

Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»
(ФГБОУ ВПО ПГУПС)

А. В. БЕНИН, А. П. ЛЕЙКИН, С. В. НИКОЛАЕВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

Учебное пособие

Санкт-Петербург
2015

Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»
(ФГБОУ ВПО ПГУПС)

А. В. БЕНИН, А. П. ЛЕЙКИН, С. В. НИКОЛАЕВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

Учебное пособие

Санкт-Петербург
2015

УДК 691(075)
ББК 38.3я73
Э41

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
«Соппротивление материалов» Санкт-Петербургского
государственного политехнического университета Петра Великого
Б. Е. Мельников;

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
«Строительные конструкции» Петербургского государственного
университета путей сообщения Императора Александра I
В. В. Егоров

Бенин А.В.

Э41 Экспериментальные методы контроля качества строительных материалов и конструкций : учебное пособие / А. В. Бенин, А. П. Лейкин, С.В. Николаев. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – 227 с.

ISBN 978-5-7641-0743-1

Приведены методики проведения экспериментальных исследований по контролю качества строительных материалов и конструкций на реальных примерах выполнения аналогичных работ в испытательной лаборатории «Механическая лаборатория им. проф. Н.А. Белелюбского» и испытательном центре «Прочность» ПГУПС.

Рассмотрены требования современных отечественных и зарубежных норм, предъявляемые к контролю качества наиболее распространенных строительных материалов и изделий: бетону, арматурной стали, стальному прокату, а также основные методы проведения экспериментальных работ, как разрушающие, так и неразрушающие.

Представлен лабораторный практикум, нацеленный на выработку у обучающихся навыков организации всего комплекса работ по проведению контроля качества материалов: от отбора образцов на строительных площадках, разработки программы проведения испытаний, непосредственного их проведения, квалифицированного анализа результатов до составления протоколов выполненных экспериментальных работ.

Для обучающихся по строительным направлениям, а также для специалистов, работающих в промышленном и гражданском строительстве.

УДК 691(075)
ББК 38.3я73

ISBN 978-5-7641-0743-1

© Бенин А. В., Лейкин А. П.,
Николаев С.В., 2015
© ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ. ПРОФЕССОР Н. А. БЕЛЕЛЮБСКИЙ И «ЗОЛОТОЙ ВЕК» МЕХАНИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

В марте 2015 г. исполнилось 170 лет со дня рождения профессора Николая Аполлоновича Белелюбского (13 марта 1845 – 4 августа 1922). Н. А. Белелюбский после окончания Института Корпуса инженеров путей сообщения (ИКИПС) в 1867 г., был оставлен в нем в качестве репетитора. Но уже через несколько лет после окончания института, в 1873 г., ему было поручено заведование Механической лабораторией. Одновременно Белелюбский был избран экстраординарным профессором кафедры «Строительная механика».

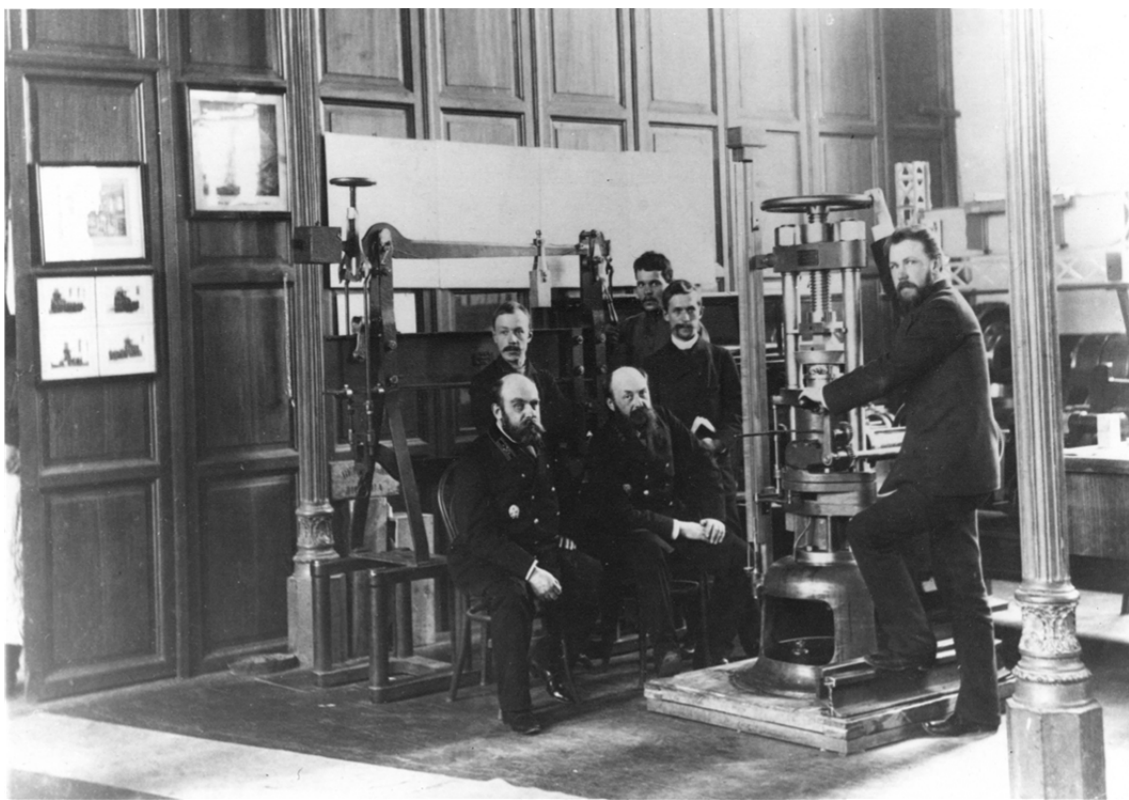


Н. А. Белелюбский
(1845–1922)

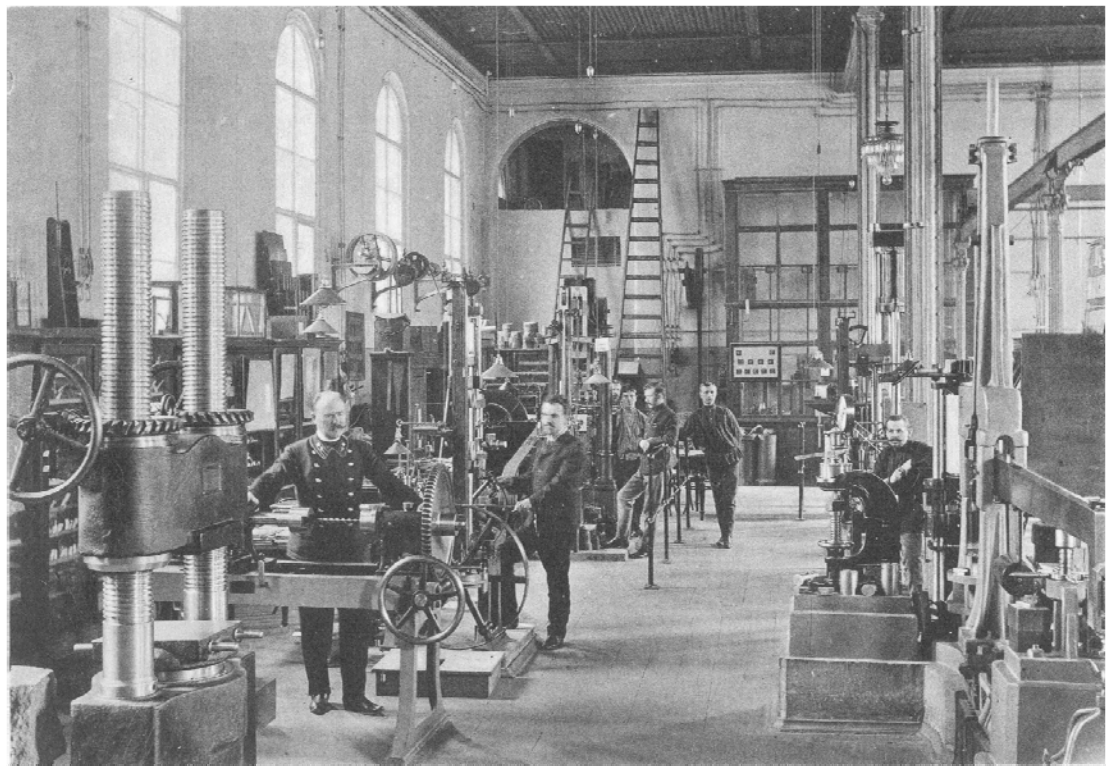
Именно с деятельностью Механической лаборатории неразрывно связана вся деятельность и жизнь проф. Н. А. Белелюбского. Официальное открытие Механической лаборатории состоялось 28 января (10 февраля по новому стилю) 1854 г. Н. А. Белелюбский стал ее третьим (после П. И. Собко и Н. М. Соколова) заведующим. Отметим, что Механическая лаборатория, организованная в стенах ИКИПС, была первой в России и одной из первых в мире специализированной учебной и научной лабораторией по исследованию свойств прочности и деформируемости материалов и элементов конструкций [1], [2].

В 70-е годы XIX века в России продолжает расширяться железнодорожное и гидротехническое строительство. С учетом этого профессор Н. А. Белелюбский видел ближайшую задачу Механической лаборатории «...в производстве возможно большего числа опытов по определению сопротивления и других механических свойств русских материалов, а также в удовлетворении запросов строительной практики по приемке материалов вообще». С 1876 г. в Механической лаборатории проводились систематические испытания цементов различных заводов. В 1881 г. на основании накопленного опыта Н. А. Белелюбский разработал единые российские «Нормальные условия для поставки и приемки портландских цементов», которые были утверждены Министерством путей сообщения.

Н. А. Белелюбский является одним из организаторов ряда совещаний, посвященных обсуждению вопросов испытания цементов. Их участниками были представители отечественных цементных заводов и научных учреждений. На первом совещании в 1855 г. было принято решение образовать в Механической лаборатории Института инженеров путей сообщения постоянное бюро по испытанию цементов.



Н. А. Белелюбский с сотрудниками в машинном зале
Механической лаборатории



Машинный зал Механической лаборатории и её сотрудники
(1870–80 гг.)

В 1889 г. Н. А. Белелюбский занимался вопросом выбора состава бетона для резервуаров и фильтров водопроводной станции в Петербурге. На основе результатов испытаний, полученных в Механической лаборатории, в 1890 г. были составлены Технические условия на приемку цемента для портовых сооружений, написаны инструкции по надзору за производством работ. Н. А. Белелюбский доказал, что качество русских цемента не уступает лучшим маркам иностранных. Его стараниями доступ импортному цементу в сооружения, строившиеся Министерством путей сообщения, с 1895 г. был прекращен.

Накопленные в лаборатории экспериментальные данные при испытании образцов литого железа (малоуглеродистой стали) послужили основой для составления первых Технические условий на приемку литого железа для строительства мостов.

Н. А. Белелюбский был и известным мостостроителем, по проектам которого возведено более 100 крупных мостов из литого железа. Оно пришло на смену сварочному железу и стало внедряться в строительную практику в 80-х годах XIX столетия. На первых порах литое железо было встречено с недоверием. Обширные исследования его свойств и влияния на них различных способов обработки позволили Н.А. Белелюбскому в работах, опубликованных в 1882–1885 гг., рекомендовать литое железо к использованию в мостостроении. Первые в мире мосты из литого железа появились на Псково-Ржевской железной дороге в 1883 г., а к 1886 г. такие мосты были построены на Ржево-Вяземской и Гомель-Брянской железных дорогах.

В течение 40 лет не было внесено существенных изменений в конструкцию типовых ферм, разработанных Белелюбским в 1884 г. Балочные мосты с простейшей двухраскосной решеткой отвечали требованиям ясности работы конструкции и простоты ее статического расчета.

Теоретические исследования Н.А. Белелюбского были обобщены в его «Курсе строительной механики», который вышел первым изданием в 1885 г. и стал настольной книгой для студентов того времени.

В 1883 г. большое место среди исследований в Механической лаборатории занимали работы по изучению рельсовой стали. Выяснялось, какими свойствами должна обладать сталь рельсов и бандажей, чтобы обеспечить их наименьший износ при эксплуатации. Результаты этих исследований были использованы при разработке в 1886 г. Технические условия на приемку рельсов и бандажей.

К 80-м годам XIX столетия Механическая лаборатория завоевала славу одной из лучших в Европе. Этим она обязана энергичной и плодотворной работе профессора Н. А. Белелюбского, возглавлявшего ее без малого полстолетия. По мнению Ф. С. Ясинского, благодаря заботам профессора Н. А. Белелюбского «Механическая лаборатория в короткое время

своего существования успела принести неоценимые услуги строительному делу и отечественной промышленности, стяжавшие ей громкую и вполне заслуженную известность не только в России, но и за границей» [3].

В 1895 г. под председательством Н. А. Белелюбского была образована комиссия для выработки сортамента профилей фасонного прокатного металла. В 1899 г. «Русский нормальный сортамент железа в метрических мерах» был введен и действовал без существенных изменений вплоть до 1926 г.

С 1900 по 1905 г. по заданию Министерства путей сообщения в лаборатории проводилось большое комплексное исследование химических и механических свойств стали из рельсов, прослуживших продолжительные сроки на различных дорогах страны. Результаты этой большой работы послужили основой для разработки Технических условий на рельсы и нормальных типовых профилей рельсов, утвержденных в 1908 г. и действовавших до 1940-х годов, когда они были дополнены более тяжелыми типами.

В 1921 г. совет Института избрал Н. А. Белелюбского почетным директором Механической лаборатории.

В 1922 г. профессор Н. А. Белелюбский умер и его имя было присвоено Механической лаборатории. Она стала называться «Механическая лаборатория им. профессора Н. А. Белелюбского», это имя лаборатория носит и в настоящее время.

Изложенный в пособии курс является логичным продолжением работы Н. А. Белелюбского и его учеников, так как все представленные в пособии материалы базируются на реальных исследованиях, выполненных сотрудниками Механической лаборатории им. проф. Н. А. Белелюбского и испытательного центра «Прочность» (который образовался на базе бетонного отделения Механической лаборатории). Учебное пособие знакомит обучающихся с нормативными требованиями, современными техническими средствами контроля качества строительных материалов и конструкций, организацией работ по проведению контроля качества и проведению экспериментов. Приведены примеры контроля качества основных строительных материалов: арматуры, фасонного и сортового проката, сварных и механических соединений, бетона и др., описываются методы контроля с указанием результатов проведения экспериментальных работ.

Авторы благодарят Татьяну Варенцову за высококачественные фотографии, иллюстрирующие материал пособия.

1 АРМАТУРА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В настоящее время действующими отечественными стандартами на арматурный прокат являются:

- ГОСТ 5781–82 «Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия»;
- ГОСТ 10884–94 «Сталь арматурная термомеханическая упрочненная для железобетонных конструкций. Технические условия»;
- ГОСТ Р 52544–2006 «Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. Технические условия»;
- СТО АСЧМ 7–93 «Прокат арматурный периодического профиля. Технические условия».

1.1 Классификация и маркировка

Арматура железобетонных конструкций может быть классифицирована по условиям поставки или по основному способу производства. По основному способу производства в соответствии с действующими стандартами различают арматурную сталь [4]:

- горячекатаную;
- упрочненную вытяжкой или скручиванием;
- термомеханически упрочненную;
- термически упрочненную путем закалки и последующего отпуска;
- холодноотянутую и холоднокатаную обыкновенного качества;
- патентованную холодноотянутую (или холоднокатаную) и отпущенную или стабилизированную проволоку и арматурные канаты из нее.

Арматурная сталь подразделяется на классы прочности. При обозначении классов используют буквы (в начале обозначения класса), соответствующие основному способу производства и условиям поставки:

А – стержневая горячекатаная и термомеханически упрочненная;

В – холодноотянутая и холоднокатаная проволока;

К – высокопрочные арматурные канаты.

Цифровые обозначения классов прочности арматуры учитывают ее прочностные свойства. Например, арматура класса А-I с нормативным пределом текучести 240 Н/мм^2 (МПа) обозначается как А240, арматура с нормативным пределом текучести 400 Н/мм^2 – А400 (старое обозначение А-III) и т. п.

В обозначении класса прочности арматуры используется также символ «Т», например: Ат1000 по ГОСТ 10884–94 – обозначающий термомеханическое или термическое упрочнение. Отметим: несмотря на то, что

обозначения арматуры А-I, А-II, А-III, А-IV, А-V, А-VI по ГОСТ 5781-82 являются устаревшими, они все еще активно используются в практике строительства. Кроме этого, в зависимости от эксплуатационных характеристик арматуру подразделяют на свариваемую (индекс С в конце обозначения класса) и стойкую против коррозии (индекс К в конце обозначения класса).

Арматурная сталь в зависимости от класса имеет различный периодический профиль, рисунок и размеры которого определены соответствующими стандартами. Однако наличие периодического профиля может снижать пластичность и прочность арматуры при циклических нагрузках [4], поэтому так называемая «мягкая» сталь с пределом текучести до 250 Н/мм² поставляется в виде прутков с гладкой поверхностью (арматура класса А-240 (А-I) по ГОСТ 5781).

В настоящее время некоторые металлургические заводы для быстрого определения класса арматуры и ее диаметра наносят на арматурные стержни прокатную маркировку. Такая маркировка обязательно включает в себя также товарный знак предприятия-изготовителя. Пример прокатной маркировки приведен на рисунке 1.1.



Рис. 1.1. Пример прокатной маркировки арматуры класса А500С диаметром 20 мм

Если такой маркировки нет, то предусматривается окрашивание несмываемой краской концов (торцов или хвостовых частей) арматурных стержней или их связки. Например, согласно требованиям ГОСТ 10884, концы арматурных стержней класса Ат400С должны быть окрашены белой краской, Ат500С – белой и синей и т. д.

1.2 Определение химического состава арматурной стали

Арматурная сталь изготавливается из углеродистой или низколегированной стали. Марки сталей и их химический состав приведены в соответствующей нормативно-технической документации, где также указываются и отклонения по химическому составу, а также значения и формулы для определения углеродного эквивалента $C_{\text{экв}}$, %, который зависит от химического состава стали и является показателем ее свариваемости. Для определения углеродного эквивалента в различных стандартах применяются различные уравнения (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Формулы для определения углеродного эквивалента

Наименование нормативного документа	Формула для определения углеродного эквивалента	Значение углеродного эквивалента для готового проката, %
ГОСТ Р 52544–2006	$C_{\text{экв}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{5} + \frac{\text{Ni} + \text{Cu}}{15}$	Не более 0,52*
СТО АСЧМ 7–93	$C_{\text{экв}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{5} + \frac{\text{Ni} + \text{Cu}}{15}$	Не более: 0,52* (А400С и А500С) 0,67 (А600С)
ГОСТ 5781–82	$C_{\text{экв}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Si}}{10}$	Не более: 0,62 (А400 (А-III))
ГОСТ 10884–94	$C_{\text{экв}} = C + \frac{\text{Mn}}{8} + \frac{\text{Si}}{7}$	Не менее по ковшовой пробе: 0,32 (Ат400С) 0,40 (Ат500С) 0,44 (Ат600С)
Здесь С, Мп, Сг, V, Мо, Сu, Ni и Si – фактическая массовая доля углерода, марганца, хрома, ванадия, молибдена, меди, никеля и кремния в стали, %.		

Примечание. * Для проката диаметром более 32 мм допускается увеличение значения углеродного эквивалента $C_{\text{экв}}$ до 0,57 %.

Обычно для определения химического состава отбирают одну пробу от каждой партии арматурной стали.

Химический анализ состава арматурной стали проводят по следующим стандартам:

ГОСТ 28473–90 «Чугун, сталь, ферросплавы, хром, марганец металлические. Общие требования к методам анализа»;

ГОСТ 27809–95 «Чугун и сталь. Методы спектрографического анализа»;

ГОСТ 22536.0–87 «Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Общие требования к методам анализа»;

ГОСТ 22536.1–88 «Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения общего углерода и графита»;

ГОСТ 22536.2–87 «Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения серы»;

ГОСТ 22536.3–88 «Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения фосфора»;

ГОСТ 22536.5–87 «Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения марганца»;

ГОСТ 22536.7–88 «Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения хрома»;

ГОСТ 22536.8–87 «Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения меди»;

ГОСТ 22536.9–88 «Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения никеля»;

ГОСТ 22536.12–88 «Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения ванадия»;

ГОСТ 12359–99 (ИСО 4945–77) «Стали углеродистые, легированные и высоколегированные. Методы определения азота», а также другие ГОСТы.

На рисунке 1.2, а показано выполнение испытаний по определению химического состава арматурной стали на искровом эмиссионном спектрометре PDA-7000 производства японской корпорации Shimadzu. Необходимо отметить, что для точного определения химического состава необходим широкий набор стандартных образцов (рис. 1.2, б).

а)



б)



Рис.1.2. Определение химического состава стали: а – рабочая зона эмиссионного спектрометра PDA-7000; б – набор стандартных образцов

1.3 Испытания на растяжение

Испытания образцов арматурной стали на растяжение регламентируются ГОСТ 12004–81 «Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение». Данный стандарт устанавливает методы испытаний на растяжение при температуре $(20^{+15}_{-10})^{\circ}\text{C}$ арматурной стали номинальным диаметром от 3,0 до 80 мм (проволоки, стержни и арматурные канаты) круглого и перио-

дического профиля для определения следующих механических свойств (обозначения характеристик приведены по ГОСТ 12004):

- полного относительного удлинения при максимальной нагрузке $\delta_{\max}$, %;
- относительного удлинения после разрыва δ , %;
- относительного равномерного удлинения после разрыва δ_r , %;
- относительного сужения после разрыва ψ , %;
- временного сопротивления σ_b , Н/мм²;
- предела текучести (физического) σ_t , Н/мм²;
- условного предела текучести $\sigma_{0,2}$, Н/мм²;
- условного предела упругости σ_i , Н/мм²;
- начального модуля упругости E_n , Н/мм².

Методы отбора образцов и определение геометрических параметров

Согласно ГОСТ 12004, для испытаний на растяжение отбираются образцы арматуры круглого или периодического профиля с необработанной поверхностью номинальным диаметром d от 3,0 до 80 мм. ГОСТ 12004 допускает проводить испытания образцов горячекатаной стержневой арматуры номинальным диаметром более 20 мм на обточенных образцах цилиндрической формы с головками по ГОСТ 1497 (по возможности с сохранением на головках поверхности проката). Данное допущение позволяет проводить испытания на испытательных машинах малой мощности. Порядок и места вытачивания образцов приведены на рисунке 1 ГОСТ 12004.

Если в нормативно-технической документации на арматурную сталь допускается возможность предварительной правки образцов, то ее необходимо производить плавными ударами молотка по образцу, лежащему на подкладке, при этом молоток и подкладка должны быть изготовлены из более мягкого материала, чем образец.

ГОСТ 12004 устанавливает следующие значения для **рабочей длины** образцов арматуры (l_1 , мм).

Номинальный диаметр арматуры d , мм	Рабочая длина образца l_1 , мм
До 20 мм включительно	Не менее 200
Более 20 мм	Не менее $10d$
Арматурные канаты всех диаметров	Не менее 350

Полная длина образцов арматуры (l_p , мм) выбирается в зависимости от рабочей длины образца и особенностей конструкции захватов испытательной машины.

Учитывая, что поперечное сечение профилированной арматуры имеет сложный вид, **начальную площадь поперечного сечения** (F_0 , мм²) определяют весовым способом по формуле:

$$F_0 = \frac{m}{\rho l} \cdot 10^6,$$

где m – масса испытуемого образца, кг;

l – длина испытуемого образца, м;

ρ – плотность стали, 7850 кг/м³.

Рисунком 1.3 проиллюстрирован процесс определения номинальной площади образца арматуры.

а)



б)



Рис. 1.3. Определение номинальной площади поперечного сечения образца арматуры: а – определение длины образца; б – определение массы образца

ГОСТ 12004 устанавливает следующие требования к измерению массы образцов арматуры периодического профиля (требования к выбору весов для измерения массы образцов).

Номинальный диаметр арматуры d , мм	Погрешность измерения, не более
Менее 10 мм	1,0 г
От 10 до 20 мм	2,0 г
Более 20 мм	1 % от массы образца

Проведение испытаний и обработка результатов

Величину **относительного удлинения после разрыва** δ , %, определяют по формуле:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100,$$

здесь l_k и l_0 – соответственно конечная и начальная расчетная длина, мм.

За **начальную расчетную длину** принимают длину (l_0 , мм), на базе которой производится измерение удлинений. В зависимости от величины начальной расчетной длины образца к обозначению относительной деформации (δ , %) добавляют индекс, указывающий на размер начальной расчетной длины. Например: δ_5 – означает, что начальная расчетная длина равна $5d$, δ_{100} – начальная расчетная длина равна 100 мм и т. д.

Если испытательная машина не оснащена автоматическим экстензометром для определения конечной расчетной длины и соответственно относительной деформации, необходимо предварительно выполнить разметку образца при помощи делительной машинки, керна, скобок или других приспособлений. Образец делится на длине, превышающей рабочую длину образца, на n равных частей. На рисунке 1.4 показана делительная машинка производства компании Walter-Bai, которая обеспечивает нанесение меток на металлические образцы с расстоянием между ними в 5, 10 и 20 мм.



Рис. 1.4. Делительная машинка производства компании Walter-Bai

Расстояние между метками выбирается из следующих требований ГОСТ 12004.

Номинальный диаметр арматуры d , мм	Расстояние между метками
Менее 10 мм	10 мм
10 мм и более	Не должно превышать величину d и быть кратным 10 мм

Если число интервалов n , соответствующее начальной длине образца, оказывается дробным, его округляют до целого в большую сторону.

При проведении испытаний важно правильно задать скорость нагружения, которая согласно требованиям ГОСТ 12004 должна быть до достижения предела текучести не более 10 Н/мм^2 , после достижения предела текучести скорость нагружения может быть увеличена так, чтобы скорость перемещения подвижного захвата машины не превышала $0,1$ рабочей длины образца (l_1) в минуту. При этом **испытания не учитываются**, если разрыв образца произошел в захвате машины.

Выбор испытательной машины зависит от ожидаемой разрушающей нагрузки. На рисунке 1.5 показаны испытания арматуры на растяжение на машине SATC 1200KN-J3D производства компании «Instron Corporation».

а)



б)



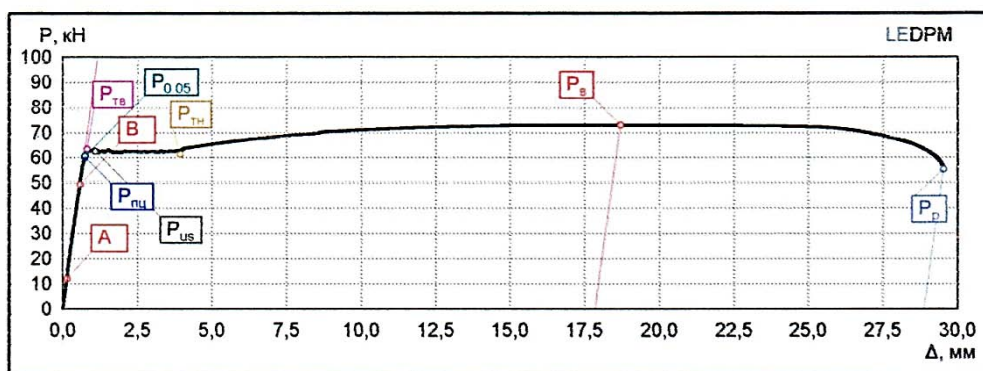
Рис. 1.5. Испытания арматуры на растяжение на машине Instron SATC 1200KN:
а – общий вид; б – образец после разрыва

После испытаний машина автоматически при условии корректного ввода исходных данных (скорости нагружения, начальной площади поперечного сечения, полной и расчетной длины образцов и др.) определит прочностные свойства арматурной стали: временное сопротивление (σ_B , Н/мм²) и предел текучести (σ_T или $\sigma_{0,2}$, Н/мм²).

На рисунке 1.6 приведены диаграммы *нагрузка – удлинение*, полученные при испытании арматуры на машине МИРИ-500К. Необходимо обратить внимание, что на рисунке б, а приведена диаграмма с площадкой текучести (с определением предела текучести σ_T), а на рисунке 1.6, б – диаграмма без площадки текучести (с определением условного предела текучести $\sigma_{0,2}$).

Для определения пластических свойств арматурной стали (полного относительного удлинения и др.) необходимо после разрушения образца определить и ввести в систему управления машиной значение конечной расчетной длины l_k . Отметим, что существуют экстензометры, которые могут сопровождать процесс растяжения образца из арматурной стали вплоть до разрыва. При наличии такого экстензометра значение конечной расчетной длины будет получено автоматически и искомые характеристики пластических свойств (в том числе полное относительное удлинение при максимальной нагрузке) образца будут определены также автоматически.

