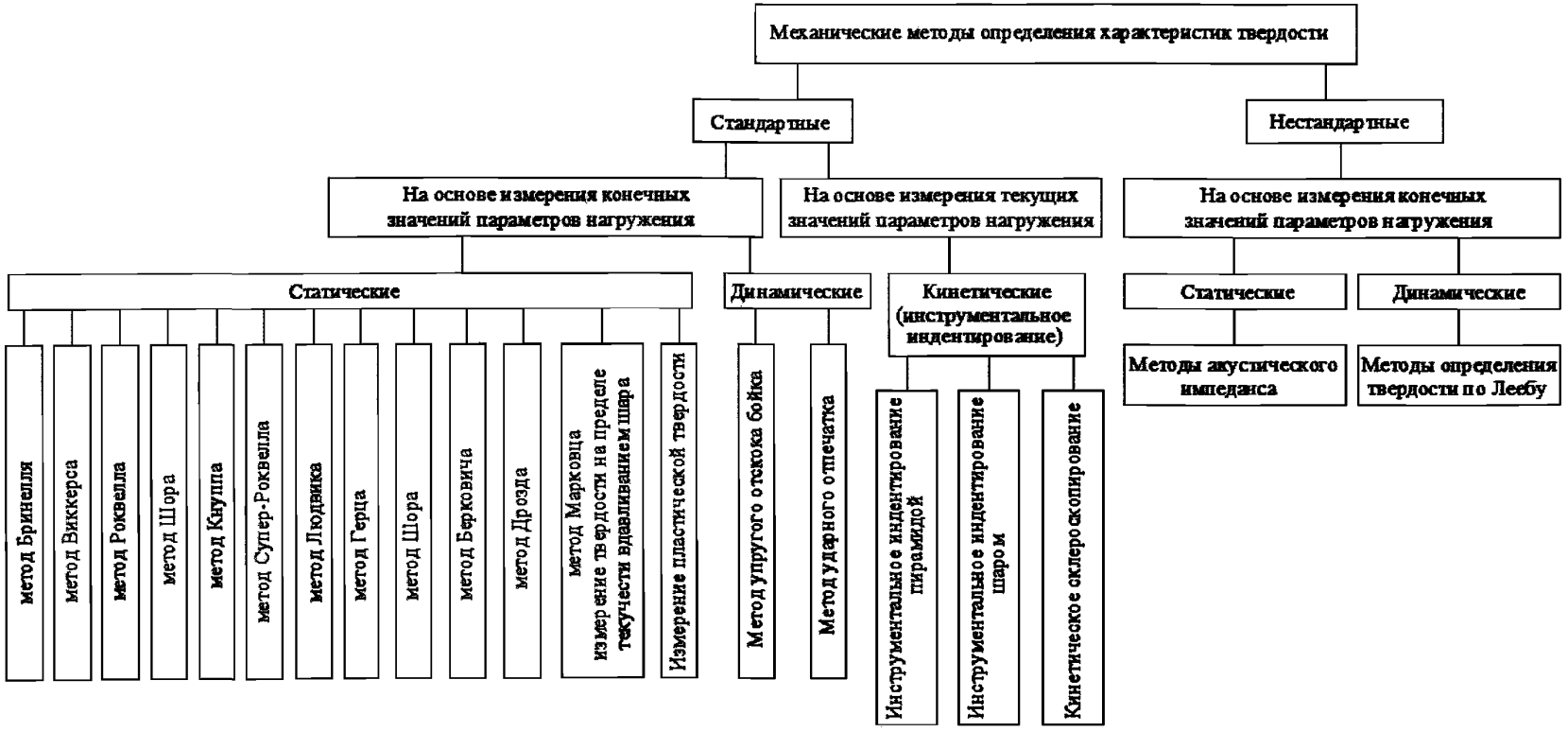
11.1 В соответствии с требованиями ПНАЭ Г-7-010 к проведению контроля металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов АЭС допускаются только аттестованные специалисты.

11.2 Аттестация контролеров проводится в соответствии с ПНАЭ Г-7-010, ПР 1.3.3.99.0010 и ПБ-03-440. Аттестация контролеров включает в себя как проверку теоретических знаний, так и проверку практических навыков.

12 Требования к безопасности

Работы по контролю металла выполняются в соответствии с требованиями документации по безопасности, действующими на АЭС, на момент проведения контроля.

Приложение А
(справочное)
Классификация методов испытания на твердость



Приложение Б
(справочное)
Общие рекомендации по использованию средств измерения на АЭС

В разделе 5 дана классификация твердомеров (средств измерения) на стационарные и переносные. Для осуществления периодического контроля на АЭС применяются преимущественно переносные средства измерения.

Сопоставление результатов измерения твердости на оборудовании и трубопроводах АЭС показало, что дисперсия результатов отдельных испытаний у ручных твердомеров (средств измерения) значительно выше, чем у стационарных.

Наиболее надежные и обоснованные показания твердости материалов готовых изделий дают прямые механические методы испытаний, обеспечивающие необходимую степень статического нагружения индентора согласно действующим стандартам. Все остальные методы в той или иной мере являются косвенными, основанными на корреляции различных механических и физических параметров с характеристиками твердости, определенными прямым способом. Показания некоторых средств измерения зависят от массы и жесткости контролируемых деталей, а также от их ориентации в пространстве. Поэтому рекомендуется подтверждать данные измерений твердости полученные косвенными методами, результатами полученными с использованием прямых механических методов испытания.