а)



б)

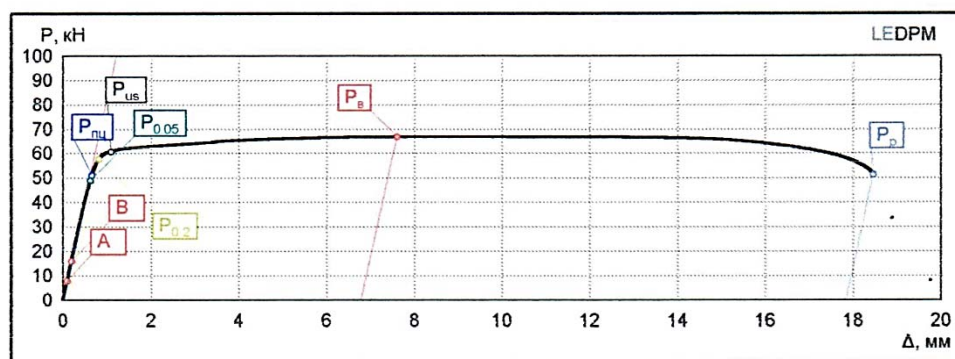


Рис. 1.6. Диаграммы *нагрузка – удлинение*, полученные при испытании образцов арматурной стали на машине МИРИ-500К:
а – с площадкой текучести; б – без площадки текучести

Учитывая важность правильного определения конечной расчетной длины l_k , рассмотрим требования ГОСТ 12004 более подробно.

После испытания части образца складывают вместе, располагая их по прямой линии (рис. 1.7, а). От места разрыва в одну сторону откладывают $n/2$ интервалов; если величина $n/2$ оказалась дробной, ее округляют до целого числа в большую сторону, устанавливая метку a . От метки a откладывают в сторону разрыва n интервалов (рис. 1.7, б) и ставят метку b . Отрезок ab равен конечной расчетной длине l_k .

а)



б)



Рис. 1.7. Определение конечной расчетной длины:

а – состыкованный образец после разрыва;

б – измерение конечной расчетной длины

Если место разрыва оказалось ближе к краю одного из захватов, чем величина $n/2$, то для определения l_k согласно ГОСТ 12004 действуют следующим образом (рис. 1.8). От места разрыва до крайней точки q у захвата определяют число интервалов, обозначаемое как $m/2$. Далее от точки q по направлению к месту разрыва откладывают m интервалов и ставят метку c .

Затем от метки c откладывают $(n/2 - m/2)$ интервалов и ставят метку e . Конечную расчетную длину (l_k , мм) в этом случае определяют по формуле:

$$l_k = |cq| + 2|ce|,$$

где $|cq|$, $|ce|$ – соответственно длина участка образца между точками c и q , c и e (см. рис. 1.8).

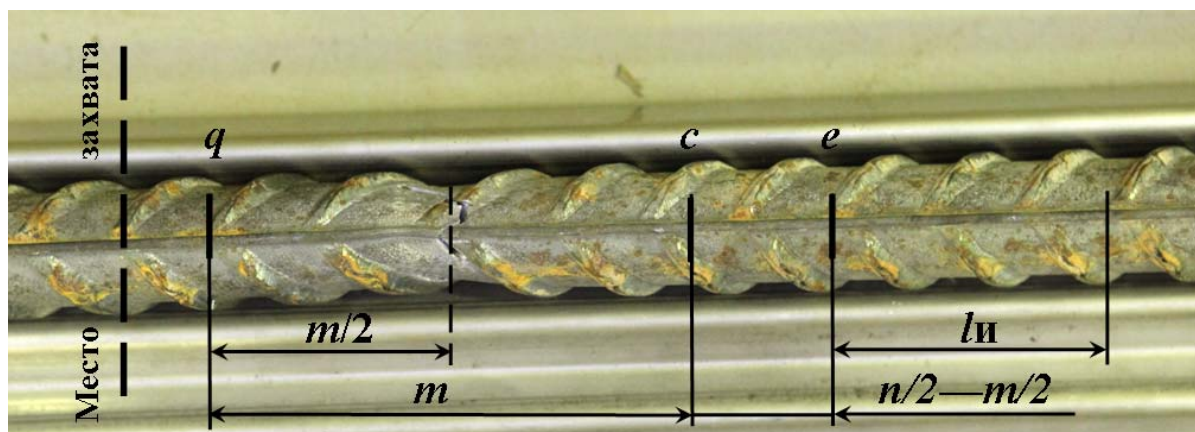


Рис. 1.8. Определение конечной расчетной длины при разрыве вблизи захвата

Если разрыв произошел на расстоянии от захвата меньшем, чем длина двух интервалов или $0,3l_0$ (для образцов диаметром менее 10 мм), **требуется повторное испытание.**

Относительное равномерное удлинение δ_p по ГОСТ 12004 определяется всегда вне участка разрыва на начальной длине l_0 , равной 50 или 100 мм. При этом расстояние от места разрыва до ближайшей метки начальной расчетной длины должно быть следующим.

Номинальный диаметр арматуры d , мм	Расстояние от места разрыва до ближайшей метки
Менее 10 мм	От 30 до 50 мм
10 мм и более	Не менее $3d$ и не более $5d$

Конечная расчетная длина l_k после испытания образца определяется по меткам, например, как показано на рисунках 5, б и 6.

Величину относительного равномерного удлинения δ_p , %, по ГОСТ 12004 определяют по формуле:

$$\delta_p = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100.$$

Относительное удлинение после разрыва δ и относительное равномерное удлинение δ_p вычисляют с точностью до 0,5% (при этом доли до 0,25% отбрасываются, а доли 0,25% и более округляются до 0,5%).

Полное относительное удлинение при максимальной нагрузке $\delta_{\max}$, %, как уже указывалось выше, может быть определено автоматически при наличии соответствующего экстензометра. При его отсутствии $\delta_{\max}$ определяется суммированием остаточной деформации после разрушения образца с упругими деформациями при максимальной нагрузке по формуле:

$$\delta_{\max} = \delta_p + \frac{\sigma_B}{E_H} \cdot 100,$$

где E_H – начальный модуль упругости, Н/мм².

Для определения **начального модуля упругости** (E_H , Н/мм²) необходимо использовать экстензометры или другие приборы, позволяющие определять удлинения. Начальный модуль упругости по ГОСТ 12004 определяется как отношение приращения напряжений в интервале от 0,1 до 0,35 $P_{\max}$ к относительному удлинению образца в том же интервале нагружения по формуле:

$$E_H = \frac{(P_{0,35} - P_{0,1})l_0}{(\Delta l_{0,35} - \Delta l_{0,1})F_0}.$$

При этом в интервале от 0,1 до 0,35 $P_{\max}$ ГОСТ 12004 требует провести не менее трех последовательных нагружений.

Следует отметить, что современные испытательные машины с интегрированным в систему управления экстензометром автоматически определяют начальный модуль упругости при условии корректного ввода исходных данных.

Относительное сужение после разрыва ψ , %, определяется только на круглых образцах проволоки и стержневой арматуры, а также на обточенных образцах цилиндрической формы по требованиям ГОСТ 1497 «Металлы. Методы испытаний на растяжение» по формуле:

$$\psi = \frac{(F_0 - F_K) \cdot 100}{F_0},$$

здесь F_K – площадь поперечного сечения образца после разрыва, которая определяется после измерения минимального диаметра образца после разрыва d_K в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Измерение минимального диаметра d_K производится штангенциркулем с отсчетом по нониусу с точностью до 0,1 мм. Площадь F_K рассчитывается по среднему арифметическому из полученных значений d_K .

Временное сопротивление σ_B , Н/мм², в соответствии с требованиями ГОСТ 12004 определяют с погрешностью 5 Н/мм² по формуле:

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0}.$$

Предел текучести (физический) σ_T , Н/мм², определяют с погрешностью 5 Н/мм² по формуле:

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}.$$

На диаграмме *нагрузка – удлинение* с пределом текучести (рис. 1.6, а) показаны точки, соответствующие верхнему и нижнему пределу текучести (P_{TB} и P_{TH} – нагрузки соответственно при верхнем и нижнем пределах текучести). В этом случае определяются соответственно верхний σ_{TB} и нижний σ_{TH} пределы текучести.

Условный предел упругости σ_i определяется в зависимости от величины допуска на пластическую деформацию, равную от 0,02% до 0,1% расчетной длины экстензометра включительно (в этом случае к букве σ добавляют индекс, соответствующий принятому допуску i (например, $\sigma_{0,05}$).

Условные пределы упругости и текучести могут быть определены аналитическим или графическим способом в соответствии с требованиями ГОСТ 12004 (или автоматически при условии использования современных испытательных машин, оснащенных экстензомерами). Допускается при определении условных пределов упругости и текучести использовать машинную диаграмму (которую можно получить, например, при использовании машины типа Р-5) по ГОСТ 1497.

Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, Н/мм², определяют с погрешностью 5 Н/мм² по формуле:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}.$$

Количество образцов для испытаний определяется требованиями нормативно-технической документации на арматурную сталь.

Наименование нормативного документа	Количество образцов для испытаний на растяжение
ГОСТ Р 52544–2006	2
СТО АСЧМ 7–93	1
ГОСТ 5781–82	1

Нормативные значения определяемых механических свойств арматурной стали приведены в соответствующей нормативно-технической документации. В таблице 1.2 в качестве примера приведены технические требования к механическим свойствам арматурного проката класса А500С и В500С по ГОСТ Р 52544.

Таблица 1.2

Механические свойства арматурного проката классов А500С и В500С
по ГОСТ Р 52544

Наименование показателя	Значение показателя для класса	
	А500С	В500С
Предел текучести $\sigma_T(\sigma_{0,2})^1$, Н/мм ² , не менее	500	500
Временное сопротивление σ_B , Н/мм ² , не менее	600	550
Относительное удлинение δ_5 , %	14,0	—
Полное относительное удлинение при максимальном напряжении δ_{max} , %, не менее	—	2,5 ²⁾
Отношение $\sigma_B/\sigma_T(\sigma_B/\sigma_{0,2})$, не менее	1,08	1,05 ³⁾

Примечания:

¹⁾ В качестве предела текучести принимают физический (σ_T) или условный ($\sigma_{0,2}$) предел текучести по ГОСТ 12004.

²⁾ Допускается вместо полного относительного удлинения δ_{max} определять относительное равномерное удлинение δ_r , значение которого должно быть не менее 2 %.

³⁾ Для арматурного проката класса В500С диаметром 5,5 мм и менее допускается снижение $\sigma_B/\sigma_T(\sigma_B/\sigma_{0,2})$ до 1,03.

Результаты испытаний считаются **неудовлетворительными**, если какая-либо характеристика механических свойств не отвечает установленным требованиям.

1.4 Испытания на изгиб в холодном состоянии и изгиб с последующим разгибом

Испытания на изгиб в холодном состоянии проводят в соответствии с требованиями ГОСТ 14019–2003 «Материалы металлические. Методы испытания на изгиб».

Испытания проводятся на специализированных универсальных машинах или прессах, имеющих устройство с двумя опорами и набор оправок для загиба (рис. 1.9) или другие приспособления, необходимые для проведения испытаний.

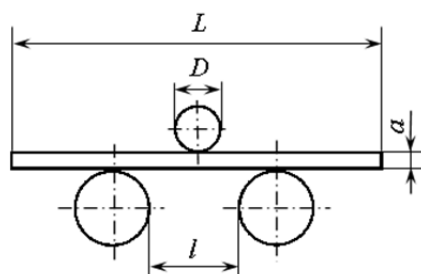


Рис. 1.9. Схема испытаний на изгиб с использованием двух опор и оправки

Расстояние между опорами l (если нет иных указаний) определяют по формуле:

$$l = (D + 3a) \pm \frac{a}{2},$$

здесь D — диаметр оправки, мм;

a — диаметр (толщина) образца, мм (см. рис. 1.9).

Нормативные требования, предъявляемые различными стандартами к арматурной стали при испытаниях на однократный изгиб, приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Требования к проведению испытаний на однократный изгиб
в холодном состоянии

Наименование нормативного документа	Класс арматурной стали	Диаметр оправки (толщина оправки)	Угол загиба
ГОСТ Р 52544–2006	Все классы	$3d$	180°
СТО АСЧМ 7–93	A400С A500С A600С	Зависит от номинального диаметра и приведен в таблице 5 СТО АСЧМ 7-93	180° 180° 90°
ГОСТ 5781–82	A240 (A-I)	d	180°
	A300 (A-II)	$3 d$	180°
	A400 (A-III)	$3 d$	90°
	A600 (A-IV)	$5 d$	45°
	A800 (A-V)	$5 d$	45°
	A1000 (A-VI)	$5 d$	45°
ГОСТ 10884–94	At400	$3 d$	90°
	At500	$3 d$	90°
	At600	$5 d$	45°
	At800	$5 d$	45°
	At1000	$5 d$	45°
	At1200	$5 d$	45°

На рисунке 1.10, а приведен пример проведения испытания на загиб на универсальной испытательной машине МИРИ-500К ООО «НИКЦИМ Точмашприбор» (Россия). На рисунке 1.10, б показан набор оправок для изгиба, входящий в комплект поставки машины.

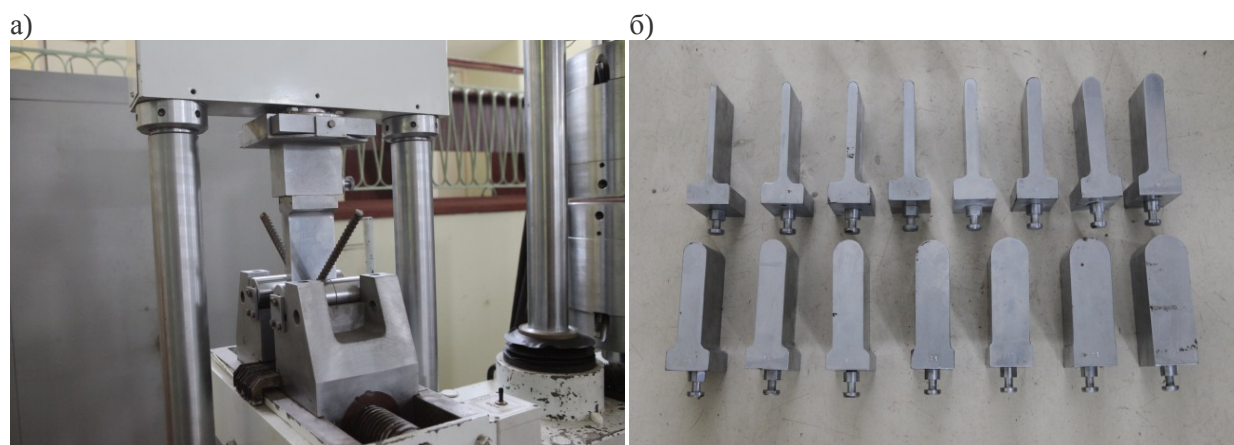


Рис. 10. Проведение испытаний на однократный изгиб в холодном состоянии на машине МИРИ-500К: а – процесс загиба арматуры; б – комплект оправок для загиба

Испытания на изгиб с последующим разгибом проводятся по ГОСТ 10884–94 (приложение Г). В таблице 1.4 приведены нормативные требования, предъявляемые различными стандартами к арматурной стали при испытаниях на изгиб с разгибом.

Таблица 1.4

Требования к проведению испытаний на изгиб с разгибом

Наименование нормативного документа	Номинальный диаметр арматуры d , мм	Диаметр оправки при изгибе	Угол изгиба перед нагревом, не менее	Угол последующего разгиба, не менее
ГОСТ Р 52544–2006	До 12 включ. Св. 12 до 16 включ. Св. 16 до 25 включ. Св. 25 до 50 включ.	$5d$ $6d$ $8d$ $10d$	90°	20°
СТО АСЧМ 7–93	До 12 включ. Св. 12 до 16 включ. 18 Св. 18 до 28 включ. Св. 28 до 40 включ.	$5d$ $6d$ 130 мм $8d$ $10d$	90°	20°
ГОСТ 10884–94	Приведены в приложении Г ГОСТ 10884		90°	20°

Количество образцов для испытаний определяется требованиями стандартов на арматурную сталь.

Наименование нормативного документа	Количество образцов для испытаний на холодный изгиб или изгиб с разгибом
ГОСТ Р 52544–2006	2
СТО АСЧМ 7–93	1
ГОСТ 5781–82	2
ГОСТ 10884–94	2

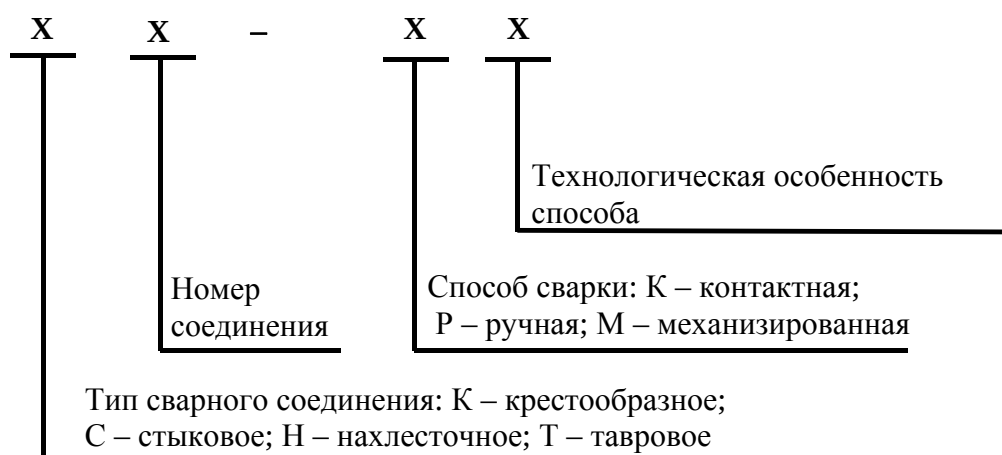
Образцы считаются выдержавшими испытания при отсутствии трещин, видимых без применения увеличительных средств.

2 СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ АРМАТУРНЫХ И ЗАКЛАДНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Типы, конструкции и размеры сварных соединений, выполняемых контактной и дуговой сваркой, установлены ГОСТ 14098–91 «Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры». Данный стандарт распространяется на сварные соединения стержневой арматуры и арматурной проволоки диаметром 3 мм и более, сварные соединения стержневой арматуры с прокатом толщиной от 4 до 30 мм, выполняемые при изготовлении арматурных и закладных изделий железобетонных конструкций, а также при монтаже сборных и возведении монолитных железобетонных конструкций. ГОСТ 14098–91 не распространяется на сварные соединения закладных изделий, не имеющих анкерных стержней из арматурной стали.

В таблице 2.1 приведены обозначения типов сварных соединений и способов их сварки.

Условное обозначение сварного соединения по ГОСТ 14098:



Пример условного обозначения: С21-Рн – стыковое соединение дуговой ручной сваркой с накладками из стержней, положение стержней любое.

Конструкции сварных соединений арматуры, их размеры до и после сварки приведены в таблице 2 ГОСТ 14098, на конструкции сварных соединений, не предусмотренные данным стандартом, необходимо разрабатывать рабочие чертежи с технологическим описанием условий сварки и ведомственный нормативный документ.

Основные параметры, размеры, технические требования, методы контроля и нормативные механические свойства сварных и механических соединений арматурных и закладных изделий приведены в ГОСТ 10922–2012 «Арматурные и закладные изделия, их сварные, вязаные и механические соединения для железобетонных конструкций. Общие технические условия».

Таблица 2.1

Типы сварных соединений и способы их сварки (ГОСТ 14098)

Тип сварного соединения		Способ и технологические особенности сварки		
Наименование	Обозначение, номер	Наименование	Обозначение	Положение стержней при сварке
Крестообразное	K1	Контактная точечная двух стержней	Кт	Любое
	K2	То же, трех стержней	Кт	
	K3	Дуговая ручная прихватками	Рр	
Стыковое	C1	Контактная стержней одинакового диаметра	Ко	Горизонтальное
	C2	То же, разного диаметра	Кн	То же
	C3	Контактная стержней одинакового диаметра с последующей механической обработкой	Км	То же
	C4	То же, с предварительной механической обработкой	Кп	То же
	C5	Ванная механизированная под флюсом в инвентарной форме	Мф	То же
	C6	Дуговая механизированная порошковой проволокой в инвентарной форме	Мп	То же
	C7	Ванная одноэлектродная в инвентарной форме	Рв	Вертикальное
	C8	Ванная механизированная под флюсом в инвентарной форме	Мф	То же
	C9	Дуговая механизированная порошковой проволокой в инвентарной форме	Мп	
	C10	Ванная одноэлектродная в инвентарной форме	Рв	
	C11	Ванная механизированная под флюсом в инвентарной форме спаренных стержней	Мф	Горизонтальное
	C12	Дуговая механизированная порошковой проволокой в инвентарной форме спаренных стержней	Мп	
	C13	Ванная одноэлектродная в инвентарной форме спаренных стержней	Рв	
	C14	Дуговая механизированная порошковой проволокой на стальной скобе-накладке	Мп	То же
	C15	Ванно-шовная на стальной скобе-накладке	Рс	Горизонтальное
	C16	Дуговая механизированная открытой дугой голлой легированной проволокой (СОДГП) на стальной скобе-накладке	Мо	
	C17	Дуговая механизированная порошковой проволокой на стальной скобе-накладке	Мп	
	C18	Дуговая механизированная открытой дугой голлой легированной проволокой (СОДГП) на стальной скобе-накладке	Мо	Вертикальное

Продолжение табл. 2.1

Тип сварного соединения		Способ и технологические особенности сварки		
Наименование	Обозначение, номер	Наименование	Обозначение	Положение стержней при сварке
Стыковое	C19	Дуговая ручная многослойными швами на стальной скобе-накладке	Рм	То же
	C20	Дуговая ручная многослойными швами без стальной скобы-накладки	Рм	То же
	C21	Дуговая ручная швами с накладками из стержней	Рн	Любое
	C22	То же, швами с удлиненными накладками из стержней	Ру	То же
	C23	Дуговая ручная швами без дополнительных технологических элементов	Рэ	То же
	C24	Ванная механизированная под флюсом в комбинированных несущих и формирующих элементах	Мф	Горизонтальное
	C25	Дуговая механизированная порошковой проволокой в комбинированных несущих и формирующих элементах	Мп	То же
	C26	Ванная одноэлектродная в комбинированных несущих и формирующих элементах	Рс	Горизонтальное
	C27	Ванная механизированная под флюсом в комбинированных несущих и формирующих элементах	Мф	Вертикальное
	C28	Дуговая механизированная порошковой проволокой в комбинированных несущих и формирующих элементах	Мп	То же
	C29	Ванная одноэлектродная в комбинированных несущих и формирующих элементах	Рс	То же
	C30	Ванная механизированная под флюсом в комбинированных несущих и формирующих элементах спаренных стержней	Мф	То же
	C31	Дуговая механизированная порошковой проволокой в комбинированных несущих и формирующих элементах спаренных стержней	Мп	Горизонтальное
	C32	Ванная одноэлектродная в комбинированных несущих и формирующих элементах спаренных стержней	Рс	То же
	C31	Дуговая механизированная порошковой проволокой в комбинированных несущих и формирующих элементах спаренных стержней	Мп	Горизонтальное
	C32	Ванная одноэлектродная в комбинированных несущих и формирующих элементах спаренных стержней	Рс	То же

Тип сварного соединения		Способ и технологические особенности сварки		
Наименование	Обозначение, номер	Наименование	Обозначение	Положение стержней при сварке
Нахлесточное	H1	Дуговая ручная швами	Рш	Любое горизонтальное
	H2	Контактная по одному рельефу на пластине	Кр	То же
	H3	То же, по двум рельефам на пластине	Кп	То же
	H4	Контактная по двум рельефам на арматуре	Ка	То же
Тавровое	T1	Дуговая механизированная под флюсом без присадочного металла	Мф	Вертикальное
	T2	Дуговая ручная с малой механизацией под флюсом без присадочного металла	Рф	То же
	T3	Дуговая механизированная под флюсом без присадочного металла по рельефу	Мж	Вертикальное
	T6	Контактная рельефная сопротивлением	Кс	То же
	T7	Контактная непрерывным оплавлением	Ко	То же
	T8	Дуговая механизированная в углекислом газе (CO ₂) в выштампованное отверстие	Мв	То же
	T9	Дуговая ручная в выштампованное отверстие	Рв	То же
	T10	Дуговая механизированная в CO ₂ в отверстие	Мс	То же
	T11	То же, в цекованное отверстие	Мц	То же
	T12	Дуговая ручная валиковыми швами в раззенкованное отверстие	Рз	То же
	T13	Ванная одноэлектродная в инвентарной форме	Ри	Горизонтальное

2.1 Сварные арматурные изделия

В соответствии с ГОСТ 10922–2012 сварные арматурные изделия подразделяются на следующие типы:

- отдельные стержни арматуры со сварными стыками и другими типами соединения по длине стержня (рис. 2.1);
- арматурные сетки;
- арматурные каркасы (рис. 2.2);
- закладные сварные изделия с анкерами из стержневой арматуры.



Рис. 2.1. Стыковая сварка отдельных арматурных стержней

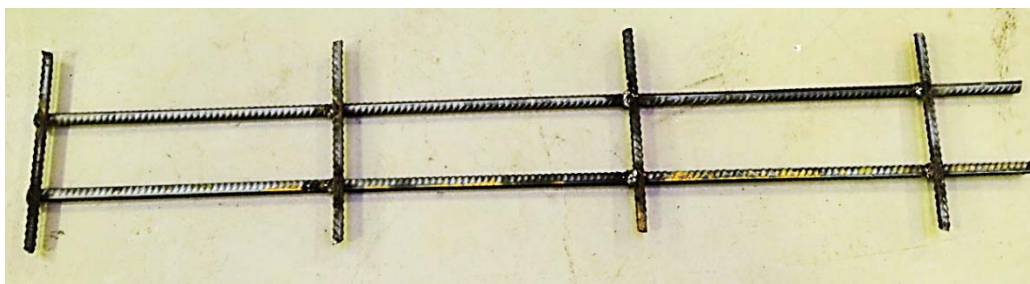


Рис. 2.2. Фрагмент арматурного каркаса

Сварные закладные изделия подразделяются на два основных типа: открытые и закрытые. Типы закладных изделий и взаимное расположение их элементов приведены в приложении А ГОСТ 10922–2012 и на рисунке 2.3.

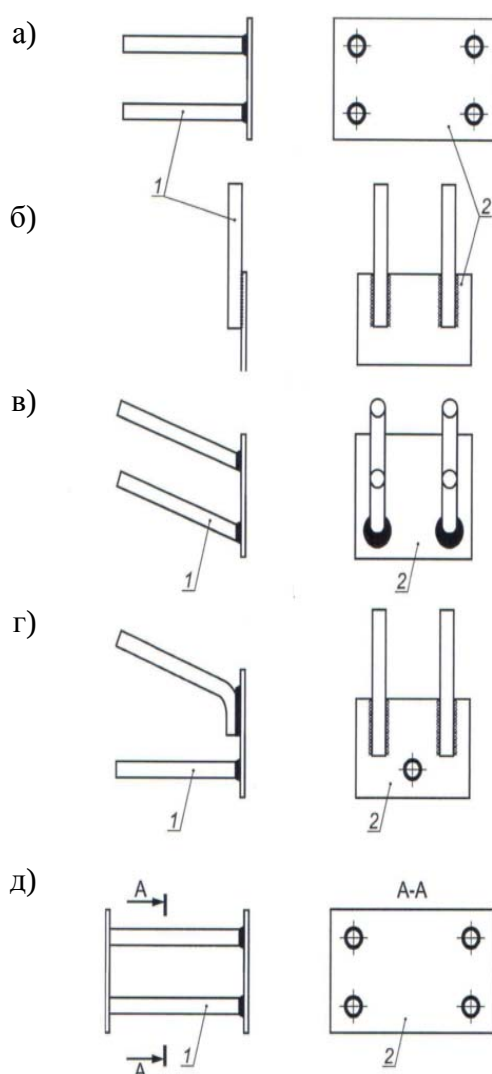


Рис. 2.3. Взаимное расположение элементов закладных деталей: а, б, в, г – закладные детали открытого типа (с перпендикулярным (рис. 2.4), параллельным, наклонным и смешанным расположениями анкерных стержней соответственно); д – закладное изделие закрытого типа (с перпендикулярным расположением анкерных стержней); 1 – анкерные стержни; 2 – плоский элемент



Рис. 2.4. Образец таврового сварного соединения, вырезанный из закладной детали открытого типа с параллельным расположением анкерных стержней

Ниже приведены требования ГОСТ 10922 к прочностным свойствам сварных соединений.

Таблица 2.2

Минимальное временное сопротивление сварных соединений
(ГОСТ 10922–2012)

Класс арматурной стали	Временное сопротивление сварных соединений, Н/мм ² , не менее
A240	320
A300	440
A400, A400C*	530
A500C, B500C*	550
A600C	700
A600	800
A800	900
A1000	1050

Примечание. *Временное сопротивление тавровых соединений с рабочими стержнями из арматуры класса A400, A400C, A500C и B500C должно быть не менее 500 Н/мм².

Крестообразные сварные соединения с нормируемой прочностью проволоки класса Вр-I со стержневой арматурой или с такой же проволокой при испытании на срез должны выдерживать без разрушения нагрузку $P_{ср}$, гН (кгс), не менее:

35 (355) – при номинальном диаметре проволоки 3 мм;

62 (630) – при номинальном диаметре проволоки 4 мм;

97 (985) – при номинальном диаметре проволоки 5 мм.

Контактная точечная сварка соединений с ненормируемой и нормируемой прочностью не должна вызывать разупрочнение проволоки класса Вр-I, применяемой в качестве рабочей арматуры железобетонных кон-

струкций. При испытании проволоки класса Вр-I на растяжение она должна выдерживать нагрузку не менее P_{cp} , указанной выше.