Опыт проведения работ показывает, что для повышения надежности результатов испытаний ручными твердомерами на оборудовании и трубопроводах АЭС следует:

- проводить серию не менее чем из восьми испытаний;
- проводить их калибровку перед испытанием и систематически контролировать их показания.

Лабораторные эксперименты по определению твердости по Бринеллю HB металла различных деталей и конструкций, выполненный с использованием средств измерения различного типа дали основания сделать следующие выводы:

– точность определения твердости НВ существенно зависит от массы, жесткости, толщины изделий и их ориентации в пространстве;

– портативные средства измерения физико-механического действия рекомендуется применять для выявления изменения уровня твердости в различных зонах изделия. При обнаружении зон с резко пониженным и повышенным уровнем твердости необходимо более точно контролировать твердость прямыми механическими методами испытания;

– при значениях твердости металла, близких к допустимым (к нижнему или верхнему пределам), следует контроль твердости выполнять прямыми механическими методами испытания.

Приложение В
(справочное)
Обзор нестандартных методов определения твердости

В.1 Испытания на непрерывное вдавливание алмазной пирамиды (твердость по Мартенсу)

Согласно международному стандарту ISO 14577 [17] универсальная твердость получила новое наименование – «твердость по Мартенсу» и обозначение НМ.

Для определения этой твердости используется алмазный наконечник в форме правильной четырехгранной пирамиды с углом между противоположенными гранями пирамиды при вершине 136° (рисунок В.1). При этой форме испытательная нагрузка пропорциональна площади поверхности отпечатка. В ходе испытания записывается диаграмма вдавливания (рисунок В.2).

Значение твердости обозначается цифрами, характеризующими величину твердости со стоящим после них символом *НМ*.

Расчет универсальной твердости НМ осуществляется по формуле

$$HM = \frac{F}{S} = \frac{F}{26{,}43 \cdot h^2}, \qquad (В.1)$$

где F - приложенное к индентору усилие в н;

S - площадь поверхности отпечатка в мм ^{2};

h - глубина вдавливания в мм.

На рисунке В.3 приведена номограмма, позволяющая находить значения универсальной твердости при различных значениях прилагаемой силы и F и глубины вдавливания h.

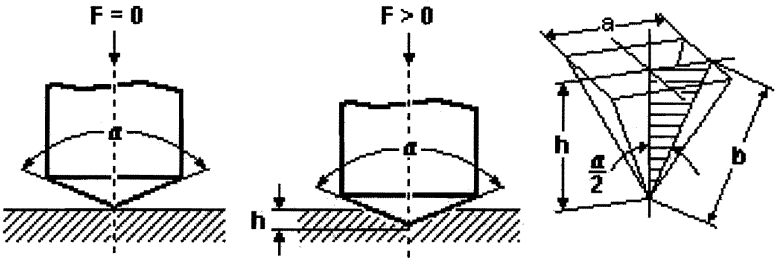


Рисунок В.1 - Схема проведения испытаний на твердость по Мартенсу

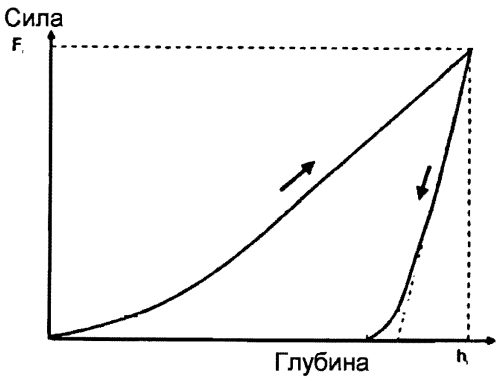


Рисунок В.2 – Вид диаграммы вдавливания, регистрируемой в ходе испытания для определения твердости по Мартенсу

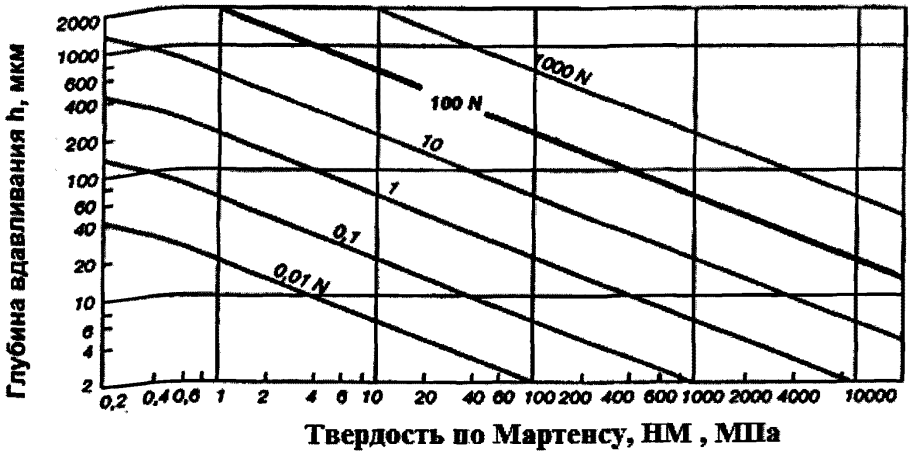


Рисунок В.3 – Номограмма определения твердости по Мартенсу

В.2 Метод определения твердости по Лейбу

Метод основан на измерении потери энергии при соударении бойка с испытываемым образцом материала или элементом конструкции. Процесс измерения твердости (рисунок В.4) во времени может быть разделен на три фазы: движение бойка до соударения, соударение и отскок.

В фазе движения потенциальная энергия бойка, определяемая начальной высотой свободного падения или сжатием пружины, превращается в кинетическую энергию, и боек соударяется с испытываемым образцом.

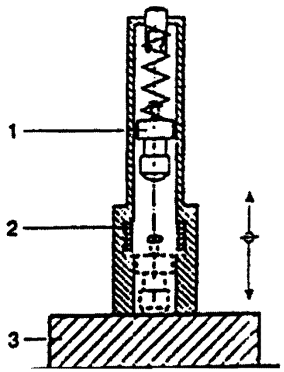
Фаза соударения состоит из этапа нагрузки, в течение которого боек внедряется в испытываемый образец, и этапа разгрузки. Этап нагрузки заканчивается, когда скорость бойка относительно образца становится равной нулю. После этого начинается этап разгрузки, при котором боек восстанавливается как совершенно упругое тело, а испытываемый образец - только частично, вследствие потерь энергии на пластическую деформацию.

Фаза отскока начинается в момент, когда боек с начальной скоростью отскока отделяется от испытываемого образца. В фазе отскока под действием остаточной кинетической энергии боек поднимается на соответствующую этой энергии высоту.

Мерой твердости материала является число твердости по Лейбу *HL*, определяемое с использованием выражения

$$HL = 1000\frac{v_{out}}{v_{in}}, \qquad (B.2)$$

где v_{out} и v_{in} – скорости движения бойка на этапах отскока и движения до соударения соответственно, определяемые в моменты, когда боек находится на расстоянии 1 мм от испытуемой поверхности.



1 - ударник, 2 направляющая трубка, 3 – образец

Рисунок В.4 - Схема проведения испытаний методом Лейба

При испытаниях методом Лейба образцов материалов одинаковой твердости, но с различным модулем упругости получаются различные данные. Чтобы исключить эту погрешность, рекомендуется разделять материалы на группы по значению модуля упругости.

Область использования данного метода имеет ограничения, касающиеся условия закрепления детали и ее массы. Потеря энергии при ударе зависит как от местной

деформации в точке соударения, которая определяется упругопластическими свойствами материала, так и от податливости образца как упругого тела. Поэтому метод Лейба определения твердости можно применять только на достаточно массивных образцах или на образцах, закрепленных на достаточно массивном основании. Для тонкостенных труб или сосудов его использование нецелесообразно.

Метод измерения твердости по Лейбу принят в качестве стандарта ASTM A956 [14].

В.3 Метод акустического импеданса

Метод акустического импеданса (именуемый также как *метод ультразвукового контактного импеданса* или, сокращенно, *UCI*) основан на измерении относительных изменений механического импеданса колебательной системы преобразователя в зависимости от механических свойств поверхности. Акустический преобразователь представляет собой стержень из магнито-стрикционного материала, на конце которого укреплен индентор. На стержень надета катушка, возбуждающая в преобразователе продольные упругие колебания (рисунок В.5). Стержень с индентором прижимается к контролируемому изделию с постоянной силой. При этом индентор внедряется в изделие тем глубже, чем меньше твердость материала изделия. Площадь зоны соприкосновения индентора с изделием с уменьшением твердости растет, гибкость контактной зоны уменьшается, а модуль упругого сопротивления (импеданса) - увеличивается. Изменение импеданса определяют по изменению собственной частоты нагруженного преобразователя. Шкалу индикатора градуируют в единицах твердости.

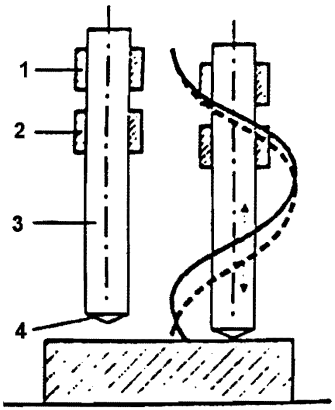
Применение метода акустического импеданса имеет следующие особенности:

– из-за малой площади контакта преобразователя с контролируемым изделием возможен значительный разброс в показаниях, обусловленные неоднородностью структуры материала;

– к зачистке поверхности предъявляются повышенные требования (Ra≤3,2 при усилии 10 кгс (98 Н));

– работа с датчиком требует от оператора специальных навыков: необходимо обеспечить плавное нажатие на корпус датчика до упора, затем удерживать приложенное усилие. На всём протяжении замера твёрдости рука оператора не должна дрожать;

– при измерении на небольших образцах малой толщины (менее 15 мм при усилии 10 кгс (98 Н), менее 1,5 мм при усилии 1,5 кгс (14,7 Н)) может возникнуть значительный разброс результатов измерений из-за резонансных колебаний в проверяемом материале. Такие изделия следует фиксировать на жестком основании через слой вязкой пасты.