Стержни рабочей арматуры классов А400, А500С, В500С, А600 и Ат800, имеющие по длине крестообразные соединения, не должны разупрочняться и при испытании на растяжение иметь предел прочности, равный или превышающий временное сопротивление разрыву σ_b арматурной стали соответствующего класса по ГОСТ 5781, ГОСТ 10884.

Сварные крестообразные соединения с ненормируемой прочностью (при отсутствии указаний о нормировании прочности этих соединений в рабочих чертежах изделий) должны выдерживать напряжение на срез не менее $0,3\sigma_b$ независимо от диаметра арматуры.

2.2 Основные методы контроля сварных соединений

Для испытаний контрольных образцов сварных соединений используются разрывные машины любых систем с максимальным разрывным усилием от 10 до 100 тс. Скорость нагружения – по ГОСТ 12004.

Контрольные образцы стыковых соединений стержней испытывают на растяжение при расстоянии между захватами разрывной машины не менее 20 диаметров (d) стержня при $d \leq 25$ мм и не менее 10 диаметров – при стержнях большего диаметра.

На рисунке 2.5 показаны образцы сварных соединений до и после испытаний на растяжение.



Рис. 2.5. Сварные образцы до и после испытаний на растяжение

Размеры контрольных образцов крестообразных соединений, подлежащих механическим испытаниям на срез, представлены на рисунке 2.6 и в таблице 2.3.

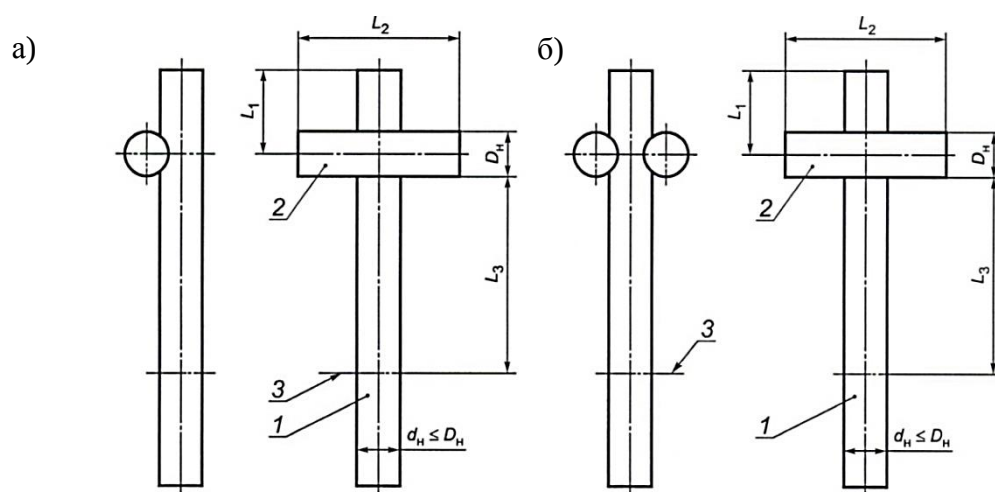


Рис. 2.6. Форма и размеры образцов для испытания крестообразных соединений на срез: а – одноосное соединение; б – двухсрезное соединение; 1, 2 – стержни арматуры; 3 – граница закрепления в захвате разрывной машины

Таблица 2.3

Размеры контрольных образцов крестообразных соединений арматуры

d_n	l_1	l_2	l_3 , не менее
3–10	15–50	80	$20 d_n$
12–25	25–40	80	$15 d_n$
28–40	40–60	100	$10 d_n$
Более 40	100–150	200	$10 d_n$

Примечание. d_n – номинальный диаметр арматуры.

При изготовлении образцов для испытаний крестообразных соединений арматуры разных диаметров следует обратить особое внимание на расположение этих стержней – рабочим стержнем, вдоль которого прикладывается нагрузка, является стержень **меньшего диаметра**.

Одной из основных трудностей, возникающих при проведении испытаний крестообразных соединений, является обеспечение требований п. 7.14 ГОСТ 10922–2012. Образцы крестообразных соединений испытывают по схемам, показанным на рисунке 2.7. При испытании одноосного соединения должно быть обеспечено прочное закрепление вертикального стержня, исключающее возможность его поворота вокруг своей оси. При испытании должна быть обеспечена также возможность свободного перемещения этого стержня под действием усилия. Отгибание ненагруженного конца вертикального стержня в сторону, противоположную сварному со-

единению, не допускается. Зажим, расположенный со стороны нагруженного стержня, должен иметь вырез, обеспечивающий свободное перемещение стержня диаметром d_H под воздействием этого усилия. Зазор между боковыми стенками выреза и гратом в сварном соединении должен быть 2–3 мм.

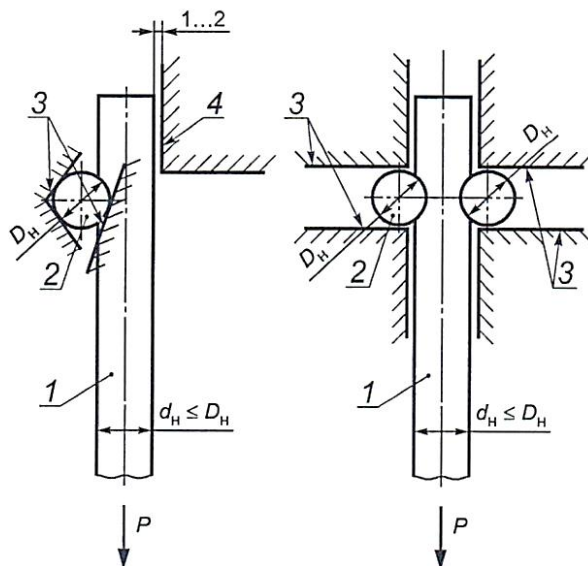


Рис. 2.7. Схемы испытаний крестообразных соединений на срез:
а – одноосное соединение; б – двухсрезное соединение;
1, 2 – стержни арматуры; 3 – зажимы;
4 – упор, препятствующий отгибу конца стержня 1

Одним из наиболее удачных приспособлений для проведения подобных испытаний, удовлетворяющих всем требованиям п. 7.14 ГОСТ 10922–2012, является разработка компании Zwick/Roell, представленная на рисунке 2.8.

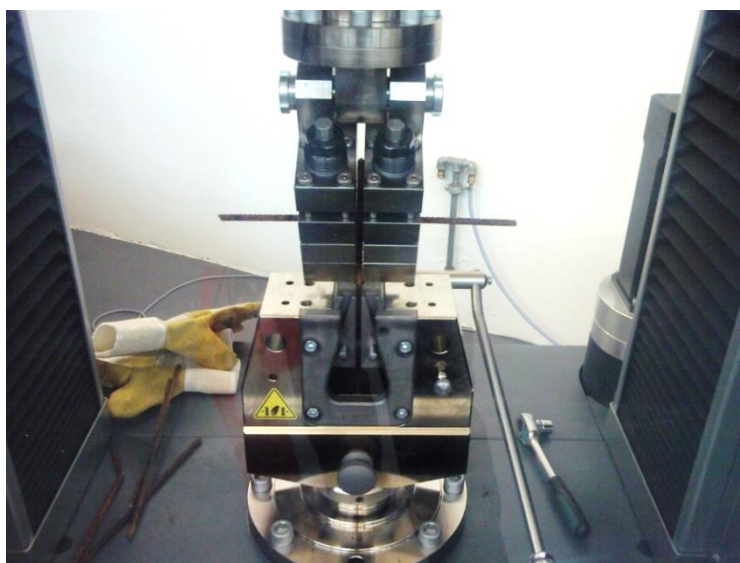


Рис. 2.8. Приспособление для испытаний на срез одноосных крестообразных соединений (производитель – компания Zwick/Roell)

Образцы сварных тавровых соединений арматурных стержней с плоскими элементами закладных деталей испытываются на отрыв от плоского элемента. При этом используется приспособление, аналогичное приведенному в ГОСТ 10922 (рис. 2.9). Радиус вкладыша должен быть 150–200 мм, а радиус отверстия во вкладыше – не более диаметра стержня.

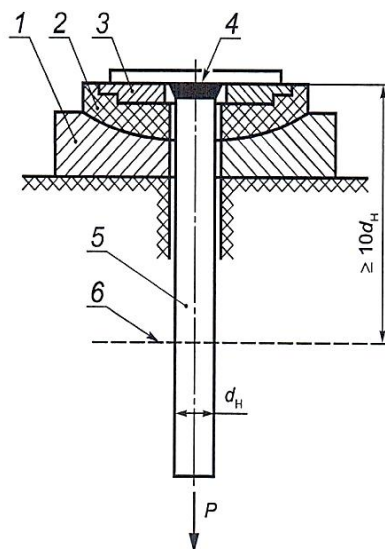


Рис. 2.9. Схема испытания тавровых соединений анкерных стержней закладных изделий на отрыв: d_n – номинальный диаметр анкерного стержня; P – испытательная нагрузка; 1 – сферическая опора; 2 – сферический вкладыш; 3 – сменное опорное кольцо; 4 – плоский элемент закладного изделия; 5 – анкерный стержень; 6 – граница закрепления в захвате разрывной машины

На рисунке 2.10 показаны форма и размеры образцов крестообразных соединений для проверки разупрочнения основного металла **рабочей арматуры** сваркой.

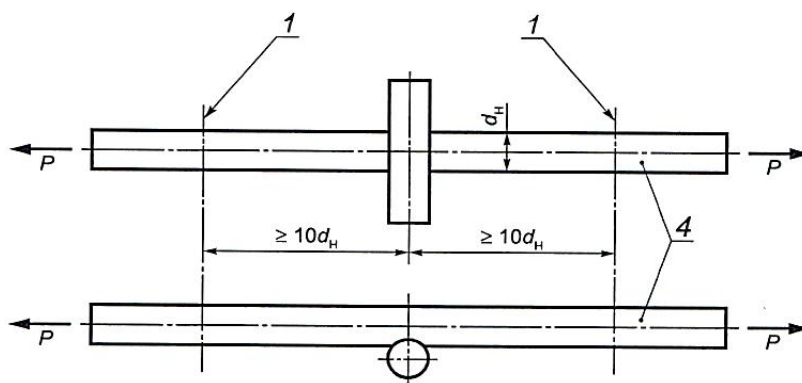


Рис. 2.10. Схема испытания тавровых соединений анкерных стержней закладных изделий на отрыв: d_n – номинальный диаметр рабочей арматуры; P – испытательная нагрузка; 1 – граница закрепления в захватах разрывной машины; 2 – стержень рабочей арматуры

Рекомендуемые формы протоколов механических испытаний сварных соединений приведены в приложениях Б–Г ГОСТ 10922.

3 МЕХАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ АРМАТУРЫ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В практике строительства взамен сварных стыковых соединений применяются механические соединения арматуры без сварки: с помощью опрессованных (обжимных) муфт (рис. 3.1, *а*), резьбовых муфт (рис. 3.1, *б*), нахлесточных соединений (рис. 3.1, *в*). Данная замена допускается ГОСТ 10922–2012 «Арматурные и закладные изделия, их сварные, вязанные и механические соединения для железобетонных конструкций. Общие технические условия».

а)



б)



в)



Рис. 3.1. Механические соединения арматуры, выполненные с помощью:
а – обжимных муфт (до и после испытаний); б – резьбовых муфт (муфтовое
соединение и отдельно арматура с нарезанной конической резьбой);
в – нахлесточного соединения

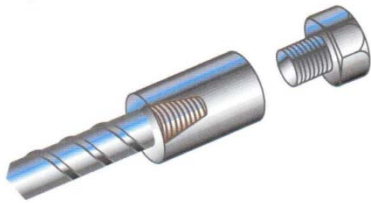
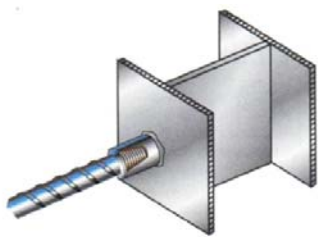
Требования к геометрическим параметрам механических соединений установлены в ГОСТ 10922–2012. В частности, рекомендуется применять механические соединения с помощью опрессованных муфт для стыковки арматурных стержней диаметром от 16 до 40 мм классов А400, А400С, А500С и А600С, а с экономической точки зрения наиболее целесообразно применение таких соединений для стержней диаметром от 25 до 40 мм (п. 5.24 ГОСТ 10922–2012). Резьбовые механические соединения с помощью муфт целесообразно применять для стыковых соединений арматурных стержней диаметром от 12 до 40 мм классов А400, А400С, А500С и А600С (п. 5.30).

Примером механических соединений арматурных стержней с помощью резьбовых муфт являются соединения LENTON производства фирмы ERICO [5]. Так, группа компаний «Промстройконтракт» представляет широкий диапазон муфт "LENTON" для соединений с конической резьбой различных элементов. Типы резьбовых муфт приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

**Варианты резьбовых муфт для механических соединений LENTON,
выпускаемых компаниями ERICO**
(продукция представлена группой компаний «Промстройконтракт»)

Тип муфты и вид соединения	Назначение
1	2
Стандартные 	Для соединения стержней одинакового диаметра (диаметр стержней от 10 до 57 мм)
Переходные 	Для соединения стержней разного диаметра
Позиционные 	Для соединения двух криволинейных, изогнутых или прямых стержней

1	2
Болтовые 	Для соединения арматурного стержня и стандартного метрического болта
Сварные соединительные 	Для соединения арматурного стержня с прокатным профилем

Прочность, деформативность и пластичность механических соединений арматуры при испытанных на растяжение должны соответствовать нормам, указанным в таблице 3.2.

Таблица 3.2

**Механические свойства механических соединений арматуры
(ГОСТ 10922–2012)**

Разрывное усилие P_b , кН	Деформативность Δ при растяжении*, мм	Равномерное относительное удлинение арматуры δ_p после разрушения соединения, %
Не менее	Не более	Не менее
$\sigma_b \cdot F_s^{**}$	0,1	2

Примечания:

*За деформативность соединения принимается значение пластической деформации стыка при напряжении в арматуре, равном $0,6 \sigma_t$ ($0,6 \sigma_{0,2}$), где σ_t ($\sigma_{0,2}$) – браковочное значение физического или условного предела текучести арматуры по нормативным документам на ее производство.

** F_s – номинальная площадь поперечного сечения соединяемой арматуры по нормативным документам на ее производство; σ_b – браковочное значение временного сопротивления соединяемой арматуры по нормативным документам на ее производство.

При определении механических свойств механических стыковых соединений арматурных стержней для испытаний на растяжение используются контрольные образцы, размеры и количество которых должны соответствовать требованиям ГОСТ 10922–2012 или техническим условиям на данный вид соединения (например [5], [6]).

Испытания на растяжение проводятся по ГОСТ 12004–81 «Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение» с определением характеристик, указанных в таблице 3.2.

Одним из способов определения деформативности соединения является следующий [5]:

1) образец механического соединения нагружается до усилия P_{Δ} , при котором напряжение в арматуре достигнет $0,6\sigma_T$ ($0,6\sigma_{0,2}$), т. е. $P_{\Delta} = F_s \cdot 0,6\sigma_T$ (обозначения указаны в табл. 3.2);

2) производится разгрузка образца до нулевого значения усилия;

3) деформативность Δ определяется как остаточная деформация соединения на базе измерения.



Рис. 3.2. Определение деформативности механического соединения арматуры

При этом в соответствии с требованиями технических условий [5] база измерения деформации при испытаниях на растяжение равна длине соединительной муфты плюс расстояние, равное не менее одного диаметра и не более трех диаметров, отложенных с каждой стороны муфты. Для определения деформаций применяются экстензометры или другие приборы, позволяющие определить деформацию (например, индикаторы часового типа). На рисунке 3.2 приведена иллюстрация определения деформативности механического соединения арматурных стержней, выполненного при помощи резьбовых муфт на испытательной машине SATEC 1200KN-J3D производства компании Instron Corporation с применением двух индикаторов часового типа ИЧ-10.

Технические условия [5] устанавливают также требования к выносливости механических соединений арматуры типа LENTON, в соответствии с которыми испытанные образцы должны выдерживать без разрушения: два образца – не менее 2 млн циклов, один – не менее 1 млн циклов. Цикл нагружения задается по силе, при этом максимальная сила $P_{\max}$ устанавливается из расчета, что максимальные напряжения $\sigma_{\max}$ при испытаниях на выносливость оказываются равными $0,6\sigma_T$ ($0,6\sigma_{0,2}$), а размах изменения напряжений $\Delta\sigma = 100 \text{ Н/мм}^2$ для соединенных стержней диаметром до 25 мм и $\Delta\sigma = 80 \text{ Н/мм}^2$ – для стержней диаметром 25 мм и более. Частота нагружения при этом не нормируется. На рисунке 3.3 представлена фотография испытаний на выносливость муфтовых механических соединений арматуры, проводимых на пульсаторе Amsler HB 250 производства группы компаний Zwick/Roell.

Основной трудностью при проведении циклических испытаний при нагружении по силе является правильный подбор PID-параметров испытательной машины, которые зависят от параметров нагружения и жесткости нагружаемой системы и в каждом конкретном случае подбираются «опытным» путем. Правильно подобранные PID-параметры испытательной машины позволят не только правильно провести испытания, но и выйти на максимальные значения частоты нагружения и тем самым сократить время проведения испытаний. На рисунке 3.4 показан вид экрана монитора испытательной машины Amsler HB 250 с параметрами нагружения.



Рис. 3.3. Проведение испытаний на выносливость муфтовых механических соединений арматурных стержней

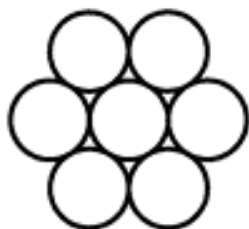


Рис. 3.4. Экран монитора управляющей системы пульсатора Amsler HB 250 при испытаниях механических соединений арматуры на выносливость с заданием цикла по силе со следующими параметрами: максимальная нагрузка 94,186 кН; минимальная нагрузка 75,414 кН, частота 10 Гц

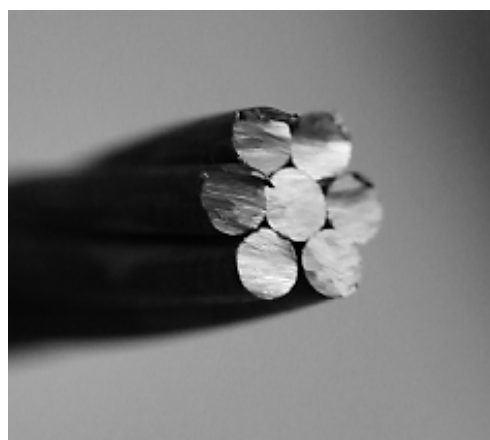
4 СТАЛЬНЫЕ АРМАТУРНЫЕ СЕМИПРОВОЛОЧНЫЕ КАНАТЫ

Арматурные канаты из углеродистой холодноотянутой проволоки диаметром 3–8 мм являются самым прочным видом напрягаемой арматуры [4]. В соответствии с ГОСТ Р 53772–2010 «Канаты стальные арматурные семипроволочные стабилизированные. Технические условия» канат представляет собой семипроволочную прядь (стренд), состоящую из центральной проволоки и шести проволок наружного слоя, свитых по спирали (рис. 4.1).

а)



б)



в)



Рис. 4.1. Конструкция каната 1 х 7 (а) и его внешний вид (б, в)

Преимущества высокопрочной проволоки и арматурных канатов [4]:
– высокая прочность достигается при использовании углеродистой стали главным образом за счет многоступенчатого механотермического упрочнения [7];

- возможность поставки любой требуемой длины;
- создание напрягаемых арматурных элементов любого очертания и с широким диапазоном значений разрывного усилия.

Недостатками высокопрочной проволоки и арматурных канатов являются [4]:

- себестоимость значительно выше стержневой;
- разупрочнение при натяжении электротермическим способом;
- необходимость использования бетона высокой прочности ($R_b \geq 30 \text{ Н/мм}^2$).

Канаты изготавливают:

- из круглой проволоки (тип К7);
- проволоки периодического профиля (тип К7Т);
- круглой гладкой проволоки, пластически обжатые (тип К7О).

В таблице 4.1 приведены некоторые геометрические параметры канатов по ГОСТ Р 53772–2010.

Таблица 4.1

Некоторые геометрические параметры семипроволочных канатов

Номинальный диаметр каната d , мм	Предельное отклонение от номинального диаметра каната, % (справочное)	Номинальная площадь поперечного сечения каната F_n , мм ²
Канаты из круглой проволоки и проволоки периодического профиля – типы К7 и К7Т		
6,9	+ 0,3 – 0,15	29,0
9,0		50,0
9,3		52,0
9,6		55,0
11,0		71,8
12,5	+ 0,4 – 0,2	93,0
12,7		98,7
12,9		100,0
15,2		139,0
15,7		150,0
18,0		200,0
Канаты из круглой проволоки, пластически обжатые (тип К7О)		
12,7	+ 0,4	112,0
15,2	– 0,2	165,0

Классом прочности каната является его временное сопротивление в ньютонах на миллиметры квадратные (Н/мм²).

Согласно ГОСТ Р 53772–2010, условные обозначения канатов, например каната арматурного, семипроволочного, номинальным диаметром 15,2 мм, из круглой гладкой проволоки, с временным сопротивлением (классом прочности) 1860 Н/мм²:

К7-15,2-1860 ГОСТ Р 53772–2010.

То же из проволоки периодического профиля:

К7Т-15,2-1860 ГОСТ Р 53772–2010.

То же из круглой гладкой проволоки, пластически обжатый:

К7О–15,2–1860 ГОСТ Р 53772–2010.

Механические свойства канатов диаметром 9,6; 15,2 и 15,7 мм из круглой гладкой проволоки и проволоки периодического профиля (типов К7 и К7Т) приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

**Механические свойства канатов типов К7 и К7Т по ГОСТ Р 53772
(диаметры 9,6; 15,2 и 15,7 мм)**

Номиналь- ный диа- метр каната <i>d</i> , мм	Времен- ное со- против- ление, Н/мм ² , не менее	Разрыв- ное уси- лие, кН, не менее	Макси- мально до- пустимое разрывное усилие, кН	Нагруз- ка при услов- ном пределе текуче- сти $\sigma_{0,1}$, кН, не менее	Услов- ный предел текуче- сти $\sigma_{0,1}$, МПа, не менее	Полное относитель- ное удлине- ние при мак- симальной нагрузке $\delta_{\max}$, %, не менее
9,6	1770	97,4	115,0	85,7	1550	3,5
	1860	102,0	120,0	89,8	1650	
15,2	1670	232,0	274,0	204,0	1450	
	1770	246,0	290,0	216,0	1550	
	1860	259,0	306,0	228,0	1650	
15,7	1770	266,0	314,0	234,0	1550	
	1860	279,0	329,0	246,0	1650	

Примечание. Значение модуля упругости (195 ± 10) кН/мм².

Согласно ГОСТ Р 53772–2010, к семипроволочным канатам применяются следующие методы контроля.

1. Для проверки механических свойств, прямолинейности, нераскручиваемости, релаксационной стойкости, усталостной прочности, коррозионного растрескивания и испытания на растяжение с изгибом каната от каждого отобранного мотка отрезают по одному образцу.

2. Качество поверхности проволок каната проверяют визуально, без применения увеличительных приборов.

3. Диаметр каната проверяют штангенциркулем по ГОСТ 166 с ценой деления 0,1 мм или микрометром по ГОСТ 6507 с ценой деления 0,01 мм.

4. Фактическое значение массы погонного метра определяют как частное от деления массы образца каната длиной более 500 мм, взвешенного с точностью до 1 г, на его длину, измеренную с точностью до 1 мм.

5. Шаг свивки каната определяют линейкой по ГОСТ 427 с ценой деления 1 мм на расстоянии не менее 5 м от конца каната.

6. Определение механических свойств проводят по ГОСТ 12004. Значения временного сопротивления и предела текучести определяют как частное от деления соответствующего разрывающего усилия на номинальную площадь поперечного сечения каната.

На рисунке 4.2 показаны испытания стального арматурного семипровлочного каната диаметром 15,2 мм на машине SATC 1200KN-J3D производства компании Instron Corporation с применением навесного экстензометра Epsilon с базой 600 мм для определения модуля упругости.

а)



б)

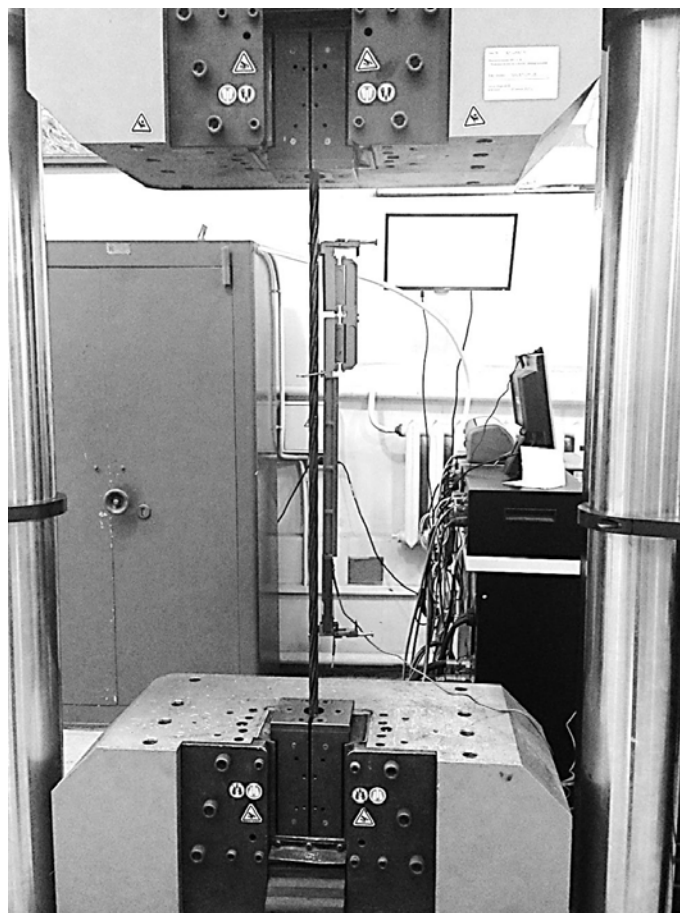


Рис. 4.2. Испытание арматурного семипровлочного каната на машине SATC 1200KN-J3D: а – установка экстензометра; б – общий вид установки

Основной трудностью при испытаниях арматурных семипровлочных канатов является недопущение их разрыва в местах закрепления при значениях разрывного усилия ниже нормативных. Такое явление часто наблюдается при использовании обычных захватов. Одним из способов решения данной проблемы является применение специальных удлиненных захватов с вкладышами, изготовленными под каждый диаметр каната

(рис. 4.3). Для обеспечения дополнительного трения концы каната, зажимаемые в захватах испытательной машины, предварительно обрабатываются жидкостью WD-40 и посыпаются абразивным порошком, например искусственным корундом (рис. 4.4).

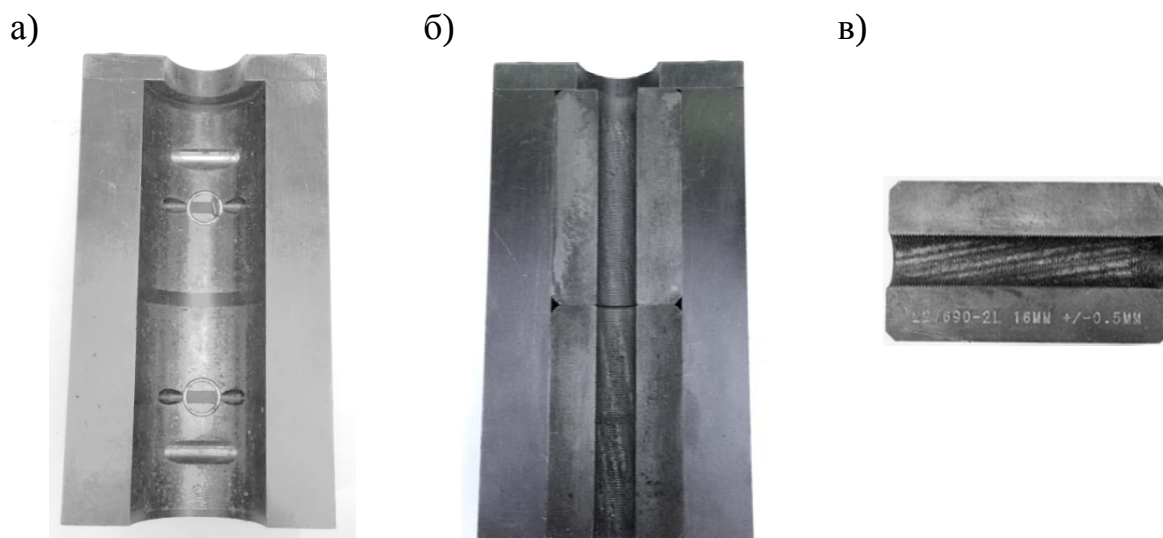


Рис. 4.3. Специальные удлиненные захваты с вкладышами для испытаний арматурных семипроволочных канатов: а – удлиненный захват; б – то же с установленными двумя вкладышами; в – вкладыш с указанием диаметра 16 мм



Рис. 4.4. Обеспечение дополнительного трения на концах образца

С этой же целью можно использовать стандартные цанговые захваты, которые применяются при производстве железобетонных изделий в процессе натяжения канатов (рис. 4.5), или дополнительные втулки из мягких металлов, например меди, в которые запрессовываются концы каната.