1 - источник сигнала, 2 - приемник сигнала, 3 – резонирующий стержень,

4 – пирамида Виккерса,

- - - частота колебаний в отсутствии контакта,

— частота колебаний при наличии контакта

Рисунок В.5 - Схема проведения испытаний методом акустического импеданса

В.4 Проба на твердость царапаньем

При измерении твердости методом царапанья [22] в поверхность образца (изделия) под действием нормально приложенной постоянной нагрузки P вдавливается конусный индентор и производится одновременная подача острия индентора параллельно тестируемой поверхности материала. В результате на поверхности образца (изделия) остается царапина, глубина и ширина которой зависит от сопротивления металла царапанью. Последнее взаимосвязано не только с твердостью, но и с истинным сопротивлением металла разрыву (особенно для пластичных металлов).

В качестве индентора наиболее часто используется алмазный конус с углом у вершины 90° или алмазный конус с углом 120° (аналогичен, применяемому при определении твердости по Роквеллу), но иногда применяют также алмазную сферу радиусом 1,25 мм или резцы из твердого сплава ВК8. Рекомендуемая скорость перемещения индентора при царапании составляет от 100 мм/мин до 1500 мм/мин, а величина шероховатости поверхности испытуемого материала $Ra \leq 0{,}63$.

Известно несколько вариантов метода, в том числе:

а) мерой твердости $H_ц$ принимают осевую нагрузку на индентор P, при которой получается царапина заданной ширины $b = 10$ мкм;

б) мерой твердости $H_ц$ принимают величину обратную ширине царапины b в мм при заданной постоянной нагрузке на конусный индентор.

Приложение Г
(рекомендуемое)
Методики определения механических свойств по диаграмме автоматического вдавливания шара

Г.1 Общие сведения

Методика автоматического вдавливания шара состоит в непрерывной регистрации процесса вдавливания индентора в виде диаграммы: «нагрузка на индентор P - глубина внедрения индентора в поверхность исследуемого материала h» на трех стадиях процесса: активного нагружения, выдержки под нагрузкой, разгрузки с возможностью повторного многократного циклического нагружения. Таким образом, достигается качественная аналогия между безобразцовым методом испытания на непрерывное локальное деформирование и стандартными образцовыми методами растяжения-сжатия.

На основе анализа полученных в результате испытаний диаграмм вдавливания шара определяют следующие механические характеристики испытуемого материала: твердость, предел текучести $R_{p0,2}$, временное сопротивление R_m, равномерная деформация A_m. В настоящем разделе описаны наиболее полно разработанные методики определения механических свойств по диаграмме вдавливания шара.

Для определения механических свойств по параметрам диаграммы вдавливания требуются корреляционные зависимости, которые могут отличаться для разных материалов. В связи с этим, каждая методика определения механических свойств по диаграмме вдавливания шара должна пройти верификацию для материалов трубопроводов и оборудования АЭС.

К настоящему времени в России Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии одобрен и 01.01.2016 г. введен в действие ГОСТ Р 56232. В этом стандарте применены термины в соответствии с ГОСТ Р 8.748.

ГОСТ Р 56232 регламентирует применение:

– метода инструментального индентирования шара для определения диаграммы «напряжение - деформация» металлов и сплавов по универсальной феноменологической методике;

– расчетной методики, основанной на численных методах моделирования процесса индентирования шара;

– нейросетевой методики интерпретации результатов испытаний методом инструментального индентирования шара.

Универсальная феноменологическая методика может быть рекомендована к использованию для определения механических характеристик одноосного растяжения после верификации методики для материалов оборудования и трубопроводов АЭС при проведении аттестации средства измерения реализующих методику в органах метрологической службы.

Расчетная и нейросетевая методика может быть использована после их аттестации в Ростехнадзоре в соответствие с требованиями РД ЭО 03-33, РД 03-34.

Помимо вышеуказанных методов и методик для оценки механических свойств могут быть использованы:

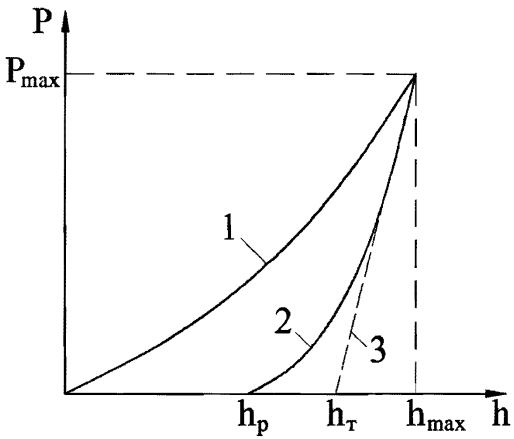
– феноменологическая методика ВНИИАЭС;

– методика НИУ «МЭИ».

Возможность использования феноменологической методики ВНИИАЭС и методика НИУ «МЭИ» подтверждена опытом их использования для контроля механических свойств элементов АЭС, в том числе опытом применения предыдущей версии инструкции РД ЭО 0027.