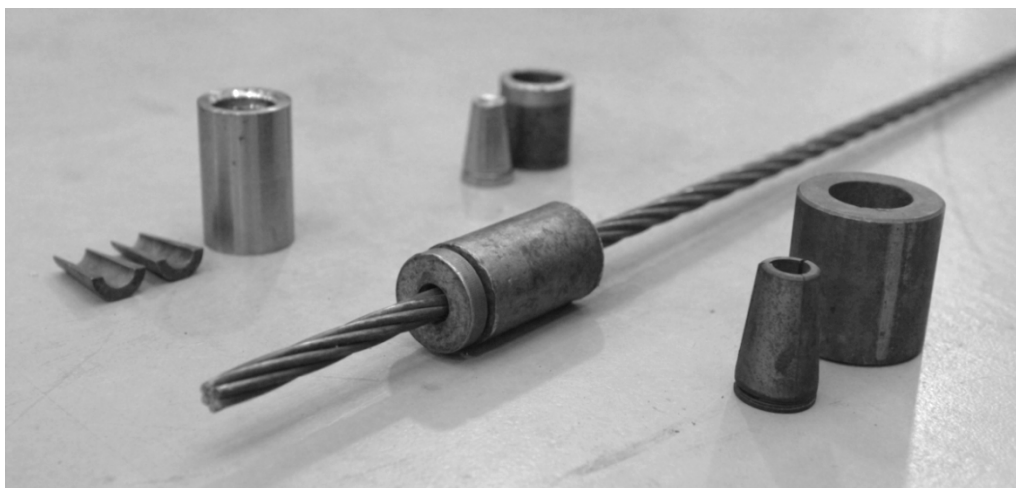


Рис. 4.5. Цанговые захваты для семипроволочных арматурных канатов

Эти мероприятия позволят избежать разрыва каната в местах его закрепления в машине и обеспечат разрыв в рабочей части образца (рис. 4.6). Отметим, что ГОСТ Р 53772–2010 допускает считать испытание действительным при разрыве образца в месте закрепления при соответствии усилия разрыва нормативным требованиям.

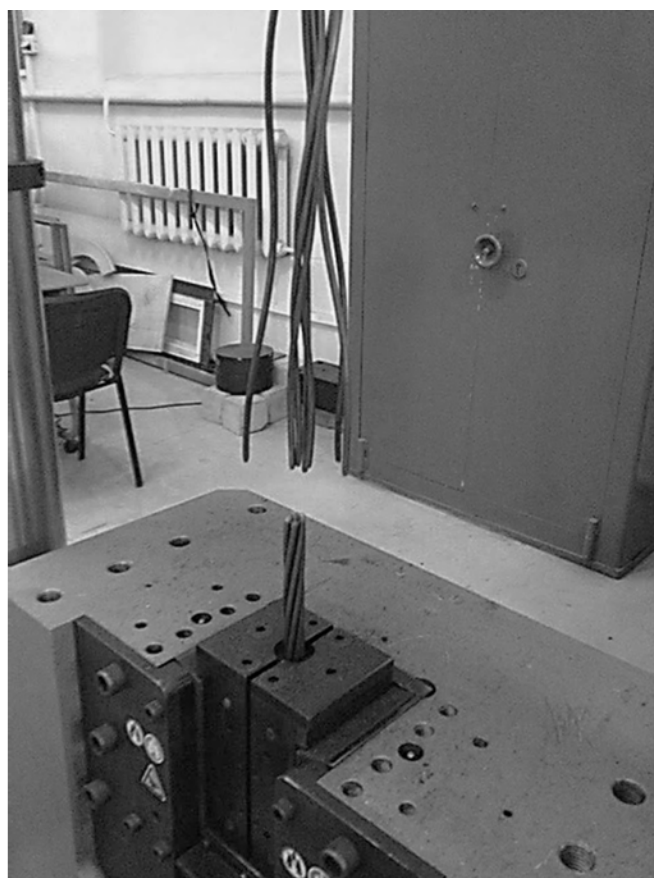


Рис. 4.6. Разрыв арматурного каната в рабочей части

5 ПРОКАТ СОРТОВОЙ И ФАСОННЫЙ ИЗ СТАЛИ УГЛЕРОДИСТОЙ ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА

Нормативные требования к прокату установлены в ГОСТ 535–2005 «Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия», в соответствии с которым прокат разделяют на сортовой и фасонный.

К сортовому относят прокат, у которого касательная к любой точке контура поперечного сечения данное сечение не пересекает (прокат круглый, квадратный, шестигранный, полосовой).

К фасонному прокату относят прокат, у которого касательная хотя бы в одной точке контура поперечного сечения данное сечение пересекает (двутавр, швеллер, уголок и профили специального назначения).

По форме, размерам и предельным отклонениям прокат должен соответствовать требованиям, установленным в следующих стандартах:

ГОСТ 103–2006 «Прокат сортовой стальной горячекатаный полосовой. Сортамент»;

ГОСТ 2590–2006 «Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент»;

ГОСТ 2591–2006 «Прокат стальной горячекатаный квадратный. Сортамент»;

ГОСТ 2879–2006 «Прокат сортовой стальной горячекатаный шестигранный. Сортамент»;

ГОСТ 4781–85 «Профили стальные горячекатаные для шпунтовых свай. Технические условия»;

ГОСТ 8239–89 «Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент»;

ГОСТ 8240–97 «Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент»;

ГОСТ 8509–93 «Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент»;

ГОСТ 8510–86 «Уголки стальные горячекатаные неравнополочные. Сортамент»;

ГОСТ 17152–89 «Профили стальные горячекатаные для ножей землеройных машин. Общие технические условия»;

ГОСТ 18662–83* «Профили горячекатаные СВП для крепи горных выработок. Сортамент»;

ГОСТ 19240–73 «Рельсы для наземных и подвесных путей. Сортамент»;

ГОСТ 19425–74* «Балки двутавровые и швеллеры стальные специальные. Сортамент»;

ГОСТ 21026–75* «Швеллеры стальные горячекатаные с отогнутой полкой для вагонеток. Сортамент»

ГОСТ 26020–83 «Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Сортамент» и другие.

5.1 Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки

Прокат изготавливают из стали марок: Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гпс, Ст6пс, Ст6сп. Данные марки стали определены в ГОСТ 380–2005 «Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки». Буквы «Ст» обозначают «Сталь», цифры – условный номер марки в зависимости от химического состава, буква «Г» означает, что в состав стали входит марганец при его массовой доле 0,80% и более, буквы «кп», «пс», «сп» – степень раскисления стали: «кп» – кипящая, «пс» – полуспокойная, «сп» – спокойная. В ГОСТ 380 приведен химический состав стали всех марок, а также допуски и предельные отклонения по химическому составу.

В приложении А ГОСТ 380 приведено сопоставление приведенных выше марок стали с марками, указанными в международных стандартах ИСО 630 и ИСО 1052.

При определении химического состава стали углеродный эквивалент $C_{\text{экв}}$, %, вычисляют по формуле:

$$C_{\text{экв}} = C + \frac{Mn}{6},$$

где C , Mn – массовая доля углерода и марганца по плавочному анализу, %.

5.2 Общие технические требования к механическим свойствам

В таблице 5.1 приведены требования к механическим свойствам проката при растяжении, а также условий испытаний на изгиб в холодном состоянии по ГОСТ 535.

К указанным в таблице 5.1 механическим свойствам ГОСТ 535 допускает:

- снижение предела текучести на 10 Н/мм^2 для фасонного проката толщиной свыше 20 мм;
- снижение относительного удлинения на 1% (абс.) для фасонного проката всех толщин;
- превышение верхнего предела временного сопротивления на $49,0 \text{ Н/мм}^2$, а по согласованию с потребителем – без ограничения верхнего предела временного сопротивления при условии выполнения требований к остальным параметрам.

ГОСТ 535 устанавливает также нормы для ударной вязкости проката, приведенные в таблице 5.2.

Таблица 5.1

**Требования к механическим свойствам стали различных марок
по ГОСТ 535**

Мар- ка стали	Временное сопротивле- ние σ_B , Н/мм ² , для проката толщины, мм		Предел текучести σ_T , Н/мм ² , для проката толщины, мм					Относитель- ное удлине- ние δ_5 , %, для проката толщины, мм			Изгиб до па- раллельности сторон (a – толщина образца, d – диаметр оправки) для проката толщины, мм	
			до 10 включ.	св. 10 до 20 включ.	св. 20 до 40 включ.	св. 40 до 100 включ.	св. 100	до 20 вкл юч.	св. 20 до 40 вкл юч.	св. 40		
	до 10 включ.	св. 10	Не менее								до 20 включ.	св. 20
Ст0	Не менее 300		–	–	–	–	–	18	18	15	–	–
Ст1кп	305–390		195	195	185	175	165	35	34	32	$d = a$	$d = 2a$
Ст1пс	315–410		205	205	195	185	175	34	33	31	$d = a$	$d = 2a$
Ст1сп												
Ст2кп	325–410		215	215	205	195	185	33	32	30	$d = a$	$d = 2a$
Ст2пс	335–430		225	225	215	205	195	32	31	29	$d = a$	$d = 2a$
Ст2сп												
Ст3кп	360–460		235	235	225	215	195	27	26	24	$d = a$	$d = 2a$
Ст3пс	370–480		245	245	235	225	205	26	25	23	$d = a$	$d = 2a$
Ст3сп	380–490	370–480	255	245	235	225	205	26	25	23	$d = a$	$d = 2a$
Ст3Гпс	370–490		–	245	235	225	205	26	25	23	$d = a$	$d = 2a$
Ст3Гсп	390–570		–	–	245	–	–	–	24	–	–	$d = 2a$
Ст4кп	400–510		255	255	245	235	225	25	24	22	$d = 2a$	$d = 3a$
Ст4пс	410–530		265	265	255	245	235	24	23	21	$d = 2a$	$d = 3a$
Ст4сп												
Ст5пс	490–630		285	285	275	265	255	20	19	17	$d = 3a$	$d = 4a$
Ст5сп	490–630		295	285	275	265	255	20	19	17	$d = 3a$	$d = 4a$
Ст5Гпс	450–590		–	285	275	265	255	20	19	17	$d = 3a$	$d = 4a$
Ст6пс	Не менее 590		315	315	305	295	295	15	14	12	–	–

Таблица 5.2

Требования к ударной вязкости проката

Марка стали	Толщина проката, мм	Ударная вязкость, Дж/см ² , не менее						
		KCU				KCV		
		Тип образца по ГОСТ 9454	При температуре, °С		После механического старения	Тип образца по ГОСТ 9454	При температуре, °С	
			+20	–20			+20	–20
СтЗпс	От 3,0 до 5,0 включ.	–	–	49	49	–	–	9,8
СтЗсп	Св. 5,0 до 10,0 включ.	2, 3	108	49	49	12, 13	34	–
СтЗГпс	Св. 10,0 до 26,0 включ.	1	98	29	29	11	34	–
СтЗГсп	Св. 26,0 до 40,0 включ.	1	88	–	–	–	–	–
Ст4пс Ст4сп	От 3,0 до 5,0 включ.	–	–	–	–	–	–	–
	Св. 5,0 до 10,0 включ.	3	98	–	–	13	–	–
	Св. 10,0 до 26,0 включ.	1	88	–	–	11	–	–
	Св. 26,0 до 40,0 включ.	1	69	–	–	–	–	–

Примечания:

1. Знак "–" означает, что показатель не нормируется.
2. Определение ударной вязкости проката круглого сечения проводят начиная с диаметра 12 мм, квадратного – начиная со стороны квадрата 11 мм.
3. Допускается снижение величины ударной вязкости на одном образце на 30 %, при этом среднее значение должно быть не ниже норм, указанных в настоящей таблице.
4. Ударную вязкость KCV определяют при толщине проката до 20 мм включительно.

5.3 Отбор проб и образцов для механических испытаний

Правила отбора проб и образцов для испытаний приведены в ГОСТ 7564–97 «Прокат. Общие правила отбора проб, заготовок и образцов для механических и технологических испытаний».

При отборе и подготовке образцов для испытаний необходимо руководствоваться следующими требованиями ГОСТ 7564:

- вырезка образцов должна выполняться холодным способом с принятием мер для предотвращения поверхностного упрочнения и перегрева проката, которые могут изменить его механические свойства;
- следы, оставленные инструментом после механической обработки, которые могут повлиять на результаты испытания, должны быть устранены.

ны шлифовкой (при обильной подаче охлаждающей жидкости) или полировкой (с соблюдением допусков, указанных в соответствующих стандартах, на размеры и форму образцов).

Форма, размеры и допускаемые отклонения по размерам образцов должны соответствовать следующим стандартам:

ГОСТ 1497–84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение»;

ГОСТ 9454 ГОСТ 9454–78* «Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах»;

ГОСТ 7268–82 «Сталь. Метод определения склонности к механическому старению по испытанию на ударный изгиб»;

ГОСТ 9651 ГОСТ 9651–84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение при повышенных температурах»;

ГОСТ 11701–84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение тонких листов и лент».

Образцы для испытаний на растяжение по своей форме могут быть цилиндрическими (рис. 5.1, а) или плоскими (рис. 5.1, б).

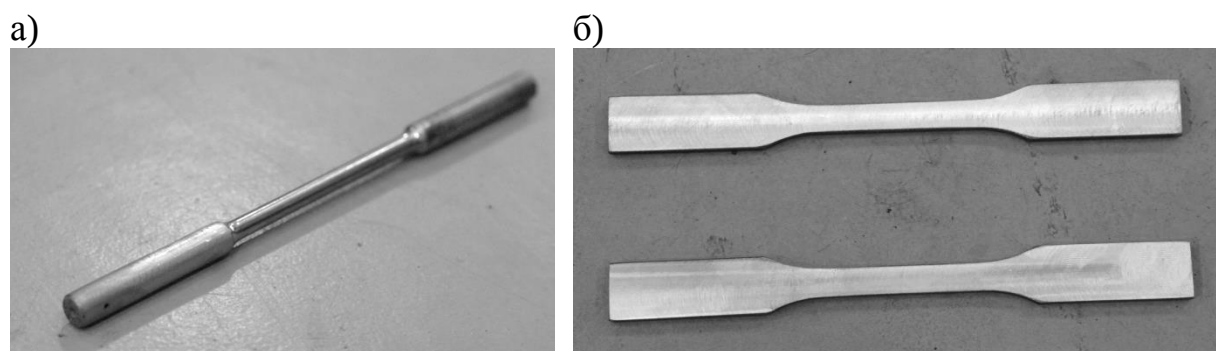


Рис. 5.1. Типы образцов на растяжение: а – цилиндрический; б – плоские

Типы образцов для испытаний на растяжение согласно ГОСТ 7564 приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3

Выбор типа образца в зависимости от вида проката

Вид проката	Толщина проката	Типы образцов
1	2	3
Сортовой круглый, квадратный, шестигранный	–	Цилиндрические
Сортовой полосовой и листовой	До 25 мм включ.	Плоские
	Свыше 25	Цилиндрические
	От 7 до 25 мм	Допускаются плоские или цилиндрические

1	2	3
Фасонный	До 25 мм включ.	Плоские с сохранением поверхностных слоев проката (при непараллельных сторонах – с сохранением поверхностных слоев проката на одной стороне)
	Свыше 25	Плоские с обработкой до толщины в 25 мм сохранением поверхностных слоев проката на одной стороне или цилиндрические
	От 7 до 25 мм	Допускаются плоские или цилиндрические

Для испытаний на ударный изгиб проката диаметром до 16 мм включительно, квадратного со стороны квадрата до 10 мм включительно и полосового и листового проката толщиной до 10 мм включительно применяют образцы размером 5 × 10 × 55 мм, для проката диаметром более 16 мм и толщиной более мм – образцы размером 10 × 10 × 55 мм. Общий вид одного из типов образцов для испытаний на ударный изгиб приведен на рисунке 5.2.

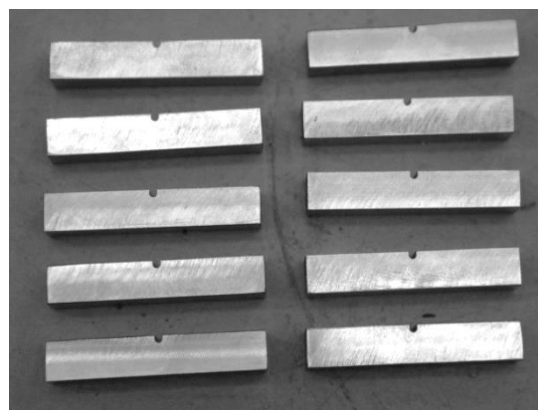


Рис. 5.2. Образцы для испытаний на ударный изгиб

При отборе проб для механических испытаний из эксплуатируемых металлических конструкций составляется акт отбора образцов с указанием даты отбора, места расположения объекта, типа конструкции, конкретного места отбора образцов и их ориентации, фамилии лиц, осуществлявших отбор, другая дополнительная информация.

5.4 Испытания на растяжение

Методы статических испытаний на растяжение образцов из металлов (черных или цветных) номинальным диаметром (или наименьшим размером в поперечном сечении) 3,0 мм и более при температуре (20^{+15}_{-10}) °С представлены в ГОСТ 1497–84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение». ГОСТ 1497 устанавливает методы испытаний для определения следующих механических характеристик:

- предела пропорциональности $\sigma_{\text{пц}}$, Н/мм²;

- модуля упругости E , Н/мм²;
- предела текучести физического σ_T , Н/мм²;
- предела текучести условного $\sigma_{0,2}$, Н/мм²;
- временного сопротивления σ_B , Н/мм²;
- относительного равномерного удлинения δ_r , %;
- относительного удлинения после разрыва δ , %;
- относительного сужения поперечного сечения после разрыва ψ , %.

5.4.1. Типы и размеры образцов

Для испытаний на растяжение применяют пропорциональные цилиндрические или плоские образцы диаметром или толщиной рабочей части 3,0 мм и более с начальной расчетной длиной $l_0 = 5,65\sqrt{F_0}$ или $l_0 = 11,3\sqrt{F_0}$. **Применение коротких образцов предпочтительнее.** Под начальной расчетной длиной образца l_0 понимают участок рабочей длины образца l между нанесенными метками до испытания, на котором определяется удлинение. Рабочая длина образца l – это часть образца с постоянной площадью поперечного сечения между его головками или участками для захвата. Возможно применение и других типов образцов, в том числе непропорциональных, если это указано в нормативно-технической документации на металлопродукцию.

Историческая справка. Пропорциональные цилиндрические образцы часто называют *гагаринскими*, в честь князя Андрея Григорьевича Гагарина (22 декабря 1855 (3 января 1856) – 22 декабря 1920) – первого директора Петербургского политехнического института (ныне Санкт-Петербургский государственный политехнический университет). А. Г. Гагарин занимался работами по испытанию материалов и, будучи талантливым инженером, изобрел и модернизировал ряд испытательных машин, одна из которых – крешерный пресс – впоследствии получила название "пресс Гагарина". В настоящее время механическая лаборатория СПбПУ, в которой сохранился, поддерживается в рабочем состоянии и используется в учебном процессе пресс Гагарина, носит его имя.

ГОСТ 1497 рекомендует 7 типов цилиндрических и 2 типа плоских образцов. Форма и размеры некоторых из них приведены на рисунке 5.3 и в таблице 5.4 (тип III пропорциональных образцов), на рисунке 5.4 и в таблице 5.5 (тип VII пропорциональных образцов), на рисунке 5.5 и в таблице 5.7 (тип II плоских образцов). Также в таблицах 5.6 и 5.8 приведены допускаемые предельные отклонения для данных типов образцов. Остальные типы образцов см. в приложении 2 ГОСТ 1497.

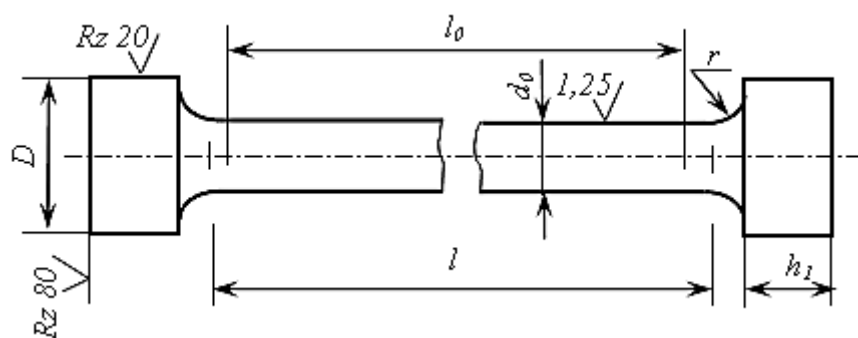


Рис. 5.3. Цилиндрический пропорциональный образец (тип VII)

Таблица 5.4

Размеры пропорциональных цилиндрических образцов (тип III), мм

Номер образца	d_0	Начальная расчетная длина		Рабочая длина l	D	h_1	r
		$l_0 = 5d_0$	$l_0 = 10d_0$				
1	25	125	250	$l_0 + (0,5 \dots 2)d_0$ (при разногласиях в оценке качества металла $l = l_0 + 2d_0$)	45	30	5
2	20	100	200		34	25	5
3	15	75	150		28	20	3
4	10	50	100		16	10	3
5	8	40	80		13	10	2
6	6	30	60		12	10	1,5
7	5	25	50		11	10	1,5
8	4	20	40		9	8	1,5
9	3	15	30		7	7	1,5

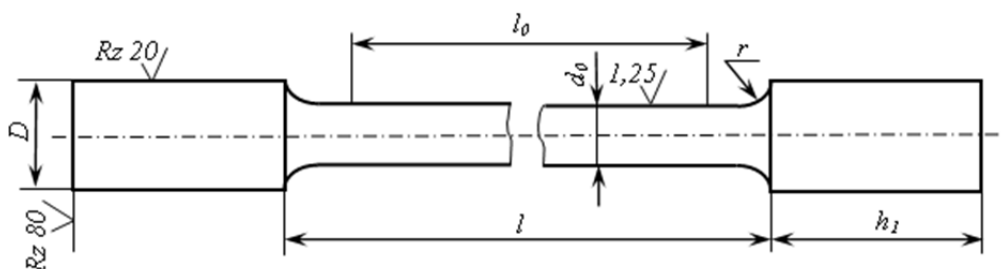


Рис. 5.4. Цилиндрический пропорциональный образец (тип VII)

Таблица 5.5

Размеры пропорциональных цилиндрических образцов (тип VII), мм

Номер образца	d_0	Начальная расчетная длина		Рабочая длина l	D	h_1	r
		$l_0 = 5d_0$	$l_0 = 10d_0$				
1	15	75	150	$l_0 + (0,5 \dots 2)d_0$ (при разногласиях в оценке качества металла $l = l_0 + 2d_0$)	20	50	25
2	10	50	100		15	40	25
3	8	40	80		12	30	25
4	6	30	60		10	25	25

Таблица 5.6

Предельные отклонения по размерам цилиндрических образцов, мм

Диаметр рабочей части образца	Предельные отклонения	Допускаемая разность наибольшего и наименьшего диаметров по длине рабочей части образца
До 10,00 включ.	$\pm 0,10$	0,03
Св. 10,00 до 20,00 включ.	$\pm 0,20$	0,04
Св. 20,00	$\pm 0,25$	0,05

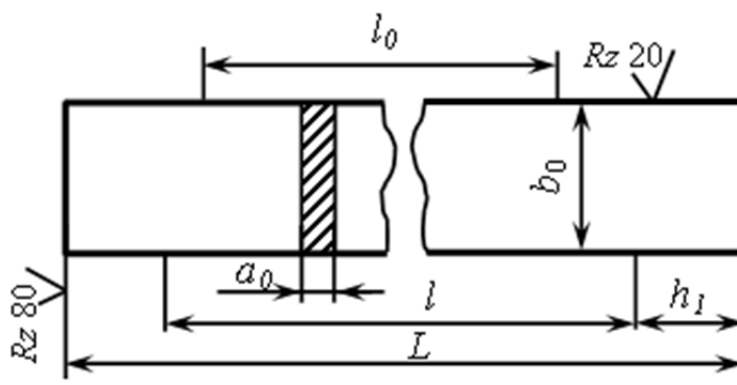


Рис. 5.5. Плоский образец без головок (тип II)

Необходимо отметить: для всех типов образцов (цилиндрических и плоских) форма и размеры головок и переходных частей являются рекомендуемыми, так как зависят от способов крепления и конструкции захватов испытательных машин.

Таблица 5.7

**Размеры пропорциональных плоских образцов
(тип II – плоские образцы без головок), мм**

Номер образца	a_0	b_0	Начальная расчетная длина		Рабочая длина l	h_1	L
			$l_0 = 5,65\sqrt{F_0}$	$l_0 = 11,3\sqrt{F_0}$			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	25	30	155	155	$l_0 + (1,5 \dots 2,5) \sqrt{F_0}$ (при разногласиях в оценке качества металла $l = l_0 + 2\sqrt{F_0}$)	100	$l + 2h_1$
2	24	30	155	155		100	
3	23	30	150	150		90	
4	22	30	145	145		90	
5	21	30	140	140		80	
6	20	30	140	140		80	
7	19	30	135	135		80	
8	18	30	130	130		80	
9	17	30	125	125		80	
10	16	30	125	250		80	
11	15	30	120	240		70	
12	14	30	115	230		70	

Продолжение табл. 5.7

1	2	3	4	5	6	7	8
13	13	30	110	220	$l_0 + (1,5 \dots 2,5) \sqrt{F_0}$ (при разногласиях в оценке качества металла $l = l_0 + 2\sqrt{F_0}$)	70	$l + 2h_1$
14	12	30	105	210		60	
15	11	30	105	210		60	
16	10	30	100	200		60	
17	9	30	90	180		50	
18	8	30	85	170		50	
19	7	20	70	140		50	
20	6	20	65	130		50	
21	5	20	60	120		50	
22	4	20	50	100		50	
23	3	20	45	90		40	

Таблица 5.8

Предельные отклонения по размерам плоских образцов типа II, мм

Ширина рабочей части образца	Предельные отклонения	Допускаемая разность наибольшей и наименьшей ширины по длине рабочей части образца
20,00	$\pm 0,50$	0,15
30,00	$\pm 0,50$	0,20

5.4.2 Аппаратура

Требования к аппаратуре приведены в ГОСТ 1497. Для проведения испытаний используются разрывные или универсальные машины, которые должны соответствовать ГОСТ 28840–90 «Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования». Отметим, что для испытаний пропорциональных цилиндрических образцов (особенно коротких) необходимы специальные губки для захватов с набором вкладышей, соответствующих диаметру образца. Пример таких инвентарных губок для машины МИРИ-500К приведен на рисунке 5.6.



Рис. 5.6. Инвентарные губки с установленными вкладышами для машины МИРИ-500К для испытаний пропорциональных цилиндрических образцов

5.4.3 Подготовка к испытанию

Первоначально измеряют геометрические параметры образца: начальную площадь поперечного сечения и расчетную длину образца.

Для определения начальной площади поперечного сечения F_0 по требованиям ГОСТ 1497 производят измерения размеров образцов (**до испытания**) не менее чем в трех местах – в средней части и на границах рабочей длины l_0 , затем определяют площади поперечных сечений и за начальную площадь поперечного сечения F_0 принимают наименьшее из полученных значений. Измерения выполняются с погрешностью не более $\pm 0,5\%$. Значение F_0 округляют в соответствии с требованиями, приведенными в таблице 5.9.

В ГОСТ 1497 приведены также требования к точности изготовления самих образцов (табл. 5.10).

Таблица 5.9

Требования к округлению при определении начальной площади поперечного сечения образца

Площадь поперечного сечения образца F_0 , мм ²	Округление
До 10,00 включительно	До 0,01
Свыше 10,00 до 20,00 включительно	До 0,05
Свыше 20,0 до 100,0 включительно	До 0,1
Свыше 100,0 до 200,0 включительно	До 0,5
Свыше 200	До 1

Таблица 5.10

Требования ГОСТ 1497 к точности изготовления образцов

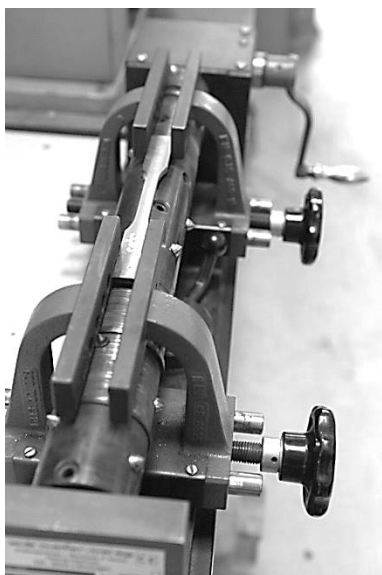
Тип образца	Размеры образца, мм (диаметр, толщина, ширина)	Предельные отклонения размера, мм	Предельная разность наибольшего и наименьшего диаметров, наибольшей и наименьшей ширины по рабочей части, мм
Цилиндрический обработанный	От 3 до 6	$\pm 0,06$	0,03
	Св. 6 до 10	$\pm 0,075$	0,03
	Св. 10 до 20	$\pm 0,09$	0,04
	Св. 20 до 30	$\pm 0,105$	0,05
Плоский, обработанный с четырех сторон	От 3 до 6	$\pm 0,06$	0,03
	Св. 6 до 10	$\pm 0,075$	0,03
	Св. 10 до 20	$\pm 0,09$	0,04
	Св. 20 до 30	$\pm 0,105$	0,05
Плоский, обработанный с двух боковых сторон	От 3 до 6	—	0,18
	Св. 6 до 10	—	0,22
	Св. 10 до 20	—	0,27
	Св. 20 до 30	—	0,33

Начальную расчетную длину l_0 наносят на образец (с погрешностью до 1 %) при помощи кернов, рисок или других меток и измеряют штангенциркулем с погрешностью измерения 0,1 мм.