Г.2 Методика инструментального индентирования согласно ГОСТ Р 8.748 – 2011

Метод инструментального индентирования основан на непрерывной регистрации нагрузки и глубины вдавливания индентора на этапах нагружения, выдержки под нагрузкой и разгрузки индентора. В процессе индентирования регистрируется диаграмма вдавливания в координатах «нагрузка P – глубина вдавливания h» (рисунок Г.1).



1 – линия нагружения; 2 – линия разгрузки; 3 – касательная к кривой 2 при P_{max}; P_{max} – максимальная нагрузка вдавливания; h_{max} – максимальное перемещение индентора; h_m – точка пересечения касательной к линии разгружения при P_{max} с осью перемещений h; h_p – остаточная глубина отпечатка

Рисунок Г.1 – Схема диаграммы вдавливания индентора

Однако, если в ГОСТ Р 8.748 регламентировано использование пирамиды (Виккерса или Берковича) для регистрации диаграммы вдавливания, то в ГОСТ Р 56232 регламентировано использование шара (сферического индентора), вследствие чего формулы для определения твердости будут различаться.

Согласно ГОСТ Р 56232, для определения твердости индентирования по Бринеллю HB_{IT} вдавливание необходимо проводить до максимальной нагрузки, рекомендованной ГОСТ 9012-59. Значение твердости индентирования по Бринеллю HB_{IT} рассчитывается по формуле

$$HB_{IT} = \frac{P_{max}}{\pi h_c D}, \qquad (Г.1)$$

где P_{max} – максимальная нагрузка вдавливания, Н;

h_c – расчетная глубина контакта индентора, мм;

D – диаметр индентора, мм.

Расчет h_c выполняется по формуле

$$h_c = h_{max} - 0{,}75 \cdot (h_{max} - h_T), \qquad (Г.2)$$

где h_{max} – максимальная глубина вдавливания, мм;

h_T – глубина, определяемая по точке пересечения касательной к линии разгрузки при P_{max} с осью h (см. рисунок Г.1).

Размерность твердости индентирования по Бринеллю HB_{IT} – Н/мм^2 или МПа.

Г.3 Феноменологическая методика ВНИИАЭС

Феноменологическая методика ВНИИАЭС позволяет получить из кинетической диаграммы вдавливания шарового индентора стандартную диаграмму одноосного деформирования.

Основой методики является феномен подобия кривых деформирования: одноосного растяжения на участке пластического упрочнения и кривых вдавливания шарового индентора.

Методика основывается на выделении и последующем сопоставлении сходственных коэффициентов в формулах, описывающих степенные зависимости интенсивности напряжений R от интенсивности деформаций ε в процессах растяжения

$$R(\varepsilon) = Y_A \cdot \varepsilon^m \qquad (Г.3)$$

и аналогичные зависимости в процессах вдавливания

$$H_M(\varepsilon_p) = Y_b \cdot \varepsilon_p{}^n, \qquad (Г.4)$$

где Y_A, Y_b - параметры;

H_M - твердость по Мейеру;

ε_p - деформация при вдавливании, определяемая как отношение диаметра отпечатка d к диаметру индентора D.

Твердость по Мейеру определяется как отношение нагрузки, приложенной к индентору, к площади проекции отпечатка диаметром d

$$H_M = \frac{4P}{\pi d^2}, \qquad (Г.5)$$

Диаметр отпечатка d может быть выражен через глубину вдавливания h и диаметр шарового индентора D по формуле

$$d = 2\sqrt{tD - t^2}. \qquad (Г.6)$$

Соотношение (4) может быть представлено в виде

$$\frac{P}{d^2} = Y_B \left(\frac{d}{D}\right)^n \qquad (Г.7)$$

Коэффициенты в процессах растяжения (Г.3) и вдавливания (Г.4) имеют одинаковый физический смысл: Y_A, Y_B - характеризуют запас пластичности материала, m, n - характеризуют способность материала к упрочнению. Следовательно, установив вид зависимостей $Y_A = f(Y_B)$ и $m = g(n)$ для исследуемой стали, можно по диаграмме непрерывного вдавливания шарового индентора полностью восстановить диаграмму одноосного растяжения по зависимости вида

$$R(\varepsilon) = f(Y_B) \cdot \varepsilon^{g(n)}, \qquad (Г.8)$$

Если же исходные данные отсутствуют или недостаточны для построения устойчивых зависимостей, то для диагностики металлов используется другой вариант определения методом кинетической твердости предела текучести и временного сопротивления.

При нахождении предела текучести $R_{p0,2}$ зависимость (8) модифицируется к виду

$$R_{p0,2} = f(Y_B), \qquad (Г.9)$$

т.е. предел текучести является функцией коэффициента запаса пластичности материала Y_B. Вид этой зависимости подбирается для каждой исследуемой стали.

Для определения временного сопротивления R_m находится точка перегиба (экстремум первой производной) на участке нагружения диаграммы вдавливания в координатах «нагрузка – глубина». В этой точке осуществляется переход из областей малых и средних упругопластических деформаций в область больших упругопластических деформаций с исчерпанием деформационной способности в зоне остаточной пластической деформации под индентором (аналог потери устойчивости при испытаниях на растяжение).

В точке перегиба на участке вдавливания шарового индентора текущее значение твердости по Бринеллю равно

$$H_{max} = \frac{P_{max}}{\pi D h_{max}}, \qquad (Г.10)$$

где h_{max} - значение глубины вдавливания,

P_{max} - значение прилагаемого усилия в точке перегиба.

Временное сопротивление выражается через текущее значение твердости в точке перегиба

$$R_m = f(H_{max}), \tag{Г.11}$$

Значение равномерного удлинения A_m рассчитывается по текущему диаметру поверхности контакта соответствующему точке перегиба

$$A_m = f(d_{max} / D), \tag{Г.12}$$

где $d_{max} = 2\sqrt{t_{max} D - t_{max}^2}$.

По полученным значениям предела текучести, временного сопротивления и равномерной деформации может быть восстановлена кривая одноосного деформирования. Для описания поведения истинной кривой одноосного растяжения в истинных координатах $R(\varepsilon)$ оптимальным выбором является трехпараметрическая экспоненциальная зависимости вида

$$R(\varepsilon) = b - (b-a) \cdot e^{-c \cdot \varepsilon}. \tag{Г.13}$$

Параметры a, b, c в формуле (Г.13) выражаются через значения предела текучести $R_{p0.2}$, временного сопротивления R_m, равномерной деформации A_m на основании условий, устанавливающих, что кривая начинается с предела текучести $R_{p0.2}$, а точка $\varepsilon = \varepsilon_m$, где

$$\varepsilon_m = ln(1 + A_m), \tag{Г.14}$$

отвечает значению временного сопротивления R_m:

$$R(\varepsilon=0) = R_{p,02}, \tag{Г.15}$$

$$R(\varepsilon=\varepsilon_m) = \frac{dR}{d\varepsilon}\left(\varepsilon = \varepsilon_m\right) = R_m \cdot e^{\varepsilon m}. \tag{Г.16}$$

Решение системы (15)-(16) относительно неизвестных a, b, c может быть сведено к решению относительно параметра c уравнения

$$c = \frac{1}{\varepsilon_m} ln\left(\frac{(1+c)(x-1)}{x - e^{-c \cdot \varepsilon_m}}\right), \tag{Г.17}$$

где параметр x рассчитывается по формуле

$$x = R_m \cdot e^{cm} / R_{p0,2}. \quad (Г.18)$$

Нелинейное уравнение (17) может быть решено численно методом итераций. Если коэффициент c найден, остальные два коэффициента даются соотношениями

$$a = Rp_{0,2}, \quad (Г.19)$$

$$b = Rp_{0,2} \cdot e^{cm} / (1+c) \quad (Г.20)$$

В таблице Г.1 приведены уравнения для определения механических свойств различных материалов по параметрам диаграммы вдавливания. Погрешность определения механических свойств по этим уравнениям составляет:

- при определении предела текучести $R_{p0,2}$ – 10 %,
- при определении временного сопротивления R_m – 10 %,
- при определении равномерной деформации A_m – 20 %.

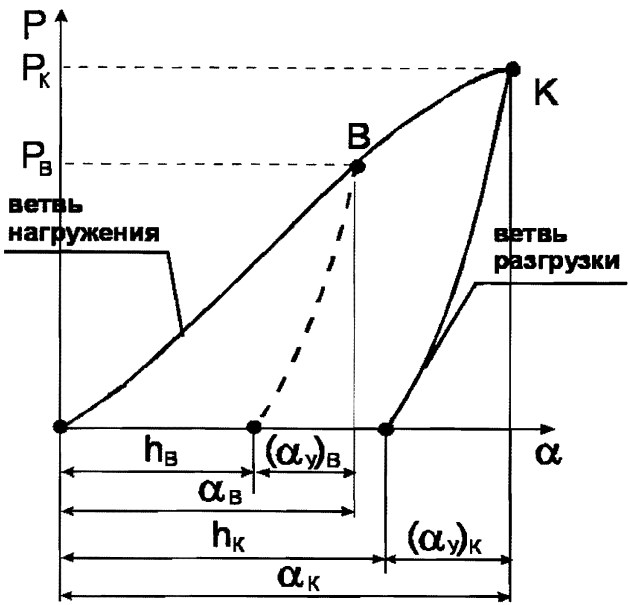
Таблица Г.1 - Значение коэффициентов расчета механических свойств для различных материалов

Марка стали	R_m, МПа	$R_{p0,2}$, МПа	Am, %
Корпусные стали и их сварные швы	$0,382\ H_{max}$	$0.23\ Y_B$	$14\ d_{max} / D$
Сталь 10ГН2МФА и сварные швы	$0,29\ H_{max} + 163$	$0,20\ Y_B$	$20\ d_{max} / D$
Аустенитные стали и их сварные швы	$0,14\ H_{max} + 400$	$0,146\ Y_B$	-
Углеродистые стали и их сварные швы	$0,41\ H_{max}$	$0,165\ Y_B$	$26\ d_{max} / D$

Г.4 Методика НИУ «МЭИ»

Согласно методике НИУ «МЭИ», твердость индентирования по Бринеллю HB_n определяется по кинетической диаграмме вдавливания «нагрузка P – упругопластическое сближение α». Принципиальное отличие этой методики по сравнению с другими методиками состоит в том, что на диаграмме вдавливания по оси

абсцисс регистрируется не глубина внедрения *h*, а упругопластическое сближение индентора и испытуемого материала α (рисунок Г.2).