Для определения относительного удлинения после разрыва δ и для определения относительного равномерного удлинения δ_p по всей рабочей длине образца наносятся метки через каждые 5 или 10 мм при помощи делительных машин или вручную с применением металлической линейки (рис. 5.7).

Если испытательная машина оснащена экстензометром, относительное удлинение после разрыва определяется автоматически и предварительная разметка образца не обязательна, при этом начальная расчетная длина (база измерения) экстензометра принимается равной начальной расчетной длине образца l_0 .

а)



б)



Рис. 5.7. Разметка плоских образцов:
а – делительная машинка; б – образцы
с нанесенными рисками

5.4.4 Проведение испытаний и обработка результатов

Правила определения предела пропорциональности $\sigma_{пл}$ и модуля упругости E расчетным (с помощью тензометра) и графическим способами подробно описаны в ГОСТ 1497. Современные машины, оснащенные съемными (навесными), несъемными или бесконтактными (лазерными, видео) экстензометрами, могут определить эти характеристики автоматически. На рисунке 5.8 показан съемный экстензометр производства компании MF, на рисунке 5.9 – процесс определения модуля упругости при помощи данного экстензометра, подключенного к испытательной машине AG-300kNX производства корпорации Shimadzu (Япония).

Остановимся более подробно на определении пределов текучести: физического σ_T , верхнего $\sigma_{ТВ}$ и нижнего $\sigma_{ТН}$. Примеры определения усилий, соответствующих этим пределам, приведены на рисунке 5.10 (по приложению Г ГОСТ 1497).

Для определения верхнего предела текучести $\sigma_{ТВ}$ ГОСТ 1497 устанавливает следующие требования (табл. 5.11) к скорости нагружения (если нет иных требований, установленных в НТД на металлопродукцию).

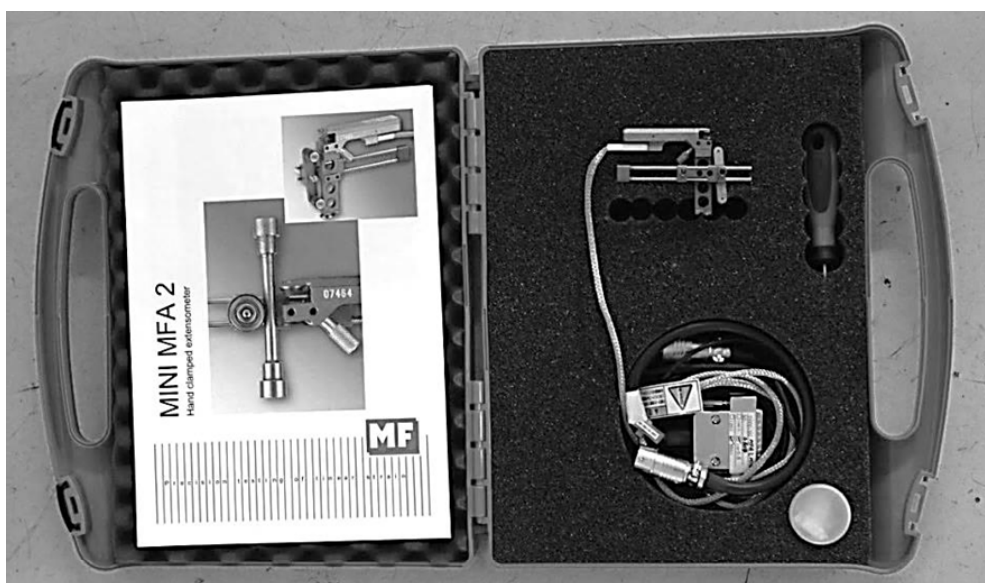


Рис. 5.8. Навесной экстензометр MiniMFA2

а)



б)



Рис. 5.9. Определение модуля упругости при помощи навесного экстензометра

MiniMFA2 на машине AG-300kNX

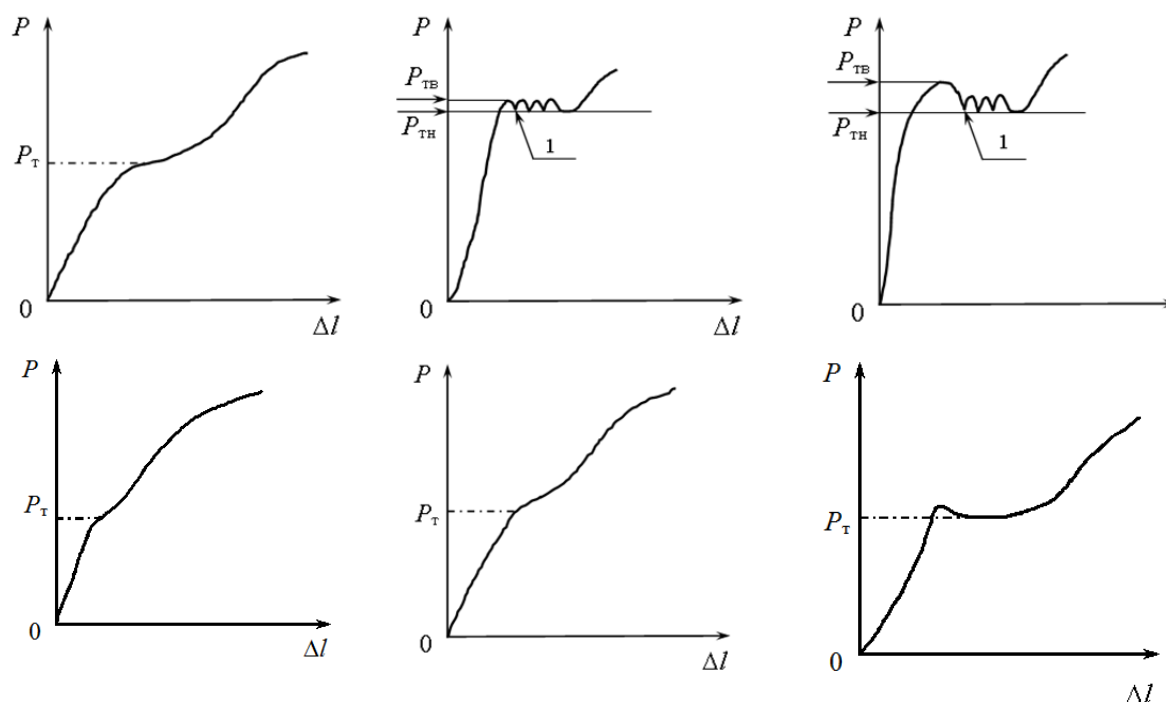


Рис. 5.10. Наиболее характерные виды диаграмм растяжения (приложение Г ГОСТ 1497): 1 – начальный переходный эффект

Таблица 5.11

Требования к скорости нагружения для определения $\sigma_{ТВ}$ (по ГОСТ 1497)

Модуль упругости E , Н/мм ²	Скорость нагружения, Н/(мм ² ·с)	
	минимальная	максимальная
$E \leq 1,5 \cdot 10^5$ (для цветных металлов)	1	10
$E > 1,5 \cdot 10^5$ (для цветных и черных металлов)	3	30

Скорость нагружения должна быть установлена в области упругости и поддерживаться по возможности постоянной, пока не будет достигнут верхний предел текучести $\sigma_{ТВ}$.

В соответствии с требованиями ГОСТ 1497 скорость относительной деформации рабочей части образца на стадии текучести при определении физического $\sigma_{Т}$ и нижнего $\sigma_{ТН}$ пределов текучести должна быть от 0,00025 до 0,0025 с⁻¹ (если в НТД на металлопродукцию не имеется других указаний). Скорость относительной деформации должна поддерживаться по возможности постоянной.

ГОСТ 1497 устанавливает аналогичные скорости нагружения (см. табл. 5.1) и при определении условного предела текучести $\sigma_{0,2}$.

Отметим, что указанный в ГОСТ 1497 диапазон скоростей нагружения от 3 до 30 Н/(мм²·с) очень широк, это может привести к изменению как вида диаграммы нагружения, так и к значительным погрешностям при определении условного предела текучести $\sigma_{0,2}$. На рисунке 5.11 в качестве иллюстрации приведен пример определения условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ при различных скоростях нагружения, изложенный доктором Шенутом (Dr. E. Schenuit) на семинаре компании Zwick/Roell в 2010 г. Видно, что различные уровни скорости нагружения приводят к различным значениям $\sigma_{0,2}$. В связи с этим новый европейский стандарт ISO 6892-1:2009 «Metallic materials. Tensile testing. Part 1. Method of test at room temperature» (ISO 6892-1:2009 «Материалы металлические. Испытания на растяжение. Часть 1. Метод испытания при комнатной температуре») предлагает проводить испытания по двум методам А и В, отличающимся способами контроля скорости нагружения. Метод А основан на управлении испытанием на основе расчета скорости деформации, метод В – на управлении по скорости изменения напряжений (аналог ГОСТ 1497).

При проведении испытаний по методу А учитывается фактическая скорость деформации образца, которая удерживается на разрешенном стандартом значении, таким образом колебания скоростей испытания сводятся к минимуму. Регулировка скорости деформаций в соответствии с требованиями метода А ISO 6892-1:2009 может производиться либо на основе сигналов датчика деформации – «closed loop» (адаптивное регулирование), либо путем предварительного расчета скорости перемещения траверсы машины (здесь необходимо определить жесткость системы и жесткость образца). Проведение испытаний по методу А требует наличия современных испытательных машин, экстензометров с высоким разрешением и соответствующего программного обеспечения. Отметим также, что данный стандарт уже принят в Республике Казахстан под индексом СТ РК ИСО 6892-1–2010 «Материалы металлические. Испытания на растяжение. Часть 1. Испытание при комнатной температуре».

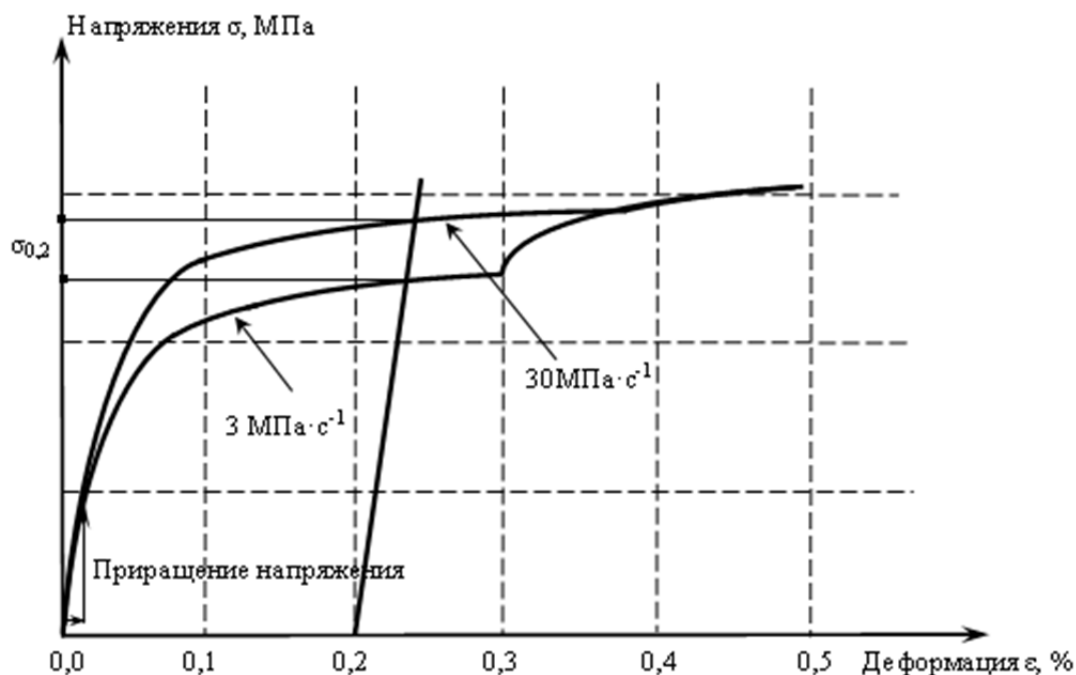


Рис. 5.11. Различия в диаграммах *напряжения – деформации* при различных скоростях нагружения (Dr. E. Schenuit, семинар Zwick/Roell, 2010 г.)

При отсутствии площадки текучести или по требованию НТД на продукцию определяется **предел текучести условный** с допуском на величину пластической деформации $\sigma_{0,2}$ – напряжение, при котором пластическая деформация образца достигает 0,2% от рабочей длины образца l или начальной расчетной длины по тензометру l_0 . Допуск на величину пластической деформации может быть и иным. Нагрузка, при которой пластическая деформация образца достигает 0,2%, обозначается $P_{0,2}$.

Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ (Н/мм²) вычисляют по формуле:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}.$$

Для определения временного сопротивления образец подвергают растяжению под действием плавно возрастающего усилия до разрушения. Наибольшее усилие, предшествующее разрушению образца, принимают за усилие $P_{\max}$, соответствующее временному сопротивлению.

Временное сопротивление σ_B , Н/мм², в соответствии с требованиями ГОСТ 1497 определяется по формуле:

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0}.$$

Определение относительного равномерного удлинения δ_r производят на образцах с начальной расчетной длиной l_0 не менее $l_0 = 11,3 \sqrt{F_0}$. Относительное равномерное удлинение δ_r определяют на большей части разрушенного образца на расчетном участке $A'B'$ (рис. 5.12), отстоящем на расстоянии не менее чем $2d_0$ или $2b_0$ от места разрыва. Конечная длина расчетного участка $l_{к.р}$ должна быть не менее $2d_0$ или $1,5b_0$. Начальная длина расчетного участка $l_{н.р}$ определяется по количеству меток на расчетном участке и начальному расстоянию между ними.

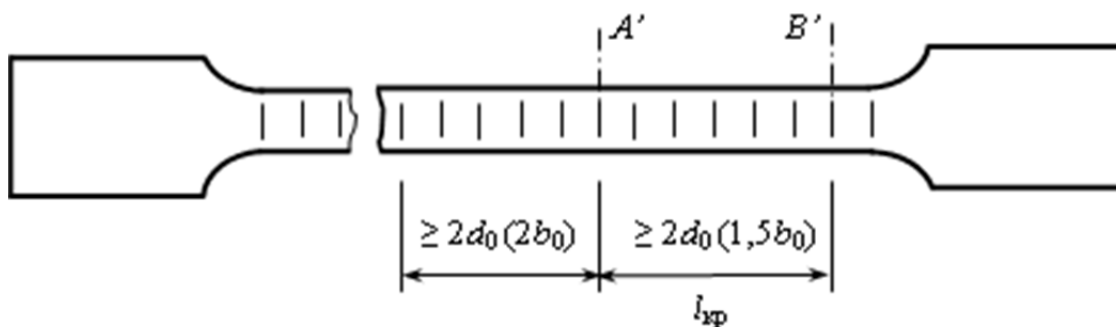


Рис. 5.12. Определение конечного расчетного участка $l_{к.р}$

Величину относительного равномерного удлинения δ_p , %, по ГОСТ 1497 определяют по формуле:

$$\delta_p = \frac{l_{к.р} - l_{н.р}}{l_{н.р}} \cdot 100.$$

Величину **относительного удлинения после разрыва** δ , %, определяют по формуле:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100,$$

здесь l_k и l_0 – соответственно конечная и начальная расчетная длина, мм. В протоколе испытаний необходимо указывать, на какой расчетной длине определено относительное удлинение после разрыва δ (например, δ_5 – начальная расчетная длина $l_0 = 5,65 \sqrt{F_0}$, $\delta_{10} - l_0 = 11,3 \sqrt{F_0}$).

Для определения конечной расчетной длины l_k разрушенные части образца плотно складываются так, чтобы их оси образовывали прямую линию. Конечная расчетная длина l_k определяется между метками, ограничивающими расчетную длину, измерение l_k производится штангенциркулем при значении отсчета по нониусу 0,1 мм. Если расстояние от места разрыва до ближайшей из меток, ограничивающих расчетную длину образца, составляет $1/3$ или менее начальной расчетной длины l_0 и определенная величина δ не удовлетворяет нормативным требованиям, ГОСТ 1497 допускает проводить определение относительного удлинения после разрыва δ с отношением места разрыва к середине.

Относительное сужение после разрыва ψ , %, определяется по формуле:

$$\psi = \frac{(F_0 - F_k) \cdot 100}{F_0},$$

здесь F_k – площадь поперечного сечения образца после разрыва, которая определяется после измерения минимального диаметра образца после разрыва d_k в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Измерение минимального диаметра d_k производится штангенциркулем с отсчетом по нониусу с точностью до 0,1 мм. Площадь F_k рассчитывается по среднему арифметическому из полученных значений d_k .

В таблице 5.12 приведены требования к округлению результатов испытаний.

Таблица 5.12

Требования ГОСТ 1497 к округлению результатов испытаний на растяжение

Характеристика механических свойств	Единица измерения	Интервал значений характеристики	Округление
Предел пропорциональности Предел упругости Предел текучести физический Предел текучести условный Временное сопротивление	Н/мм ²	До 100 Св. 100 до 500 Св. 500	До 1,0 До 5,0 До 10
Модуль упругости	Н/мм ²	1,00–2,50·10 ⁵	До 0,01·10 ⁵
Относительное равномерное удлинение Относительное удлинение после разрыва Относительное сужение площади поперечного сечения после разрыва	%	До 10,0 Св. 10,0 до 25,0 Св. 25,0	До 0,1 До 0,5 До 1,0

Результаты испытаний по ГОСТ 1497 **не учитывают**:

- при разрыве образца по кернам (по рискам), если при этом какая-либо характеристика механических свойств не отвечает установленным нормативным требованиям;
- при разрыве образца в захватах испытательной машины или за пределами расчетной длины образца (при определении δ_r или δ);
- при разрыве образца по дефектам металлургического производства и получении при этом неудовлетворительных результатов.

Испытания взамен неудовлетворительных повторяют на таком же количестве образцов (если иное не указано в НТД).

5.5 Испытания на ударный изгиб (определение ударной вязкости)

Испытания на удар до разрушения (излом ударом или, реже, разрыв ударом) являются одними из наиболее распространенных испытаний, позволяющих оценить сопротивление материала динамическим нагрузкам. Так как измерение сил при ударе связано с большими техническими трудностями по причине чрезвычайной кратковременности процесса и переменности усилия в этот период, была введена механическая характеристика – **ударная вязкость**, которая является условной величиной и используется только в качестве сравнительной характеристики.

Испытания на ударный изгиб регламентируются ГОСТ 9454-78 «Металлы. Метод испытаний на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах». Согласно ГОСТ 9454, под ударной вязкостью понимают работу, затраченную на излом образца, отнесенную к начальной площади поперечного сечения в месте концентратора. Ударная вязкость

измеряется в джоулях на квадратный сантиметр (Дж/см²). Ударная вязкость сильно зависит от многих факторов: размеров и формы образца, вида и размеров концентраторов напряжений (надрезов), температуры образца и др. Поэтому ГОСТ 9454 требует неукоснительного соблюдения требований, предъявляемых к образцам для испытаний.

5.5.1 Требования к образцам

Различают образцы с тремя видами концентраторов: U-, V- и Т-типа. Форма и размеры образцов для испытания приведены в на рисунках 5.13–5.15 и в таблице 5.13.

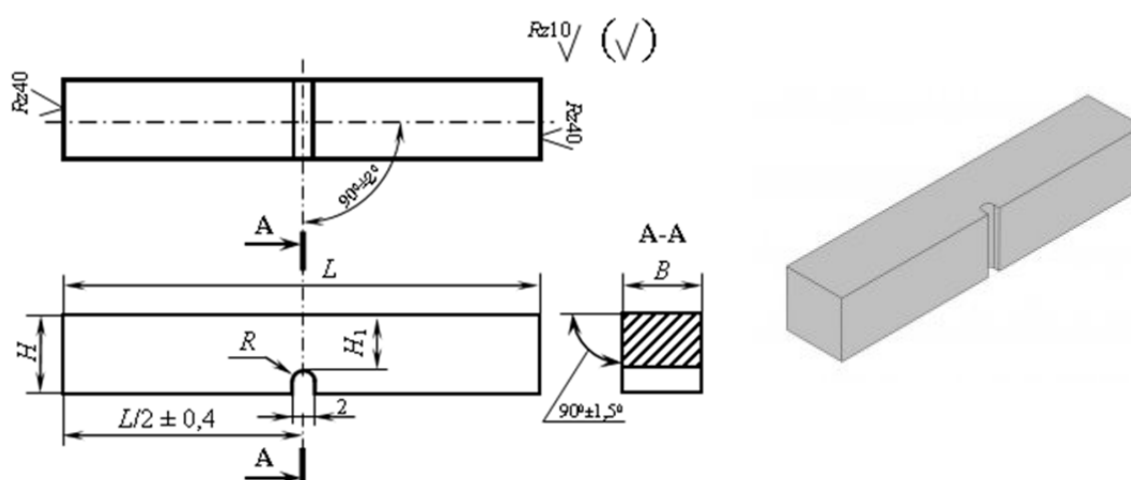


Рис. 5.13. Образец с концентратором вида U

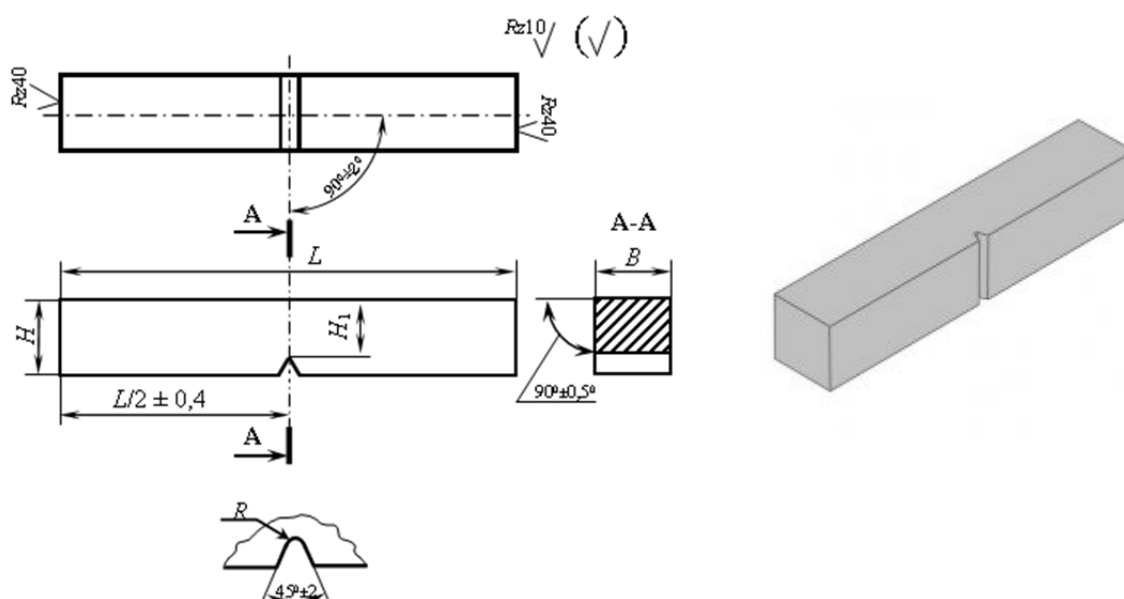


Рис. 5.14. Образец с концентратором вида V

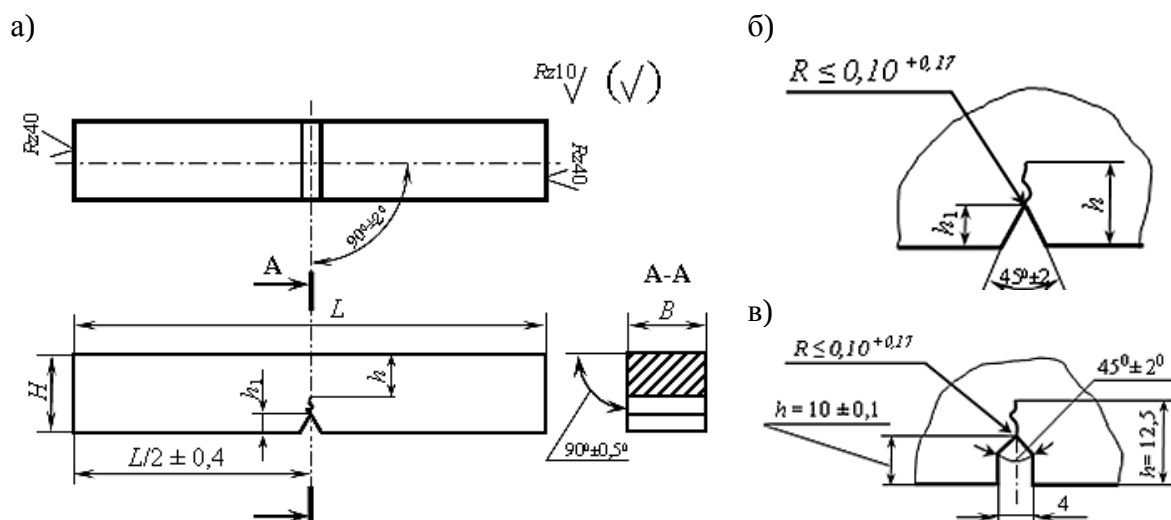


Рис. 5.15. Образец с концентратором вида Т (усталостная трещина): а – общий вид; б – форма концентратора для образцов с 15-го по 19-й тип; в – форма концентратора для образцов 20-го типа

Таблица 5.13

Форма и размеры образцов для испытаний на ударный изгиб по ГОСТ 9454, мм

Вид кон- цент- ратора	Радиус кон- цент- ратора R	Тип образ- ца	Длина L (пред.отк л. $\pm 0,6$)	Ши- рина B	Высота H (пред.отк л. $\pm 0,1$)	Глу- бина надре- за h_1 (пред. откл. $\pm 0,1$)	Глубина концен- тратора h_1 (пред. откл. $\pm 0,1$)	Высота рабо- чего сече- ния H_1	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
U	$1 \pm 0,07^*$	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	55	$10 \pm 0,1$ 0	10	—	—	$8 \pm 0,1$	
				$7,5 \pm 0,1$ 0					
				$5 \pm 0,05$					
				$2 \pm 0,05$	8			10	$7 \pm 0,1$
				$10 \pm 0,1$ 0					
				$7,5 \pm 0,1$ 0					
				$5 \pm 0,05$					
				$10 \pm 0,1$ 0					
				$7,5 \pm 0,1$ 0					
				$5 \pm 0,05$					
				$5 \pm 0,1$					

Продолжение табл. 5.13

1	2	3	4	5	6	7	8	9
V	0,25 ± 0,025	11	55	10±0,1 0	10	–	–	8 ± 0,05*
		12		7,5±0,1 0				
		13		5±0,05	8			6 ± 0,05*
		14		2±0,05				
T	Тре- щина	15	55	10±0,1 0	11	1,5	3,0	–
		16		7,5±0,1 0				
		17		5±0,05				
		18		2±0,05	9			
		19		10±0,1 0	10	3,5	5,0	

Примечание. *При массовых контрольных испытаниях допускается изготовление образцов с предельным отклонением ±0,10 мм.

Место и технология вырезки заготовки для изготовления образцов и ориентация оси концентратора определяются по нормативно-технической документации на продукцию; если в НТД нет конкретных указаний, тогда для черных металлов – по ГОСТ 7565–81.

Согласно требованиям ГОСТ 9454, концентратор типа Т получают в вершине начального надреза при плоском циклическом изгибе образца. Число циклов, необходимое для получения трещины заданной глубины, не менее 3000. Максимальный остаточный прогиб, образовавшийся при получении концентратора типа Т, не должен превышать 0,25 мм (на образцах длиной 55 мм).

5.5.2 Аппаратура

Для проведения испытаний используются маятниковые копры по ГОСТ 10708–82 «Копры маятниковые. Технические условия». Маятниковые копры различаются по значениям номинальной потенциальной энергии маятника, в зависимости от которой регламентируется скорость движения маятника в момент удара (табл. 5.14).

Таблица 5.14

Скорость движения маятника в момент удара

Номинальная потенциальная энергия маятника, Дж	Скорость движения маятника в момент удара, м/с
50; 150; 300	$5 \pm 0,50$
7,5; 15; 25	$4 \pm 0,25$
5 и менее	$3 \pm 0,25$

Допускается использование копров с другой номинальной потенциальной энергией маятника, при условии, что значение работы удара составляет не менее 10 % от номинального значения потенциальной энергии маятника.

Основные размеры опор и ножа маятника должны соответствовать требованиям, указанным на рисунке 5.16.