P - нагрузка вдавливания; $P_к$ – нагрузка вдавливания, соответствующая окончанию нагружения (в точке К); $P_в$ – нагрузка вдавливания, соответствующая началу уменьшения производной функции $P = f(\alpha)$ (в точке В); $h_в$ - остаточная глубина отпечатка, соответствующая нагрузке $P_в$; $h_к$ - остаточная глубина отпечатка после полной разгрузки; $\alpha_в$ – упругопластическое сближение, соответствующее нагрузке $P_в$; $\alpha_к$ – упругопластическое сближение, соответствующее нагрузке $P_к$; $(\alpha_у)_в$ – совместное упругое сближение материала и индентора при нагрузке $P_в$; $(\alpha_у)_к$ – совместное упругое сближение материала и индентора при нагрузке $P_к$

Рисунок Г.2 – Кинетическая диаграмма вдавливания в координатах «нагрузка *P* – упругопластическое сближение α»

По диаграмме вдавливания, представленной на рисунке 2, могут быть определены следующие механические характеристики испытуемого материала:

1) модуль нормальной упругости

$$E_м = f(P_в, (\alpha_у)_в, R, \mu_м, \mu_ш, E_ш); \quad (Г.21)$$

где R – радиус индентора; $\mu_м$ и $\mu_ш$ – коэффициенты Пуассона испытуемого материала и материала индентора; $E_ш$ – модуль упругости материала индентора;

2) коэффициент, учитывающий соотношение упругой деформации индентора и упругой деформации испытуемого материала

$$k = E_ш/(E_ш + E_м); \quad (Г.22)$$

3) модуль упрочнения материала при вдавливании в пластической области

$$q = f(P_в, h_в, R); \quad (Г.23)$$

4) невосстановленную твёрдость по Бринеллю на уровне временного сопротивления

$$(HB_t)_в = f(P_в, h_в, (\alpha_у)_в, R, k); \quad (Г.24)$$

5) временное сопротивление при растяжении

$$\sigma_в = f((HB_t)_в); \quad (Г.25)$$

6) условный предел текучести при растяжении

$$\sigma_{0.2} = f(q); \quad (Г.26)$$

7) относительное остаточное равномерное удлинение при растяжении

$$\delta_р = f(h_в, R). \quad (Г.27)$$

Погрешность определения механических свойств металла по методике НИУ «МЭИ» для средства измерения ПИМ-ДВ-01 составляет:

- при определении $R_{p0.2}$ = 7%;
- при определении R_m = 5%.
- при определении предельного равномерного удлинения $\delta_р$ = 10%.

Вместе с тем, для материалов, образующих шейку при растяжении образца, методика НИУ «МЭИ» не предусматривает определение относительного удлинения после разрыва A_5, т.к. эта характеристика соответствует моменту разрушения металла, которое не происходит при вдавливании сферического индентора. Поэтому относительное удлинение A_5 рекомендуется оценивать по частным корреляционным связям с твердостью по Бринеллю НВ, установленным для отдельных групп материалов (см. таблицу 8).

Библиография

[1] Федеральный закон № 102-ФЗ от 26.06.2008 «Об обеспечении единства измерений».

[2] Федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ (ред. от 30.03.2016) «Об использовании атомной энергии».

[3] ISO 6506-81 « Metals. Method of Brinell hardness measurement».

[4] DIN 50351:1973-01 «Härteprüfung nach Brinell».

[5] ASTM E 10 «Brinell Hardness of metallic materials».

[6] ISO 6507 1:2005 «Metallic materials - Vickers hardness test».

[7] DIN 50133:1985-02 «Härteprüfung nach Vickers».

[8] ASTM E 92 «Vickers Hardness of Metallic Materials».

[9] ISO 6508-86 «Metals. Method of measuring Rockwell hardness».

[10] DIN 50103/1:1984-03 «Härteprüfung nach Rockwell-Verfahren C, A, B, F».

[11] ASTM E 18 «Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials».

[12] ISO 1024:1989 «Hardness test – Rockwell superficial test – scales 15N, 30N, 45N, 15T, 30T, 45T».

[13] DIN 50103/2:1984-03 «Härteprüfung nach Rockwell – Verfahren N und T».

[14] ASTM A 956-12 «Standard Test Method for Leeb Hardness Testing of Steel Products»

[15] DIN 50156-1-2007 «Metallic materials - Leeb hardness test - Part 1: Test method».

[16] DIN 50359-3-1999 «Prüfung Metallishe Werkstoffe Universalhärteprüfung».

[17] ISO 14577 «Metallishe Werkstoffe – Instrumentierte Eindringprüfung zur Bestimmung der Härte und andere Werkstoff parameter».

[18] ASTM WK381 «Standard Test Methods for Automated Ball Indentation Testing of Metallic Samples and Structures to Determine Stress-Strain Curves and Ductility at Various Test Temperatures»

[19] Марочник сталей и сплавов. Под ред. Зубченко А.С. – М.: Машиностроение, 2001. – 672 с.