Испытания проводятся при комнатной температуре $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$, а также при пониженной или повышенной температурах. Если копер не оснащен температурной камерой, ГОСТ 9454 допускает переохлаждение (при температуре испытаний ниже комнатной) или перегрев (при испытаниях при температуре выше комнатной). Температура переохлаждения или перегрева образцов при условии, что они могут быть испытаны не позднее чем через 3–5 с после извлечения из термостата, указана в справочном приложении 2 ГОСТ 9454 и в таблице 5.15. Выдержка образцов в термостате при заданной температуре (с учетом необходимого переохлаждения или перегрева) должна быть не менее 15 мин.

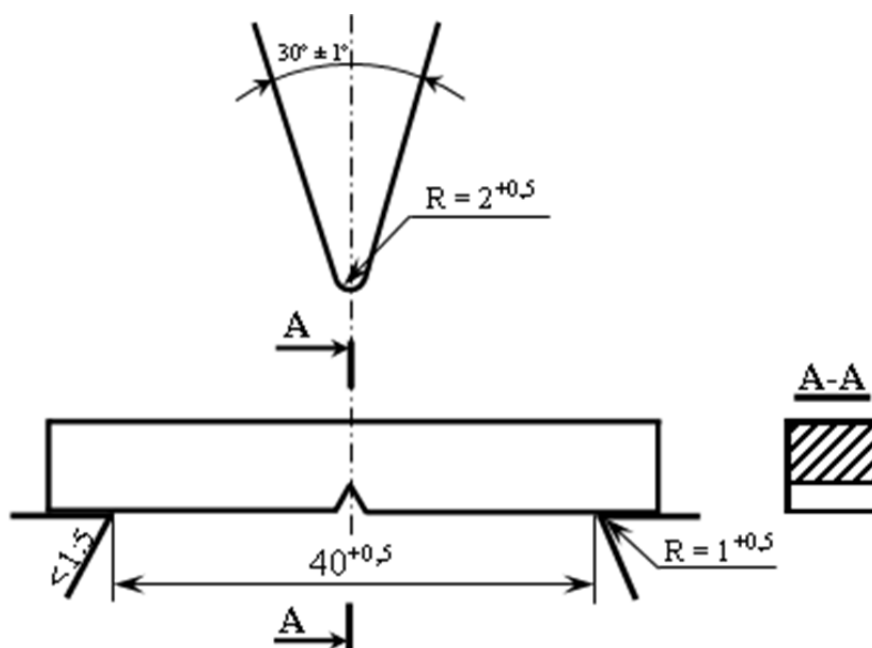


Рис. 5.16. Основные размеры опор и ножа (бойка) по ГОСТ 9454

Таблица 5.15

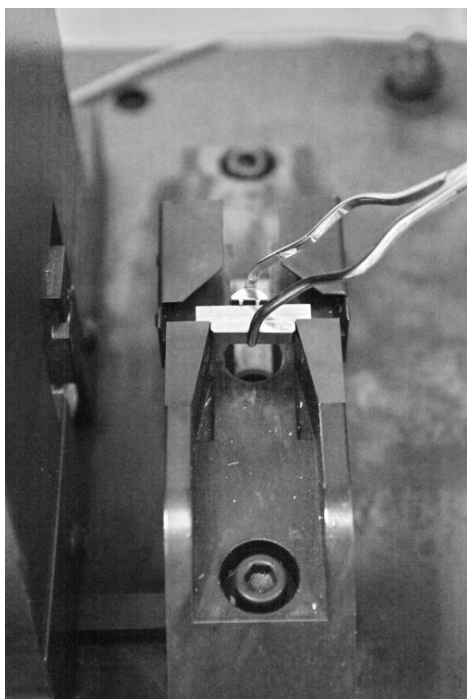
Температура переохлаждения и перегрева в зависимости от температуры испытания
(выборочные данные из ГОСТ 9454)

Температура испытания, °С				Температура, °С	
				переохлаждения	перегрева
Свыше минус	100	до минус	60	4–6	–
Свыше минус	60	до минус	40	3–4	–
Свыше минус	40	до плюс	10	2–3	–
Свыше плюс	30	до плюс	200	–	3–5

5.5.3 Проведение испытания и обработка результатов

Образец помещается свободно на опоры копра так, чтобы удар маятника приходился **на сторону, противоположную концентратору**. Если копер не оснащен автоматической системой подачи образцов, то для точной установки и центрирования образца на опоры копра используются специальные самоцентрирующиеся щипцы для образцов с концентраторами различных типов (рис. 5.17).

а)



б)



Рис. 5.17. Самоцентрирующиеся щипцы:
а – установка образца на опоры; б – общий вид

В современных инструментированных копрах работа удара определяется автоматически (рис. 5.18), в копрах старых модификаций – по шкале.

Результатом испытания является работа удара или ударная вязкость для образцов с концентраторами типов U и V и ударная вязкость для концентраторов типа Т.

Ударную вязкость по ГОСТ 9454 обозначают сочетанием букв и цифр. Первые две буквы КС обозначают символ ударной вязкости, третья буква – вид концентратора; первая цифра – максимальную энергию удара маятника, вторая – глубину концентратора, третья – ширину образца. При определении работы удара на копре с максимальной энергией удара 300 Дж при глубине концентратора 2 мм для концентраторов вида U и V, 3 мм для концентратора вида Т и ширине образца 10 мм (т. е. для образцов 1-го, 11-го и 15-го типов) цифровые обозначения не указываются. Кроме того, для обозначения работы удара и ударной вязкости при пониженной и повышенной температурах вводится цифровой индекс, указывающий температуру испытания, который ставится вверху после буквенных составляющих. Допускается обозначать ударную вязкость двумя индексами (a_i): первый (a) – символ ударной вязкости; второй (i) – символ типа образца в соответствии с таблицей 5.13.

Например:

КСU (КСV) – ударная вязкость, определенная на образце с концентратором вида U (V) при комнатной температуре. Максимальная энергия удара маятника 300 Дж, глубина концентратора 2 мм, ширина образца 10 мм;

КСТ⁺¹⁰⁰ 150/3/7,5 – ударная вязкость, определенная на образце с концентратором вида Т при температуре плюс 100 °С. Максимальная энергия удара маятника 150 Дж, глубина концентратора 3 мм, ширина образца 7,5 мм;

a_{11}^{-60} – ударная вязкость, определенная на образце 11-го типа при температуре минус 60 °С. Максимальная энергия удара маятника 300 Дж.

Ударную вязкость (КС), Дж/см², вычисляют по формуле:



Рис. 5.18. Значение работы удара, полученное при помощи автоматического маятникового копра SI-1M

$$КС = \frac{K}{S_0},$$

где K – работа удара, Дж;

S_0 – начальная площадь поперечного сечения образца в месте концентратора, см^2 ,

$$S_0 = H_1 \cdot B,$$

где H_1 – начальная высота рабочей части образца, см;

B – начальная ширина образца, см.

Параметры H_1 и B измеряют с погрешностью не более $\pm 0,05$ мм, при этом S_0 округляют: при ширине образца 5 мм и менее – до третьей значащей цифры, при ширине образца более 5 мм – до второй значащей цифры.

Значение $КС$ записывают в протоколе с округлением:

до 1,0 Дж/ см^2 – при значении $КС$ более 10 Дж/ см^2 ;

до 0,1 Дж/ см^2 – при значении $КС$ менее 10 Дж/ см^2 .

Если в результате испытания образец не разрушился полностью, то показатель качества материала считается неустановленным. В этом случае в протоколе испытания указывают, что образец при максимальной энергии удара маятника не был разрушен.

Результаты испытаний не учитывают при изломе образцов по дефектам металлургического производства.

Форма протокола испытаний приведена в приложении 3 ГОСТ 9454.

5.5.4 ГОСТ Р ИСО 148-1-2013 «Материалы металлические. Испытание на ударный изгиб на маятниковом копре по Шарпи. Часть 1. Метод испытания»

В 2014 году вступил в действие новый ГОСТ Р ИСО 148-1-2013 «Материалы металлические. Испытание на ударный изгиб на маятниковом копре по Шарпи. Часть 1. Метод испытания», который полностью идентичен международному стандарту ИСО 148-1:2009 (ISO 148-1:2009 «Metallic materials – Charpy pendulum impact test – Part 1: Test method»).

Историческая справка. Метод испытаний на ударный изгиб, когда образец не зажимают, а свободно устанавливают на опору в горизонтальном положении, называют методом Шарпи, в честь французского ученого Жоржа Шарпи (Georges Charpy, 1865–1945). Ж. Шарпи совместно с американским ученым С.Б. Расселом (S. B. Russell) разработал данный тест в 1900 году. Проводится такой тест в соответствии с различными стандартами: ASTM E23 «Стандартные методы испытания образцов металлических материалов с надрезом на удар», EN 10045 «Ударные испытания металлических материалов по методу Шарпи», ISO 148 «Металлические материалы. Ударное испытание на маятниковом копре по Шарпи», ГОСТ 9454 «Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах» и др.

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 148-1 стандартным образцом считается образец длиной 55 мм, с квадратным поперечным сечением со стороной 10 мм. Посередине образца выполняется V-образный или U-образный надрез. Если стандартный образец невозможно изготовить из имеющегося материала, то допускается использовать образец меньшего размера шириной 7,5, 5 или 2,5 мм.

V-образный надрез должен иметь внутренний угол 45° , глубину 2 мм и радиус основания надреза 0,25 мм (аналог образца 11-го типа по ГОСТ 9454).

U-образный надрез должен иметь глубину 5 мм (если не указано иное) и радиус основания 1 мм (аналог образца 11-го типа по ГОСТ 9454).

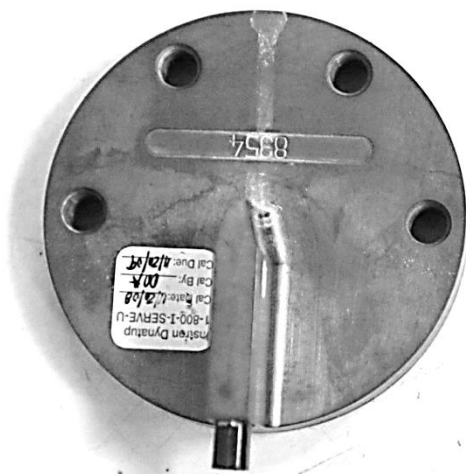
Все требования к геометрии образцов, а также к точности их изготовления приведены в таблице 2 ГОСТ Р ИСО 148-1.

ГОСТ Р ИСО 148-1–2013 допускает использовать бойки с радиусами закругления 2 мм (аналог ГОСТ 9454) и 8 мм, что позволяет использовать штатные бойки импортных копров. Учитывая это, рекомендуется указывать радиус бойка в виде подстрочного индекса, например: KV₂ или KU₈.

Следует обратить внимание на примечание, указанное в ГОСТ Р ИСО 148-1-2013: **некоторые материалы могут давать значительно отличающиеся результаты при низких уровнях энергии; результаты, полученные для двухмиллиметрового бойка, будут выше, чем для восьмимиллиметрового.**

На рисунке 5.19 показаны фотографии бойков для испытаний на ударный изгиб с радиусом закругления 8 мм (по ГОСТ Р ИСО 148-1–2013) для маятникового копра SI-1M производства фирмы Instron Corporation (США).

а)



б)

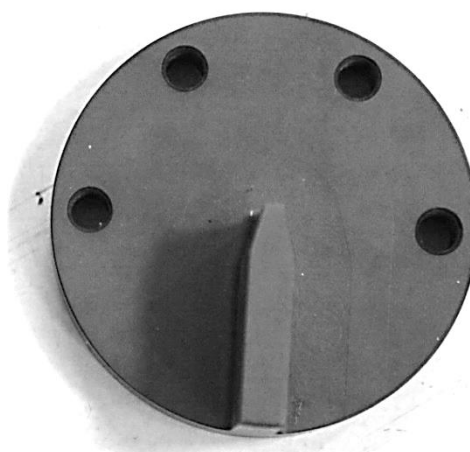


Рис. 5.19. Варианты бойков с радиусом закругления 8 мм для маятникового копра SI-1M производства фирмы Instron Corporation (США): а – инструментированный (с возможностью записи диаграмм работы удара и других характеристик); б – обычный боек

В справочных приложениях к ГОСТ Р ИСО 148-1 приведены требования к самоцентрирующимся клещам, показанным на рисунках 5.5, б (приложение А), описаны метод измерения бокового расширения (приложение В), процедура определения процента вязкого излома (приложение С), зависимость поглощенной энергии от температуры, температура перехода (приложение D) и неопределённость измерения значения поглощенной энергии (приложение E).

5.6 Определение твердости

Достаточно часто по требованиям НТД на металлопродукцию (или в связи с невозможностью проведения испытаний на растяжение) требуется определить твёрдость металла. **Твердость** – свойство материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого тела, в качестве которого выступает индентор твердомера. Для измерения твердости используются несколько методов и соответствующих шкал измерения, носящих имена авторов методов.

5.6.1 Метод измерения твердости по Бринеллю

Данный метод регламентируется ГОСТ 9012–59 «Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю».

Сущность метода заключается во вдавливании шарика (индентора) в образец под действием усилия, приложенного перпендикулярно к поверхности образца (рис. 5.20, а) в течение определенного времени, и измерения диаметра отпечатка после снятия усилия (рис. 5.20, б). Шарик (диаметром 10,0; 5,0; 2,5; 2,0 или 1,0 мм) должен быть изготовлен из стали или из твердого сплава (при твердости металлов до 450 единиц допускается применять шарики из стали или из твердого сплава, а при твердости металлов более 450 единиц – шарики из твердого сплава). Диаметр шарика D выбирают таким образом, чтобы диаметр отпечатка находился в пределах от $0,24D$ до $0,60D$.

Историческая справка. Юхан Август Бринелль (швед. Johan August Brinell) (1849–1925) – шведский инженер, металлург. Разработал в 1900 году статический метод определения твёрдости, в настоящее время носящий его имя. По методу Бринелля в материал под определённой нагрузкой (равной в кгс для черных металлов $30D^2$, где D – диаметр вдавливаемого шарика в мм) вдавливается твёрдый металлический шарик диаметром 10,5 или 2,5 мм. Отношение приложенной нагрузки к площади шаровой поверхности отпечатка даёт число твёрдости по Бринеллю. Для вдавливания шарика использовался специальный пресс, также носящий имя Бринелля.

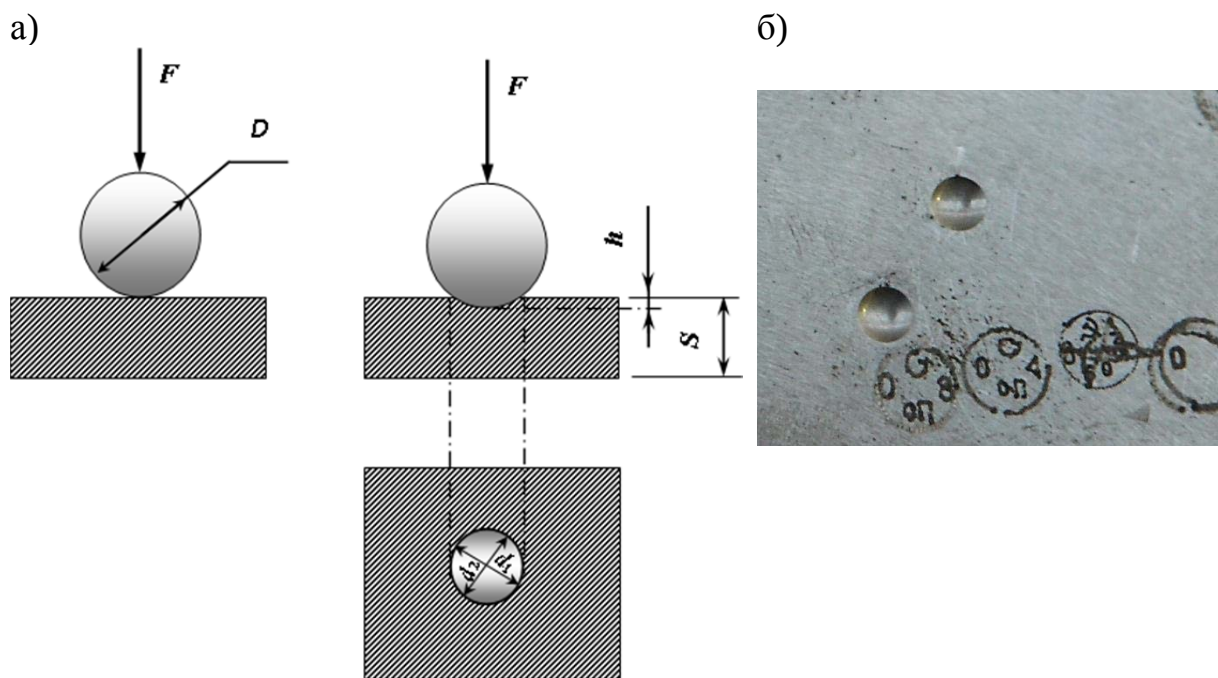


Рис. 5.20. Определение твердости по методу Бринелля: а – схема проведения опыта; б – отпечаток после снятия нагрузки

На рисунке 5.21 приведены инденторы твердомера DIGI-TESTOR 971/3000D для измерения твердости по методу Бринелля.



Рис. 5.21. Инденторы твердомера DIGI-TESTOR 971/3000D для измерения твердости по методу Бринелля с шариками диаметром 2,5 мм (слева) и 5 мм (справа)

ГОСТ 9012 устанавливает следующие требования к образцам:

- толщина образца S (рис. 20) должна не менее чем в 8 раз превышать глубину отпечатка h ;
- шероховатость поверхности образца (или площадки на готовом изделии) Ra должна быть не более 2,5 мкм по ГОСТ 2789–73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики» (если нет других требований в НТД на металлопродукцию);
- образец должен быть подготовлен таким образом, чтобы его свойства не менялись в процессе механической или другой обработки (от наклепа или нагрева).

Твердость по Бринеллю обозначают символом HB (HBW), которому предшествует числовое значение твердости из трех значащих цифр, после символа указывается диаметр шарика, значение приложенного усилия (в кгс) и продолжительность выдержки (если она отличается от 10...15 с). В обозначении HB (HBW): H – *hardness* (англ. – твёрдость), В – Бринелль (Brinell), индекс W означает использование шарика из твердого сплава. При определении твердости стальным шариком или шариком из твердого сплава диаметром 10 мм при усилии 3000 кгс (29240 Н) и продолжительности выдержки от 10 до 15 с твердость по Бринеллю обозначают только числовым значением твердости и символом HB (HBW).

Примеры обозначения:

250 HB – твердость по Бринеллю 250, определенная при применении стального шарика диаметром 10 мм при усилии 3000 кгс и продолжительности выдержки от 10 до 15 с;

250 HB 5/750 – твердость по Бринеллю 250, определенная при применении стального шарика диаметром 5 мм при усилии 750 кгс и продолжительности выдержки от 10 до 15 с;

525 HBW 2,5/187,5/30 – твердость по Бринеллю 525, определенная при применении шарика из твердого сплава диаметром 2,5 мм при усилии 187,5 кгс и продолжительности выдержки 30 с.

Твердость по Бринеллю HB (HBW) по ГОСТ 9012 численно равна отношению приложенного усилия F к площади сферического отпечатка A , рассчитывается по формуле:

$$HB (HBW) = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)},$$

если усилие F измерено в кгс;

$$HB (HBW) = \frac{F}{A} = \frac{0,102 \cdot 2F}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)},$$

если усилие F измерено в Н,

здесь D – диаметр шарика, мм;

d – диаметр отпечатка, мм, измеренный при помощи микроскопа (лупы Бринелля) или средств измерения твердомера как среднеарифметическое измерение диаметров отпечатка d_1 и d_2 в двух взаимно перпендикулярных направлениях (см. рис. 5.20, *a*). Разность измерений диаметров одного отпечатка не должна превышать 2 % от меньшего из них.

При проведении испытаний по ГОСТ 9012 необходимо чтобы время выдержки от начала приложения нагрузки до достижения им заданной величины составляло 2–8 с.

Расстояние между центром отпечатка и краем образца должно быть не менее 2,5 диаметров отпечатка d ; расстояние между центрами двух смежных отпечатков должно быть не менее четырех диаметров отпечатка; для металлов с твердостью до 35 HB (HBW) эти расстояния должны быть соответственно $3d$ и $6d$.

После измерения твердости на обратной стороне образца не должно наблюдаться пластической деформации от отпечатка.

В приложениях ГОСТ 9012 имеются таблицы величин твердости по Бринеллю для различных диаметров шарика и отпечатков.

Современные цифровые твердомеры являются полностью автоматическими (определяют диаметры отпечатков и числа твердости без участия оператора) или полуавтоматическими устройствами (требуют участие оператора в процессе определения диаметров отпечатков). На рисунках 5.22–5.24 приведен пример определения твердости по Бринеллю при помощи полуавтоматического твердомера DIGI-TESTOR 971/3000D (на передней панели твердомера имеется экран, на который при помощи камеры выводится увеличенное изображение отпечатка и специальная линейка для определения его диаметра).



Рис. 5.22. Определение твердости образца по методу Бринелля на универсальном твердомере DIGI-TESTOR 971/3000D производства компании Instron Wolpert Wilson Instruments (Великобритания): процесс нагружения

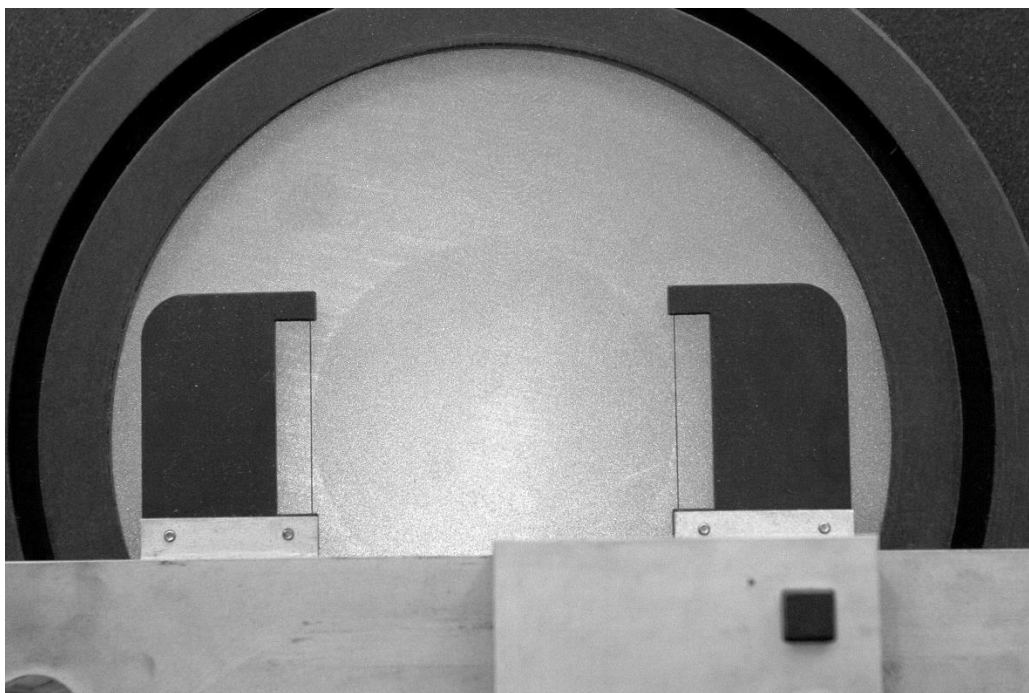


Рис. 5.23. Определение твердости образца по методу Бринелля на универсальном твердомере DIGI-TESTOR 971/3000D: измерение диаметра отпечатка

а)



б)



Рис. 5.24. Определение твердости образца по методу Бринелля на универсальном твердомере DIGI-TESTOR 971/3000D: а – общий вид твердомера; б – монитор с результатами испытаний 445 HB 10/3000 (или 445 HB)

5.6.2 Метод измерения твердости по Роквеллу

Определение твердости по методу Роквелла регламентировано ГОСТ 9013–59 «Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу».

Сущность метода заключается во внедрении в поверхность образца (или изделия) алмазного конусного наконечника (шкалы А, С, D) с углом при вершине $\alpha = 120^\circ$ и радиусом сферической части $R = 0,2$ мм или шарикового стального наконечника с номинальным диаметром шарика 1,588 (шкалы В, F, G) или 3,175 мм (шкалы Е, Н, К) под действием последовательно прикладываемых предварительного F_0 и основного F_1 усилий и в определении глубины внедрения наконечника после снятия основного усилия (F_1). Схема приложения нагрузки приведена на рисунке 5.25. Из-за своей простоты метод Роквелла является наиболее распространённым.

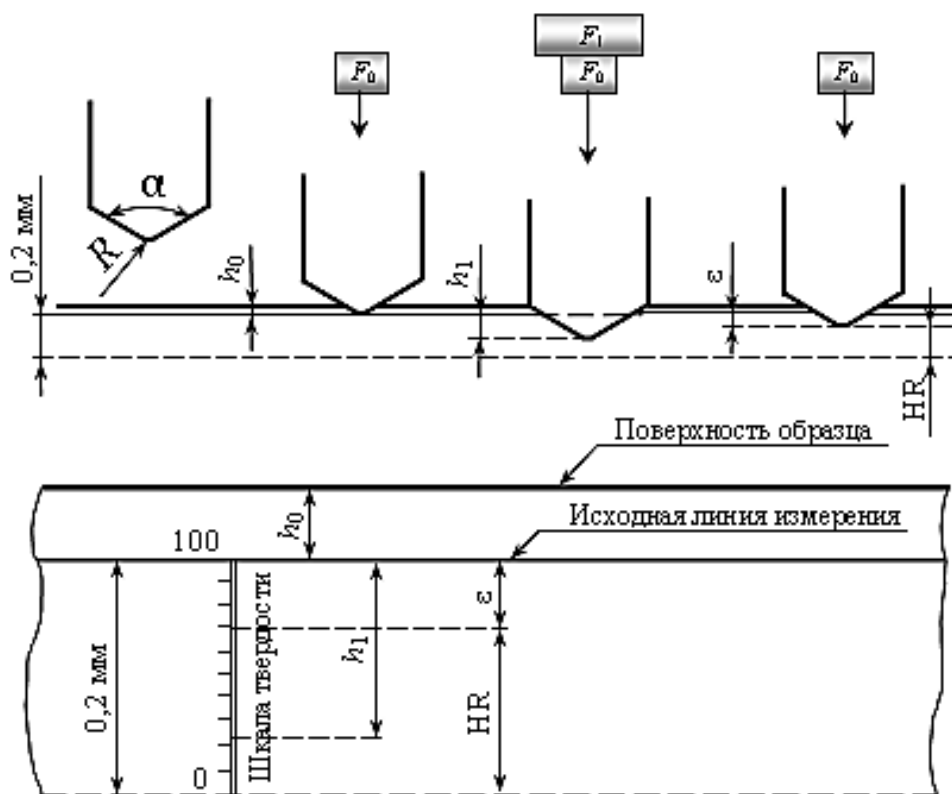


Рис. 5.25. Схема проведения измерения твердости по методу Роквелла с применением алмазного наконечника

Историческая справка. Машина для измерения твердости, получившая название твердомера Роквелла, была изобретена американцами Роквеллами (которые не являлись прямыми родственниками) Хью М. Роквеллом (1890–1957) и Стэнли П. Роквеллом (1886–1940), которые получили на нее патент в 1919 году [8], [9]. В данной машине был реализован метод определения твердости по относительной глубине проникновения индентора (автор метода профессор Людвиг (Ludwig) описал его в своей книге в

1908 году). Потребность в твердомере Роквелла была вызвана необходимостью быстрого определения эффектов термообработки на обоях стальных подшипников, особенно с учетом того, что уже существовавший в это время метод Бринелля был медленным, оставлял слишком большой отпечаток и не применялся для закалённых сталей.

Ниже показаны инденторы для твердомера DIGI-TESTOR 971/3000D – алмазный конусный наконечник (рис. 5.26, а) и стальной шариковый наконечник с шариком диаметром 1,588 мм (рис. 5.26, б).

а)



б)



Рис. 5.26. Инденторы для твердомера DIGI-TESTOR 971/3000D для определения твердости по методу Роквелла: а – алмазный конусный наконечник; б – шариковый стальной наконечник

ГОСТ 9013 устанавливает следующие требования к образцам:

- толщина образца должна не менее чем в 10 раз превышать глубину внедрения наконечника после снятия основного усилия F_1 ;
- шероховатость поверхности образца (или площадки на готовом изделии) Ra должна быть не более 2,5 мкм по ГОСТ 2789–73 (если нет других требований в НТД на металлопродукцию);
- образец должен быть подготовлен таким образом, чтобы его свойства не менялись в процессе механической или другой обработки (от наклепа или нагрева).

При проведении измерений по ГОСТ 9013 должны выполняться следующие условия:

- расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее четырех диаметров отпечатка (но не менее 2 мм);
- расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее 2,5 диаметров отпечатка (но не менее 1 мм);
- значения предварительного и основного усилий, прикладываемых к образцам, должны соответствовать данным, приведенным в таблице 5.16.