[20] Оценка механических свойств металла паропроводов после длительной эксплуатации без вырезки образцов: отчет по НИР (заключ.) / Московский энергетический институт. – М.: 1983. – 70 с. – Тема № 60/82. – Инв. № 54.

[21] Анализ современной нормативной базы и опыта применения на АЭС РД ЭО 0027-2005 «Инструкция по определению механических свойств металла оборудования атомных станций безобразцовыми методами по характеристикам твердости». Отчет АО «ВНИИАЭС», № 2017.9/7587-Д.000.00.02 ТО, 2015 г.

[22] Колмаков А.Г., Терентьев В.Ф., Бакиров М.Б. Методы измерения твёрдости. Справочное издание, М.: «Интермет Инжиниринг», 2000. – 128с.

Лист согласования

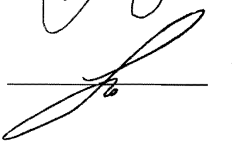
И 1.2.1.02.019.1121 - 2016 «Определение механических свойств металла оборудования атомных станций безобразцовыми методами по характеристикам твердости. Инструкция»

Заместитель директора
по производству и эксплуатации АЭС –
директор Департамента инженерной
поддержки



Ю.П. Тетерин

Заместитель директора департамента –
начальник отдела



В.Н. Ловчев

Нормоконтролер



М.А. Михайлова

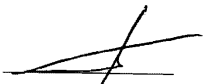
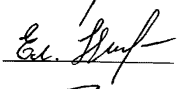
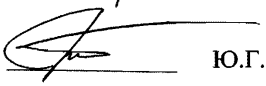
Лист согласования

И 1.2.1.02.019.1121 - 2016 «Определение механических свойств металла оборудования атомных станций безобразцовыми методами по характеристикам твердости. Инструкция»

Главный инженер филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Балаковская атомная станция»	Письмо №9/Ф01/ГИС/771 от 13.05.2016	В.Н. Бессонов
Главный инженер филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Белоярская атомная станция»	Письмо №28-07/19 от 20.04.2016	В.Ю. Носов
Главный инженер филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Билибинская атомная станция»	Письмо №09/2921 от 20.04.2016	А.Р. Кузнецов
Главный инженер филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Калининская атомная станция»	Письмо №57-55/5834 от 20.04.2016	В.А. Сушко
Главный инженер филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Кольская атомная станция»	Письмо №07-4676/9/Ф05/1250-вн от 27.04.2016	В.А. Матвеев
Главный инженер филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Курская атомная станция»	Письмо №9/Ф06/1709-вн от 26.04.2016	А.В. Увакин
Главный инженер филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Ленинградская атомная станция»	Письмо №9/Ф09/01/9400-вн от 27.04.2016	К.Г. Кудрявцев
Главный инженер АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция»	Письмо №9/Ф07/610-ВН от 18.04.2016	А.И. Федоров
Главный инженер филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция»	Письмо № 9/Ф10/1062вн от 22.04.2016	А.Б. Горбунов
Главный инженер филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Смоленская атомная станция»	Письмо №20-34/1982 от 25.04.2016	А.Ю. Лещенко

Лист визирования

И 1.2.1.02.019.1121 - 2016 «Определение механических свойств металла оборудования атомных станций безобразцовыми методами по характеристикам твердости. Инструкция»

Заместитель директора ВНИИАЭС-НТП, директор отделения управления ресурсом АЭС		В.В. Потапов
Руководитель Департамента неразрушающего контроля и ресурса		А.М. Логинов
Начальник лаборатории оценки прочности и обоснования остаточного ресурса		Д.С. Немытов
Главный специалист Департамента неразрушающего контроля и ресурса		Е.В. Новикова
Руководитель метрологической службы - главный метролог		Ю.Г. Бабинский
Нормоконтроль		О.Ю. Збарская

Лист согласования

И 1.2.1.02.019.1121 - 2016 «Определение механических свойств металла оборудования атомных станций безобразцовыми методами по характеристикам твердости. Инструкция» должностными лицами НИУ «МЭИ»

Научный руководитель лаборатории Механико-технологических испытаний конструкционных материалов НИУ «МЭИ», профессор — В.М. Матюнин

Профессор — М.А. Каримбеков

Старший преподаватель — А.Н. Демидов

Ассистент — А.Ю. Марченков

Акционерное общество «Российский концерн по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях (АО «Концерн Росэнергоатом»)
Технологический филиал
АО «Концерн Росэнергоатом»
26.05.2016 № 9/7211041997-вн
На №9/04-03/1006-вн От 13.05.2016

Заместителю директора по производству и эксплуатации АЭС – директору департамента инженерной поддержки Ю.П. Тетерину

О метрологической экспертизе

Уважаемый Юрий Петрович!

Метрологической службой ЦА Концерна проведена метрологическая экспертиза документа «Определение механических свойств металла оборудования атомных станций безобразцовыми методами по характеристикам твердости». Замечаний по результатам рассмотрения нет.

Директор С.А. Карпутов

В.В. Гринько
+7 (495) 660-4168, доб. 331

gost.e-ecolog.ru