Таблица 5.16

**Значения предварительного и основного усилий, прикладываемых к образцам,
в зависимости от шкалы твердости по Роквеллу**

Шкала твердости	Обозначение единицы измерения	Предваритель- ное усилие F_0	Основное усилие F_1	Общее усилие F	Диапазон измерений, ед. твердости
		Н, кгс			
A	HRA	98,07 (10)	490,3 (50)	588,4 (60)	20–88
B	HRB		882,6 (90)	980,7 (100)	20–100
C	HRC _э		1373 (140)	1471 (150)	20–70
D	HRD		882,6 (90)	980,7 (100)	40–77
E	HRE		882,6 (90)	980,7 (100)	70–100
F	HRF		490,3 (50)	588,4 (60)	60–100
G	HRG		1373 (140)	1471 (150)	30–94
H	HRH		490,3 (50)	588,4 (60)	80–100
K	HRK		1373 (140)	1471 (150)	40–100

Число твердости по Роквеллу определяется по шкале индикатора или показателя цифрового отсчетного устройства с округлением до 0,5 единицы твердости.

5.6.3 Метод измерения твердости по Виккерсу

Определение твердости по методу Виккерса регламентировано ГОСТ 2999–75 «Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу».

Сущность метода заключается во вдавливании алмазного наконечника в форме правильной четырехгранной пирамиды в образец (изделие) под действием нагрузки F , приложенной в течение определенного времени, и измерении диагоналей отпечатка d_1 и d_2 , оставшихся на поверхности образца после снятия нагрузки. Схема проведения испытаний показана на рисунке 5.27.

Историческая справка. Данный метод испытаний на твердость был разработан в 1921 году Робертом Л. Смитом (Robert L. Smith) и Джорджем Э. Сандлэндом (George E. Sandland) в компании Vickers Ltd в качестве альтернативы методу Бринелля [10]. Метод Виккерса обычно проще в использовании, чем другие методы испытаний на твердость, так как необходимые расчеты не зависят от размера индентора, а сам индентор (алмазная пирамида) может быть использован для всех материалов независимо от их твердости.

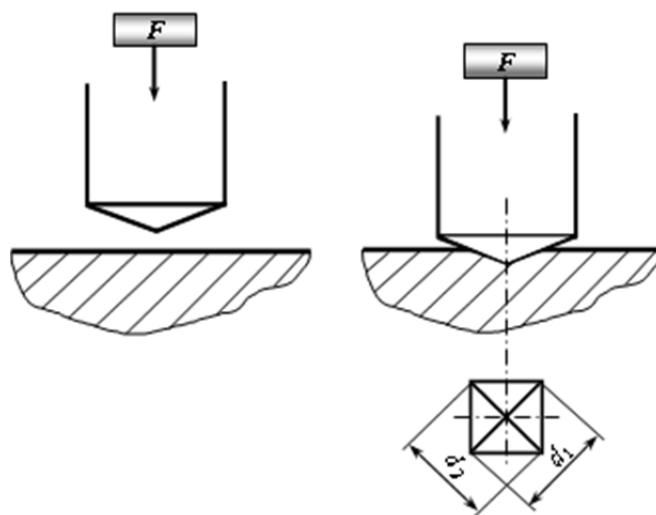


Рис. 5.27. Схема проведения испытаний по определению твердости методом Виккерса

На рисунке 5.28, а показан индентор – алмазная пирамида – для твердомера DIGI-TESTOR 971/3000D, на рисунке 5.28, б – съемная камера для увеличения изображения отпечатка и вывода его на экран.

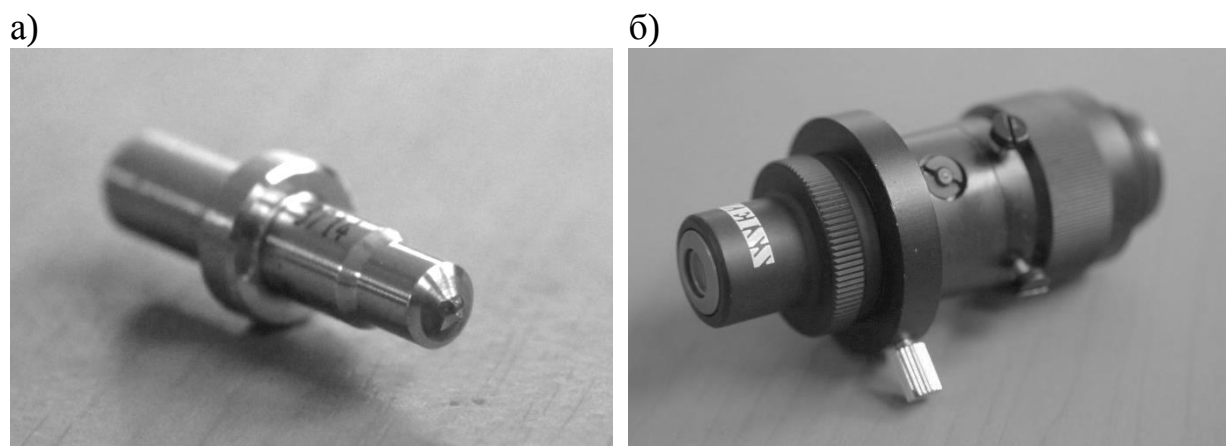


Рис. 5.28. Приспособления для измерения твердости по методу Виккерса для твердомера DIGI-TESTOR 971/3000D:
а – индентор – алмазная пирамида; б – съемная камера

ГОСТ 2999 устанавливает следующие требования к образцам:

- минимальная толщина образца должна быть для стальных изделий больше диагонали отпечатка в 1,2 раза;
- образец должен быть подготовлен таким образом, чтобы его свойства не менялись в процессе механической или другой обработки (от наклепа или нагрева);

- при измерении твердости на криволинейных поверхностях радиус кривизны должен быть не менее 5 мм;
- поверхность образца должна иметь шероховатость не более 0,16 мкм по ГОСТ 2789 и быть свободной от окисной пленки.

Для определения твердости черных металлов и сплавов применяют нагрузки от 49,03 Н (5 кгс) до 980,7 Н (100 кгс). Для получения более точного результата измерения твердости нагрузка должна быть возможно больше, причем на обратной стороне образца не должно быть заметно следов деформации. Продолжительность выдержки под нагрузкой должна составлять 10–15 с.

Расстояние между центром отпечатка и краем образца или краем соседнего отпечатка должно быть не менее 2,5 длины диагонали отпечатка.

Твердость по Виккерсу при условиях испытания $F = 294,2$ Н (30 кгс) и времени выдержки под нагрузкой 10–15 с обозначается цифрами, указывающими величину твердости, и буквами HV. При других условиях испытания после букв HV указывается нагрузка и время выдержки.

Примеры обозначения:

500 HV – твердость по Виккерсу, полученная при нагрузке $F = 294,2$ Н (30 кгс) и времени выдержки 10–15 с;

220 HV 10/40 – твердость по Виккерсу, полученная при нагрузке 98,07 Н (10 кгс) и времени выдержки 40 с.

Твердость по Виккерсу (HV) вычисляют по формуле:

$$HV = \frac{0,102 \cdot 2F \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 0,189 \frac{F}{d^2}, \quad \text{если нагрузка } F \text{ измеряется в Н;}$$

$$HV = \frac{2F \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{F}{d^2}, \quad \text{если нагрузка } F \text{ измеряется в кгс,}$$

здесь α – угол между противоположными гранями пирамиды при вершине, равный 136° ;

d – среднее арифметическое значение длин обеих диагоналей отпечатка d_1 и d_2 после снятия нагрузки, мм.

Значения чисел твердости по Виккерсу в зависимости от значений диагоналей отпечатка приведены в приложениях ГОСТ 2999.

В справочной литературе приводятся таблицы перевода чисел твердости, определённых по разным шкалам.

В заключение отметим, что в настоящее время существуют универсальные цифровые твердомеры (например, DIGI-TESTOR 971/3000D), которые могут определять твердость по разным методам за счет автоматической или ручной смены инденторов.

6 МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И НОРМИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Показатели качества сварных соединений разделяют на количественные и качественные. При определении количественных показателей используют измерительный метод, основанный на прямых измерениях контролируемых характеристик (например, измерение ширины шва). Количественные показатели могут быть определены расчётным путём. Этот метод основан на определении по теоретическим или экспериментальным зависимостям показателей качества от основных измеряемых характеристик. Например, определение предела прочности сварного соединения по измеряемым прямыми методами предельной нагрузке и площади поперечного сечения шва.

При оценке качества сварных соединений используют и качественные показатели. Например, степень окиси поверхности сварного шва (по наличию цветов побежалости на поверхности сварного шва). В этом случае используют регистрационный метод, основанный на наблюдении и анализе зрительного восприятия информации. Точность определения качественных показателей зависит от накопленного опыта, квалификации и способности специалиста, производящего оценку.

При регистрационном методе обычно используют эталоны или специальные стандартные шкалы с балльным способом выражения показателя качества, например при оценке загрязнённости стали неметаллическими включениями. Просматривают нетравленный шлиф сварного соединения в микроскоп и визуально сравнивают обнаруженные включения со стандартной шкалой, которая является пятибалльной. С увеличением балла возрастает загрязнённость стали неметаллическими включениями.

При оценке окиси сварного шва используют эталоны сварных соединений с недопустимой степенью окисления.

При определении номенклатуры показателей качества и разработке шкал оценок используют экспертный метод, основанный на учёте мнений группы экспертов-специалистов. Чтобы получить экспертным методом достаточно точные результаты, необходимо применять меры к уменьшению субъективности, присущей этому методу. Поэтому при обработке мнений экспертов используют методы математической статистики, занимающейся вопросами сбора, обработки и анализа результатов наблюдений.

Оценку качества промышленной продукции производят путём её контроля, т. е. проверки соответствия контролируемых показателей заданным требованиям или нормам, установленным нормативно-технической документацией (НТД). НТД включает стандарты, технические условия, чертежи изделий, технологические карты и производственные инструкции [11].

Контроль необходим, т. к. при изготовлении продукции возникают производственные погрешности, обусловленные действием различных факторов. Получаемые и фиксируемые при контроле отклонения от норм и требований позволяют руководителям производства принимать решения о необходимости изменения технологических процессов путём использования управляющих воздействий. С помощью управляющих воздействий обеспечивают требуемые показатели качества и их стабильность.

Нормирование требований к контролируемым характеристикам является необходимым условием обеспечения соответствующего уровня качества промышленной продукции. Принимая за χ_i контролируемую характеристику, нормирование производят либо по наименьшему значению $\chi_{\min}$,

$$\chi_i \geq \chi_{\min}, \quad (6.1)$$

либо по наибольшему $\chi_{\max}$,

$$\chi_i \leq \chi_{\max}, \quad (6.2)$$

либо одновременно по наименьшему и наибольшему значениям $\chi_{\min}$, $\chi_{\max}$,

$$\chi_{\min} \leq \chi_i \leq \chi_{\max}. \quad (6.3)$$

Например, в первом случае диаметр поры при электродуговой автоматической сварке должен быть меньше установленного наибольшего значения. Во втором случае в качестве примера можно привести длину сварного шва, который должен быть больше установленного наименьшего значения. В третьем случае примером является дефект (подрез основного металла). При длине дефекта (подреза) меньше минимального он является допустимым дефектом, а при длине дефекта (подреза) больше максимального – недопустимым дефектом электродуговой автоматической сварки [12].

Таким образом, нормирование устанавливает допустимые пределы изменения контролируемой характеристики. Эти значения отражают конкретные требования к сварным соединениям, которые устанавливают на основе экспериментальных исследований и испытаний, применения методов статистического анализа и обработки экспериментальных данных и построения статистических закономерностей контролируемых показателей.

В производственной практике, например, при испытаниях для оценки качества сварных соединений используют как абсолютные, так и относительные показатели. К относительным показателям качества можно отнести, например, коэффициент прочности сварного соединения.

Относительные характеристики также нормируют. Так коэффициент прочности сварного соединения не должен быть меньше установленного значения. Такие ограничения задаются в зависимости от конкретных технических требований. Выход за установленные ограничения считается несоответствием предъявляемым требованиям.

В связи с тем, что реальное число контролируемых показателей велико, при оценке качества продукции вводится такое понятие, как уровень качества. Под уровнем качества понимают характеристику качества продукции, основанную на сравнении совокупности ее единичных показателей качества с соответствующей совокупностью нормативных (базовых) показателей. Сопоставляя единичные и нормативные показатели качества, принимают решение об уровне качества продукции по ГОСТ 15467–79 «Управление качеством продукции. Основные понятия, термины и определения».

Выбор необходимой и достаточной номенклатуры показателей качества сварных изделий и формирование требований к их качеству зависит от специфики и условий эксплуатации сварных изделий и устанавливается соответствующими отраслевыми стандартами, производственными методиками и инструкциями.

6.1 Система формирования качества промышленной продукции сварочного производства

Система формирования качества промышленной продукции сварочного производства охватывает пять основных стадий жизненного цикла продукции.

1. *Стадия проектирования* включает научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИР и ОКР) по проектированию сварных изделий и разработке директивных (руководящих) технологических материалов (ДТМ, РТМ). На этой стадии прогнозируется технический уровень выпускаемой продукции и определяется её соответствие современному уровню развития техники и технологии, осуществляется контроль разрабатываемой технической документации.

2. На *стадии внедрения* осуществляется технологическая подготовка производства и ведутся работы по отладке технологии при выпуске опытных образцов или установочной серии. Основной сущностью технологической подготовки производства являются разработка рабочей технологической документации и проектирование технологической оснастки.

На этой стадии контролируются разработанная технологическая документация и конструкторская документация на оснастку.

3. *Стадия серийного производства* предполагает организацию определенной системы производственного контроля, включающей контроль

поставляемых материалов и полуфабрикатов, уровня подготовки производственного и руководящего персонала, технического состояния оборудования, контроль технологического процесса изготовления и испытания сварных изделий. На этой стадии осуществляют мероприятия по управлению технологическим процессом с целью устранения возникающих отклонений. Контроль на стадии серийного производства обеспечивает планируемый уровень качества выпускаемой продукции.

4. На *стадии обращения* контролируют условия хранения продукции и её транспортировки с целью сохранения всех показателей качества, заложенных в продукцию на предыдущих стадиях.

5. *Стадия эксплуатации* предполагает организацию определённой системы технического обслуживания и ремонта сварных изделий с целью поддержания высокого уровня их качества. Для этого необходим эксплуатационный контроль. Согласно требованиям СП 70.13330–2012, контроль производится и после ремонта сварных соединений.

Анализ приведённой системы показывает, что качество продукции формируется и складывается из суммы качества продукции на каждой стадии её жизненного цикла. Такая система формирования качества является частью общей системы качества, которая предусматривает контроль всех элементов, обеспечивающих её функционирование и соответствующих требованиям международных стандартов серии ISO-9000.

6.2 Классификация дефектов

6.2.1 Типы и виды дефектов

В соответствии с ГОСТ 23858–99 «Соединения сварные стыковые и тавровые арматуры железобетонных конструкций» термин *дефект* определяют как каждое отдельное несоответствие продукции требованиям, установленным нормативной документацией.

В сварочном производстве принято разделять дефекты подготовки и сборки изделий под сварку и сварочные дефекты. Последние могут быть наружными (дефекты формы швов) или внутренними. Внутренние дефекты могут представлять собой несплошности (макроскопические дефекты) либо дефекты структуры. Однако следует иметь в виду, что дефекты подготовки и сборки часто приводят к появлению собственно сварочных дефектов, поэтому подготовку изделий к сварке необходимо тщательно контролировать.

Наиболее характерные дефекты подготовки и сборки при сварке плавлением: неправильный угол скоса кромок в швах с V-, U- и X-образной разделкой, слишком большое или малое притупление по длине

стыкуемых кромок; непостоянство зазора между кромками; несовпадение стыкуемых плоскостей кромок; расслоения и загрязнения на кромках.

Причинами подобных дефектов могут быть неисправности станков для изготовления заготовок и приспособлений для сборки; недоброкачество исходных материалов; ошибки в чертежах, а также низкая квалификация и культура труда работников.

Правильность сборки контролируют внешним осмотром и промерами при помощи шаблонов и инструментов.

Важна также классификация по природе дефектов, относящихся к тому или иному способу сварки [12].

6.2.2 Поверхностные дефекты

Форма и размеры швов обычно зависят от толщины свариваемого материала и разделки кромок шва. Их задают техническими условиями и указывают на чертежах. При сварке электродуговой и плавлением, как правило, их регламентируют по РД 03-606–03 «Инструкция по визуальному и измерительному контролю» и ГОСТ 15467–79 «Управление качеством продукции. Основные понятия, термины и определения»: для стыкового соединения – ширину шва, высоту усиления шва, для тавровых и нахлесточных соединений – катет шва и высоту рабочего сечения.

Швы могут иметь неравномерную ширину по длине, неравномерную высоту, бугры, наплывы седловины, неравномерную величину катетов в угловых швах и соединениях. Дефекты формы швов получаются из-за отступлений в технологии при автоматической сварке (нарушение скорости подачи проволоки, скорости сварки и т. п.) и низкой квалификации или культуры сварщика при ручной сварке.

Неправильная форма швов, в частности чрезмерное усиление, резкие переходы от шва к основному металлу, бугристость и т. п., могут существенно снижать работоспособность соединений, особенно при динамических или вибрационных нагрузках, а также хрупких материалов.

Некоторые наружные дефекты часто рассматривают как поверхностную несплошность сварного шва (что более характерно для внутренних дефектов). К ним относятся подрезы, незаваренные кратеры, прожоги, свищи и т. п.

Подрезы представляют собой углубления в основном металле, расположенные по краям шва. Они образуются при сварке на повышенных токах и напряжениях дуги. Подрезы уменьшают рабочее сечение, вызывают концентрацию напряжений и могут стать причиной разрушения шва из-за появления трещин у края подреза.

Кратеры образуются при обрывах дуги и остаются в виде углублений. Они уменьшают рабочее сечение шва, снижают его прочность и кор-

розионную стойкость. Незаваренный кратер часто служит очагом появления трещин.

Прожоги образуются от чрезмерно высокой погонной энергии, неравномерной скорости сварки и т. д.

Свищи обычно развиваются из канальных пор. Свищи – сквозные, выходящие на поверхность дефекты.

Все указанные поверхностные несплошности хорошо выявляются внешним осмотром и могут быть исправлены подваркой, если исправление не принесет большего вреда, чем сам дефект. Значительное количество поверхностных дефектов обычно сигнализирует о наличии и внутренних дефектов (РД 03-606–03).

6.2.3 Внутренние дефекты

Поры (газовые включения) образуются при перенасыщении сварочной ванны газами вследствие загрязненности кромок изделия, длинной дуги, влажности обмазки и флюсов, вредных примесей и влаги в защитных газах и т. п. Размеры пор колеблются от микроскопических до 2–3 мм в диаметре. Поры снижают прочность и плотность швов. В малом количестве поры могут не влиять на работоспособность соединений.

Шлак (шлаковые включения) обычно появляются вследствие плохой зачистки кромок от окалина и ржавчины, а чаще от плохой зачистки шлака при многослойной сварке. Значительные по величине и острые включения могут вызывать местную концентрацию напряжений, а также снижать прочность соединений. Микроскопические шлаковые включения – загрязнения в виде нитридов, фосфидов, сульфидов, легкоплавких эвтектик, окиси железа – снижают пластичность швов. Небольшие округлые включения обычно не опасны.

Металлические включения имеют место при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом и обычно состоят из частичек вольфрама.

Непровары представляют собой несплошности значительной величины (раскрытия) на границах между основным и наплавленным металлом или не заполненные металлом полости в сечении шва. Встречаются непровары по кромкам, по сечению и в корне шва. Непровары образуются при загрязнении кромок, неправильной подготовке кромок, неправильном или неустойчивом режиме сварки и т. п. Непровары могут снизить работоспособность соединения за счет ослабления рабочего сечения шва, кроме того, острые непровары могут создать концентрацию напряжений в шве.

Трещины считают самым опасным дефектом сварки. Они могут быть микро- и макроскопическими, а в зависимости от происхождения — горячими и холодными.

Горячие трещины при сварке образуются в процессе затвердевания металла, вследствие резкого снижения пластических свойств металла в этом интервале температур и развития растягивающих деформаций.

Холодные трещины образуются в результате протекания фазовых превращений, приводящих к снижению прочностных свойств металла, и воздействия сварочных напряжений. Холодные трещины могут образовываться как на этапе завершения охлаждения, так во время вылеживания сварных конструкций в течение некоторого периода времени после сварки.

Иногда трещины развиваются в процессе эксплуатации вследствие раскрытия сварочных микротрещин, а также зарождения разрушения металла от надрезов, вызванных непроваром, шлаковыми включениями и прочими дефектами.

Трещины могут быть продольными и поперечными и располагаться в металле шва или в зоне термического влияния.

Трещины вследствие своей чрезвычайной опасности — недопустимый дефект. Сварные соединения с трещинами, как правило, подлежат исправлению. Однако в связи с развитием науки о прочности появились воззрения о допустимости некоторых трещин в тех случаях, когда имеются условия к прекращению их роста. Критические размеры таких трещин рассчитывают на основе уравнений линейной механики разрушения и специальных экспериментов.

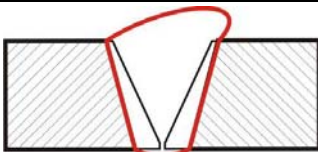
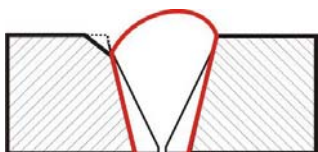
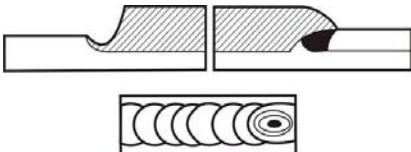
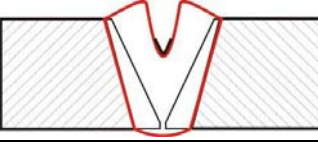
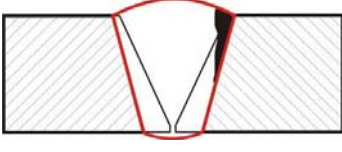
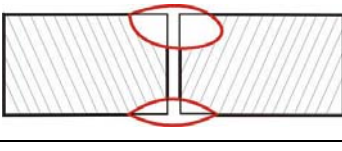
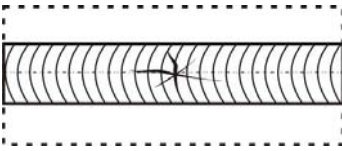
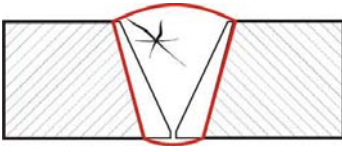
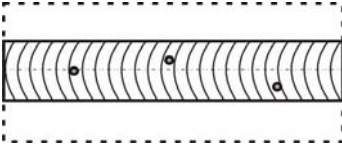
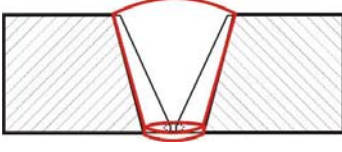
Несплавления (слипания) представляют собой несплошности малого раскрытия на свариваемых поверхностях или кромках материала. Несплавления — очень опасные дефекты, плохо выявляемые современными средствами дефектоскопии. Наибольшее распространение этот дефект имеет при аргонодуговой сварке алюминиево-магниевого сплавов, а также при контактной стыковой сварке.

Основные дефекты сварных соединений и причины их возникновения приведены в таблице 6.1.

Все указанные выше дефекты встречаются главным образом при сварке плавлением. При сварке с давлением и пайке возникают дефекты, которые по своему характеру отличаются от перечисленных. В то же время шлаки, подрезы, наплывы и кратеры обычно отсутствуют. Наиболее часты и опасны несплавления, которые при сварке с давлением и пайке действительно носят характер слипания или склеивания.

Таблица 6.1

Основные дефекты сварных соединений и причины их возникновения

Наплыв		Смещение электрода относительно оси разделки
Подрез		Большая величина сварочного тока
Кратер. Усадочная раковина		Большая величина сварочного напряжения
Прожог		Большая величина сварочного тока, большой зазор
Непровар		Загрязнение кромки основного металла
		Малая величина сварочного тока, маленький зазор
Трещина		Малая пластичность основного металла, несоответствие марки электрода
		
Поры		Загрязненность основного и сварочного материала
Шлаковые включения		Плохая зачистка сварочного металла

При стыковой, точечной и шовной контактной сварке типичные дефекты: пережог металла, непровары, несплавления, пористость, кольцевые и продольные трещины. Эти дефекты вызываются нарушением технологии сварки (слишком большой или малый ток, неправильное давление и скорость осадки, неоптимальная продолжительность выдержки под током и т. д.). Все эти дефекты могут значительно снижать работоспособность соединений. Выявлять дефекты сварки с давлением обычно значительно сложнее, чем дефекты сварки плавлением (РД 03-606–03).

Качество сварных соединений обеспечивают предварительным контролем материалов и заготовок, текущим контролем процесса сварки и приемочным контролем готовых сварных соединений.

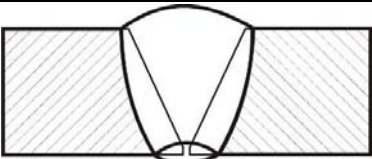
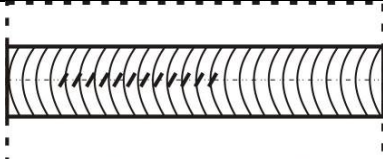
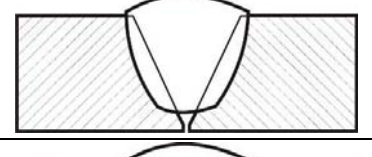
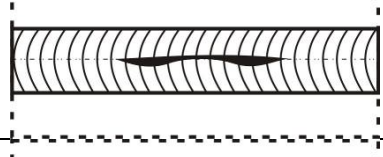
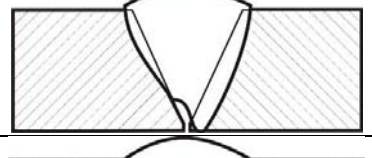
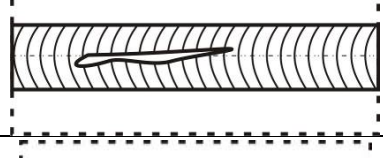
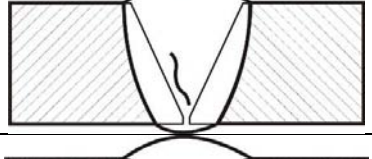
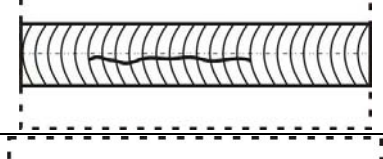
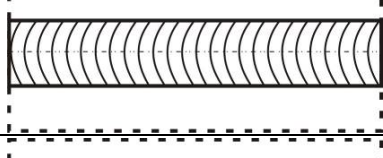
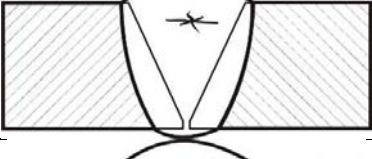
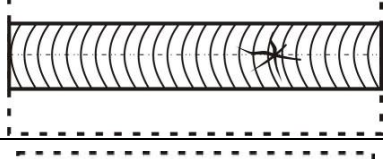
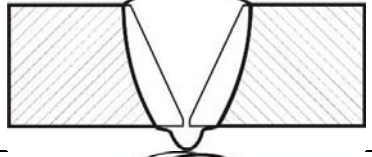
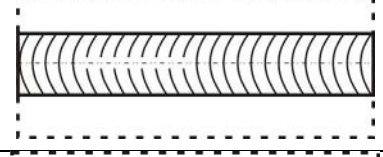
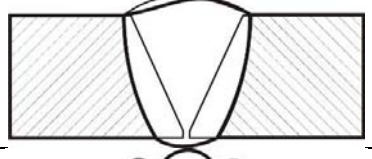
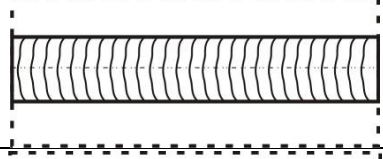
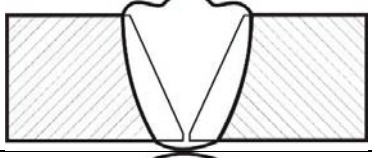
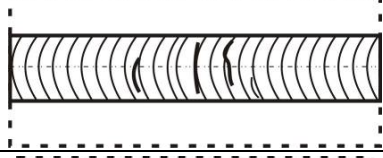
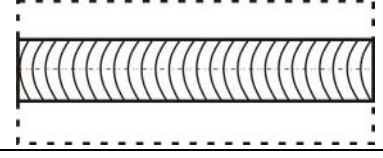
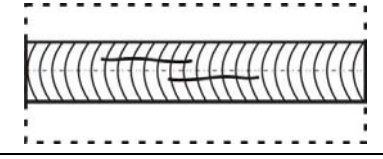
В таблице 6.2 приведены схематические изображения дефектов.

Таблица 6.2

Схематические изображения дефектов

Наименование дефекта	Схематическое изображение дефектов	
	По сечению соединения	С поверхности соединения
Дефект (одиночный)		
Цепочка дефектов		
Скопление дефектов		
Несплавление		
Непровар в корне двустороннего шва		

Продолжение таблицы 6.2

Непровар в корне одностороннего шва без подрезом		
Непровар в корне одно- стороннего шва с подре- зом		
		
Трещина продольная		
Трещина поперечная		
Трещина радиальная		
Чрезмерный провар корня		
Неровности шва		
		
Подрезы		
		

6.3 Требования, предъявляемые к выполнению сварочных работ

6.3.1 Общие положения

1. При производстве сварочных работ необходимо соблюдать требования СНиП III-4-80* «Техника безопасности в строительстве», а также «Правил пожарной безопасности при проведении сварочных и других огневых работ на объектах народного хозяйства», СанПиН 1009–73 «Санитарные правила при сварке, наплавке и резке металлов».

2. Руководство сварочными работами должно осуществлять лицо, имеющее документ о специальном образовании или подготовке в области сварки. Сварочные работы следует производить по утвержденному проекту производства сварочных работ (ППСР) или другой технологической документации.

3. Сварку и прихватку должны выполнять электросварщики, имеющие удостоверение на право производства сварочных работ, выданное в соответствии с утвержденными Правилами аттестации сварщиков. К сварке конструкций из сталей с пределом текучести более 390 МПа (40 кгс/мм²) допускаются сварщики, имеющие удостоверение на право работ по сварке этих сталей.

4. При наличии соответствующего требования в проекте производства сварочных работ или технологической документации на монтажную сварку стыковых соединений данной конструкции каждый сварщик предварительно должен сварить пробные стыковые образцы. Сварку образцов следует производить из того же вида проката (марки стали, толщины), в том же пространственном положении и при использовании тех же режимов, материалов и оборудования, что и при выполнении монтажных сварных соединений.

5. Размеры пластин для пробных образцов стальных конструкций, а также форма и размеры образцов для механических испытаний, изготавливаемых из сваренного пробного образца после внешнего осмотра и измерения стыкового шва, должны соответствовать ГОСТ 6996–66.

Размеры заготовок стержней для пробных образцов арматуры железобетонных конструкций должны соответствовать требованиям ГОСТ 10922–75.

6. Механические испытания стыкового сварного соединения пробного образца для стальных конструкций необходимо проводить согласно ГОСТ 6996–66. При неудовлетворительных результатах механических испытаний разрешается повторная сварка пробных образцов под наблюдением руководителя сварочных работ.

7. В случае необходимости выполнения сварки стальных конструкций при температуре воздуха ниже минус 30 °С сварщики должны предварительно сварить пробные стыковые образцы при температуре не выше

указанной. При удовлетворительных результатах механических испытаний пробных образцов сварщик может быть допущен к работе при температуре воздуха на 10 °С ниже температуры сварки пробных образцов.

8. Свариваемые поверхности конструкции и рабочее место сварщика следует защищать от дождя, снега, ветра. При температуре окружающего воздуха ниже минус 10 °С необходимо иметь вблизи рабочего места сварщика инвентарное помещение для обогрева, при температуре ниже минус 40 °С – оборудовать тепляк.

9. Колебания напряжения питающей сети электрического тока, к которой подключено сварочное оборудование, не должны превышать $\pm 5\%$ номинального значения. Оборудование для автоматизированной и ручной многопостовой сварки следует питать от отдельного фидера.

10. Сварочные материалы (покрытые электроды, порошковая проволока, сварочная проволока сплошного сечения, плавленые флюсы) должны соответствовать требованиям ГОСТ 9467–75, ГОСТ 26271–84, ГОСТ 2246–70 и ГОСТ 9087–87*.

11. При входном контроле сварочных материалов следует установить наличие сертификатов или паспортов предприятия-поставщика.

При отсутствии сертификатов на сварочные материалы или истечении гарантийного срока их хранения необходимо определять механические свойства стыковых сварных соединений, выполненных с применением этих материалов. Сварные стыковые образцы следует испытывать на статическое растяжение, статический и ударный изгиб при температуре 20 °С в соответствии с ГОСТ 6996–66 и в количестве, указанном в п. 6.

12. Сварочные материалы (электроды, проволока, флюсы) необходимо хранить на складах монтажных организаций в заводской таре отдельно по маркам, диаметрам и партиям. Помещение склада должно быть сухим, с температурой воздуха не ниже 15 °С.

13. Покрытые электроды, порошковая проволока и флюсы перед употреблением необходимо прокалить по режимам, указанным в технических условиях, паспортах, на этикетках или бирках заводов-изготовителей сварочных материалов. Сварочную проволоку сплошного сечения следует очищать от ржавчины, жировых и других загрязнений. Прокаленные сварочные материалы следует хранить в сушильных печах при 45–100 °С или в кладовых-хранилищах с температурой воздуха не ниже 15 °С и относительной влажностью не более 50 %.

14. Сварщик должен ставить личное клеймо на расстоянии 40–60 мм от границы выполненного им шва сварного соединения: при выполнении одним сварщиком – в одном месте, несколькими сварщиками – в начале и в конце шва. Взамен постановки клейм в соответствии с требованиями СП 70.13330–2012 «Несущие и ограждающие конструкции» допускается составление исполнительных схем с подписями сварщиков.

6.3.2 Сборка и сварка монтажных соединений металлоконструкций

1. Сварку конструкций при укрупнении и в проектном положении следует производить после проверки правильности сборки.

2. Размеры конструктивных элементов кромок и швов сварных соединений, выполненных при монтаже, и предельные отклонения размеров сечения швов сварных соединений должны соответствовать требованиям, указанным в ГОСТ 5264–80, ГОСТ 11534–75, ГОСТ 8713–79, ГОСТ 11533–75, ГОСТ 14771–76, ГОСТ 15164–78, ГОСТ 23518–79.

3. Кромки свариваемых элементов в местах расположения швов и прилегающие к ним поверхности шириной не менее 20 мм при ручной или механизированной дуговой сварке и не менее 50 мм при автоматизированных видах сварки, а также места примыкания начальных и выводных планок необходимо зачищать с удалением ржавчины, жиров, краски, грязи, влаги и т. п. В конструкциях из сталей с пределом текучести более 390 МПа (40 кгс/мм^2), кроме того, следует зачищать места приварки и примыкающие поверхности приспособлений.

4. Сварку надлежит производить при стабильном режиме. Предельные отклонения заданных значений силы сварочного тока и напряжения на дуге при автоматизированной сварке не должны превышать $\pm 5 \%$.

5. Число прокаленных сварочных материалов на рабочем месте сварщика не должно превышать полусменной потребности. Сварочные материалы следует содержать в условиях, исключающих их увлажнение. При сварке конструкций из сталей с пределом текучести более 390 МПа (40 кгс/мм^2) электроды, взятые непосредственно из прокалочной или сушильной печи, необходимо использовать в течение двух часов.

6. Ручную и механизированную дуговую сварку конструкций разрешается выполнять без подогрева при температуре окружающего воздуха $\sim 5^\circ\text{C}$. При более низких температурах сварку надлежит производить с предварительным местным подогревом стали до $120\text{--}160^\circ\text{C}$ в зоне шириной 100 мм с каждой стороны соединения.

7. Места приварки монтажных приспособлений к элементам конструкций из стали толщиной более 25 мм с пределом текучести 440 МПа (45 кгс/мм^2) и более необходимо предварительно подогреть до $120\text{--}160^\circ\text{C}$.

8. Автоматизированную дуговую сварку под флюсом разрешается производить без подогрева при температуре окружающего воздуха $\sim 20^\circ\text{C}$.

При температуре $\sim 20^\circ\text{C}$ автоматизированную сварку под флюсом надлежит производить с предварительным местным подогревом до $120\text{--}160^\circ\text{C}$.

9. Автоматизированную электрошлаковую сварку элементов независимо от их толщины в конструкциях из низколегированных или углеродистых сталей допускается выполнять без предварительного подогрева при температуре воздуха до минус 65°C .

10. В конструкциях, возводимых или эксплуатируемых в районах с расчетной температурой ниже минус 40 °С и до минус 65 °С включительно (при строительстве в климатических районах I₁, I₂, II₂ и II₃ согласно ГОСТ 16350–80), механизированную вышлифовку, кислородную и воздушно-дуговую поверхностную резку участков сварных швов с дефектами, а также заварку восстанавливаемого участка при температуре ~5 °С следует выполнять после подогрева зоны сварного соединения до 120–160 °С.

11. Швы соединений листовых объемных и сплошностенчатых конструкций толщиной более 20 мм при ручной дуговой сварке надлежит выполнять способами, обеспечивающими уменьшение скорости охлаждения сварного соединения (секционным обратноступенчатым, секционным двойным слоем, каскадом, секционным каскадом).

12. При двусторонней ручной или механизированной дуговой сварке стыковых, тавровых и угловых соединений с полным проплавлением необходимо перед выполнением шва с обратной стороны удалить его корень до чистого бездефектного металла.

13. При вынужденном перерыве в работе механизированную дуговую или автоматизированную дуговую сварку под флюсом разрешается возобновить после очистки от шлака кратера и прилегающего к нему концевой участка шва длиной 50–80 мм. Этот участок и кратер необходимо полностью перекрыть швом.

14. Придание угловым швам вогнутого профиля и плавного перехода к основному металлу, а также выполнение стыковых швов без усиления (если это предусмотрено чертежами КМД) следует обеспечивать подбором режимов сварки, соответствующих пространственному расположению свариваемых элементов конструкций (при укрупнении), или механизированной зачисткой абразивным инструментом.

15. Начало и конец шва стыковых, угловых и тавровых соединений, выполняемых автоматизированными видами сварки, надлежит выводить за пределы свариваемых элементов на начальные и выводные планки. После окончания сварки планки должны быть удалены кислородной резкой. Места, где были установлены планки, необходимо зачистить абразивным инструментом. Применение начальных и выводных планок при ручной и механизированной дуговой сварке должно быть предусмотрено в чертежах КМД. Не допускается возбуждать дугу и выводить кратер на основной металл за пределы шва.

16. Каждый последующий валик (слой) многослойного шва сварного соединения надлежит выполнять после тщательной очистки предыдущего валика (слоя) от шлака и брызг металла. Участки шва с трещинами следует удалять до наложения последующих слоев.

17. Поверхности свариваемой конструкции и выполненных швов сварных соединений после окончания сварки необходимо очищать от шлака, брызг и наплывов (натеков) расплавленного металла.

Приваренные сборочные и монтажные приспособления надлежит удалять без повреждения основного металла и применения ударных воздействий. Места их приварки необходимо зачистить заподлицо с основным металлом, недопустимые дефекты исправить.

Необходимость удаления сборочных болтов в монтажных сварных соединениях после окончания сварки определяет монтажная организация.

18. Согласно требованиям СП 70.13330–2012, качество прихваток, сварных соединений креплений сборочных и монтажных приспособлений, определяемое внешним осмотром, должно быть не ниже качества основных сварных соединений.

7 ВИЗУАЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Комплекс методов неразрушающего контроля, применяемых, как правило, при приемке сварных соединений, включает визуально-измерительный контроль.

Визуальный контроль – это проверка соответствия нормативному документу тех параметров объекта контроля, которые могут быть обнаружены и оценены с помощью несложных оптических и измерительных средств, т. е. орган зрения оператора, его глаз, выступает в роли регистрирующего прибора. Например, провести визуальный контроль готового сварного соединения – значит осмотреть его, зафиксировать все недостатки внешнего вида и формы, все несплошности, сопоставить их с соответствующими требованиями нормативного документа на данное сварное соединение, принять решение о соответствии (или несоответствии) требованиям НТД и задокументировать результаты контроля в соответствии с требованиями РД 03-606–03 и ГОСТ 15467–79.

Визуально-измерительным контролем называется контроль, который проводится путем осмотра объекта невооруженным глазом или с применением несложных оптических и измерительных средств: зеркал и луп, линеек и штангенциркуля.

Визуальный и измерительный контроль при оценке состояния материала и сварных соединений строительных металлоконструкций в процессе эксплуатации технических устройств и сооружений выполняют в соответствии с требованиями руководящих документов.

Порядок выполнения визуального и измерительного контроля

При подготовке деталей под сварку необходимо контролировать:

- наличие маркировки и (или) документации, подтверждающей приемку полуфабрикатов, деталей, сборочных единиц и изделий при входном контроле;

- наличие маркировки изготовителя материала на деталях, подготовленных под сварку;

- наличие удаления механическим путем зоны термического влияния в месте термической (огневой) резки заготовок (необходимость должна быть указана в конструкторской или технологической документации);

- геометрическую форму обработанных кромок, в том числе при подготовке деталей с различной номинальной толщиной стенки;

- геометрическую форму обработанных внутренних поверхностей кольцевых деталей;

- форму подкладных пластин (колец) и расплавляемых вставок;

- наличие заварки разъема подкладной пластины (кольца), качество шва заварки подкладной пластины (кольца), а также наличие зачистки шва заварки разъема подкладной пластины (кольца);

- чистоту (отсутствие визуально наблюдаемых загрязнений, пыли, продуктов коррозии, влаги, масла и т. п.) подлежащих сварке (наплавке) кромок и прилегающих к ним поверхностей, а также подлежащих неразрушающему контролю участков материала.

В выполненном сварном соединении визуально следует контролировать:

- отсутствие/наличие поверхностных трещин всех видов и направлений;

- отсутствие/наличие на поверхности сварных соединений дефектов (пор, включений, скоплений пор и включений, отслоений, прожогов, свищей, наплывов, усадочных раковин, подрезов, непроваров, брызг расплавленного металла, западаний между валиками, грубой чешуйчатости, а также мест касания сварочной дугой поверхности основного материала);

- качество зачистки металла в местах приварки временных технологических креплений, гребенок индуктора и бобышек крепления термоэлектрических преобразователей (термопар), а также отсутствие поверхностных дефектов в местах зачистки;

- качество зачистки поверхности сварного соединения изделия (сварного шва и прилегающих участков основного металла) под последующий контроль неразрушающими методами (в случае если такой контроль предусмотрен ПТД);

- наличие маркировки (клеймения) шва и правильность ее выполнения;

- размеры поверхностных дефектов (пор, включений и др.), выявленных при визуальном контроле;

- высоту и ширину шва, а также вогнутость и выпуклость обратной стороны шва в случае доступности обратной стороны шва для контроля;

- высоту (глубину) углублений между валиками (западания межваликовые) и чешуйчатости поверхности шва;

- подрезы (глубину и длину) основного металла;

- отсутствие непроваров (за исключением конструктивных непроваров) с наружной и внутренней стороны шва;

- размеры катета углового шва;
- отсутствие переломов осей сваренных цилиндрических элементов.

Измеряемые параметры и требования к выполнению измерительного контроля сварных швов приведены на рисунке 7.1 и в таблице 7.1.

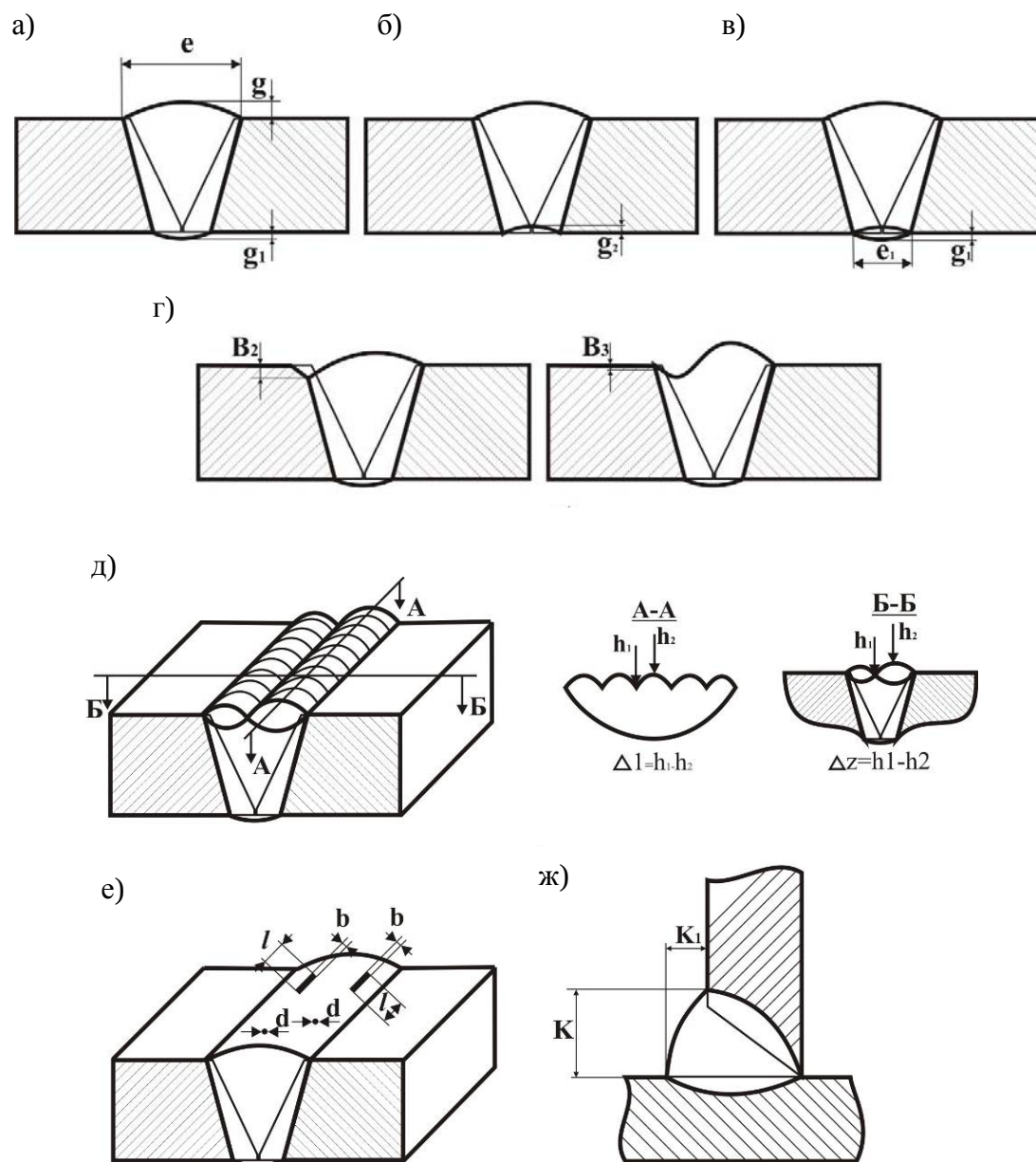


Рис. 7.1. Конструктивные элементы и дефекты сварного шва, подлежащие измерительному контролю:

а, б – размеры (ширина, высота) стыкового одностороннего шва с наружной и внутренней стороны; в – то же двухстороннего сварного шва; г – подрез и неполное заполнение разделки кромок; д – чешуйчатость (Δ_1) шва и западание между валиками шва (Δ_2); е – размеры поверхностных включений (диаметр d_g ; длина l_g ; ширина b_g включения); ж – размеры катета шва углового (таврового, нахлесточного) соединения

В соответствии с требованиями РД 03-606–03 измерительный контроль геометрических размеров сварного соединения (конструктивных элементов сварных швов, геометрического положения осей или поверхностей сваренных деталей, углублений между валиками и чешуйчатости поверхности шва, выпуклости и вогнутости корня односторонних швов и т. д.) следует проводить в местах, указанных в рабочих чертежах, НД, ПТД или ПДК, а также в местах, где допустимость указанных показателей вызывает сомнения по результатам визуального контроля.

Таблица 7.1

Требования к измерениям сварных швов

Контролируемый параметр	Условное обозначение (рис. 7.1)	Номер рисунка	Средства измерений. Требования к измерениям
Ширина шва	e, e_1	1, а, в	Штангенциркуль или шаблон универсальный
Высота шва	g, g_1	1, а, в	То же
Выпуклость обратной стороны шва	g_1	1, а, в	Штангенциркуль
Вогнутость обратной стороны шва	g_2	1, б	Штангенциркуль, в том числе модернизированный (рис. 7.3) Измерения в 2–3 местах в зоне максимальной величины
Глубина подреза (неполного заполнения разделки)	B_2, B_3	1, г	Штангенциркуль, в том числе модернизированный (рис. 7.3) Приспособление для измерения глубины подрезов (рис. 7.4)
Катет углового шва	K, K_1	1, ж	Штангенциркуль или шаблон
Чешуйчатость шва	Δ_1	1, д	Штангенциркуль, в том числе модернизированный (рис. 7.3) Измерения не менее чем в 4 точках по длине шва
Глубина западаний между валиками	Δ_2	1, д	То же
Размеры (диаметр, длина, ширина) одиночных несплошностей	d_g, l_g, b_g	1, е	Лупа измерительная. Измерению подлежит каждая несплошность

При контроле стыковых сварных соединений труб наружным диаметром до 89 мм включительно с числом однотипных соединений более 50 на одном изделии допускается определение размеров шва выполнять на 10–20 % соединений в одном-двух сечениях при условии, что при визуальном контроле, которому подвергают все соединения, нет сомнений в части отклонения размеров (ширины, высоты) шва от допуска.

При контроле угловых швов сварных соединений катеты сварного шва измеряют с помощью специальных шаблонов (рис. 7.2). Определение размеров высоты, выпуклости и вогнутости углового шва выполняется расчетным путем и только в тех случаях, когда это требование предусмотрено конструкторской документацией. Измерение выпуклости, вогнутости и высоты углового шва проводится с помощью шаблонов, например шаблоном В. Э. Ушера–Маршака.

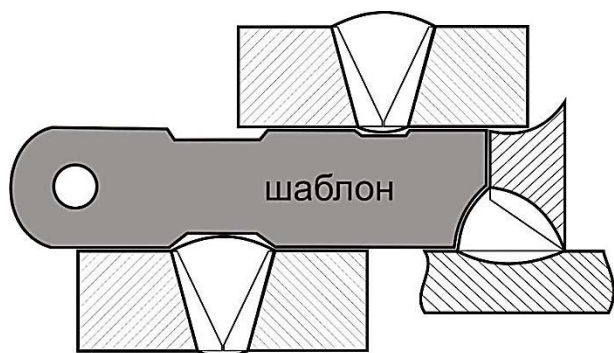


Рис. 7.2. Специальный шаблон для контроля сварных швов

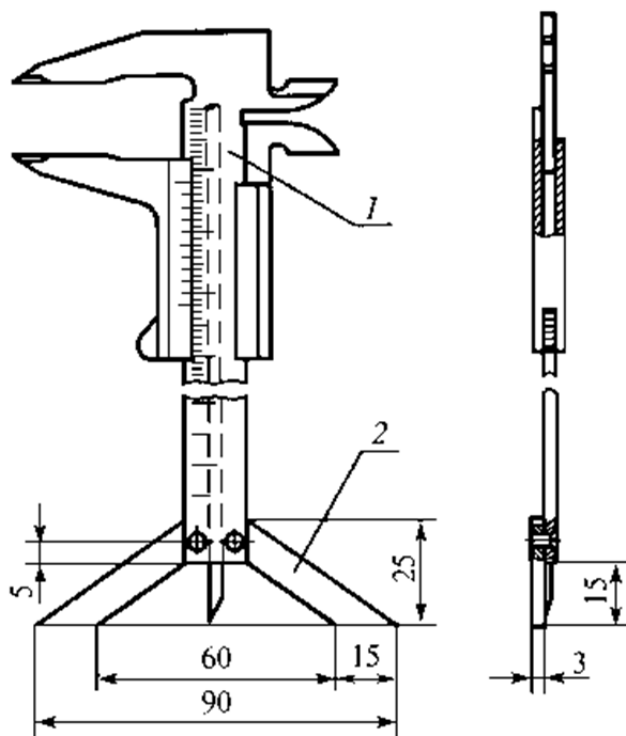


Рис. 7.3. Штангенциркуль типа ШЦ-1 с опорой:
1 – штангенциркуль; 2 – опора

Измерение глубины западаний между валиками при условии, что высоты валиков отличаются друг от друга, выполняют относительно валика, имеющего меньшую высоту. Аналогично определяют и глубину чешуйчатости валика (по меньшей высоте двух соседних чешуек).

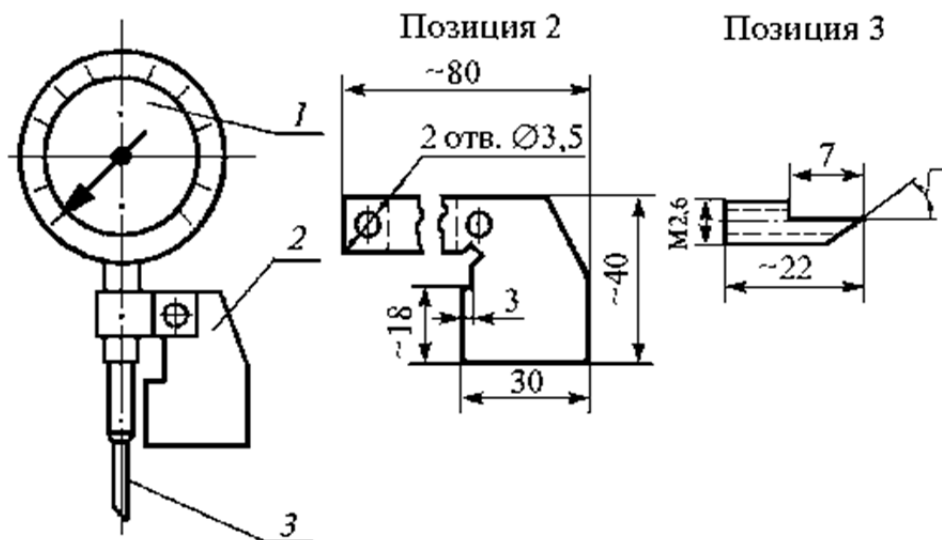


Рис. 7.4. Приспособление для измерения глубины подрезов:
1 – индикатор "0–10" с поворотной шкалой; 2 – опорный кронштейн;
3 – измерительная игла

Измерительный контроль сварных соединений и наплавов (высоту и ширину сварного шва, толщину наплавки, размеры катетов угловых швов, западания между валиками, чешуйчатость шва, выпуклость и вогнутость корневого шва, величину перелома осей соединяемых цилиндрических элементов, форму и размеры грата и т. д.) следует выполнять на участках шва, где допустимость этих показателей вызывает сомнение по результатам визуального контроля, если в НД и ПТД не содержится других указаний.

Выпуклость (вогнутость) стыкового шва оценивается по максимальной высоте (глубине) расположения поверхности шва от уровня расположения наружной поверхности деталей. В том случае, когда уровни поверхностей деталей одного типоразмера (диаметр, толщина) отличаются друг от друга, измерения следует проводить относительно уровня поверхности детали, расположенной выше уровня поверхности другой детали (рис. 7.5).

В том случае, когда выполняется сварка деталей с различной толщиной стенки и уровень поверхности одной детали превышает уровень поверхности второй детали, оценку выпуклости (вогнутости) поверхности шва выполняют относительно линии, соединяющей края поверхности шва в одном сечении (рис. 7.6).

Выпуклость (вогнутость) углового шва оценивается по максимальной высоте (глубине) расположения поверхности шва от линии, соединяющей края поверхности шва в одном поперечном сечении (рис. 7.7).

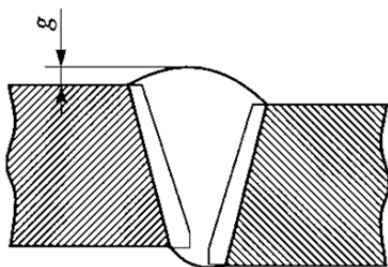


Рис. 7.5. Измерение выпуклости (вогнутости) стыкового шва (g) при различных уровнях наружных поверхностей деталей вследствие смещения при сборке соединения под сварку

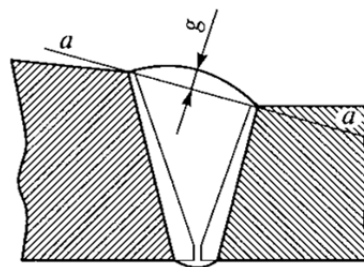


Рис. 7.6. Измерение выпуклости (вогнутости) стыкового шва (g) при различных уровнях наружных поверхностей деталей вследствие разницы в толщинах стенок

Размеры выпуклости (вогнутости) стыкового (рис. 7.6) и углового (рис. 7.7) швов определяются шаблонами или предназначенными для этой цели специализированными шаблонами.

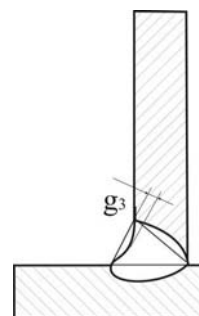
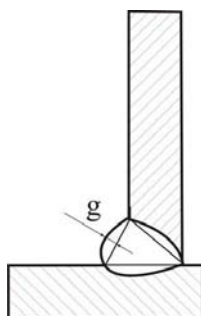


Рис. 7.7. Измерение выпуклости (g) и вогнутости (g_3) наружной поверхности

Выпуклость (вогнутость) корня шва оценивается по максимальной высоте (глубине) расположения поверхности корня шва от уровня расположения внутренних поверхностей сваренных деталей. В том случае, когда уровни внутренних поверхностей разные, измерения выпуклости (вогнутости) корня шва следует проводить согласно рисунку 7.8.

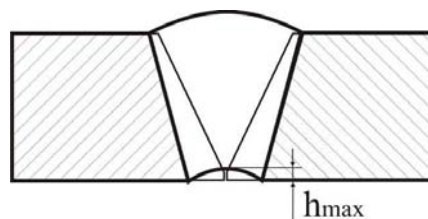
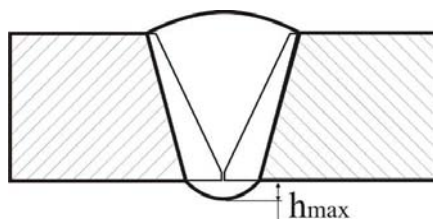
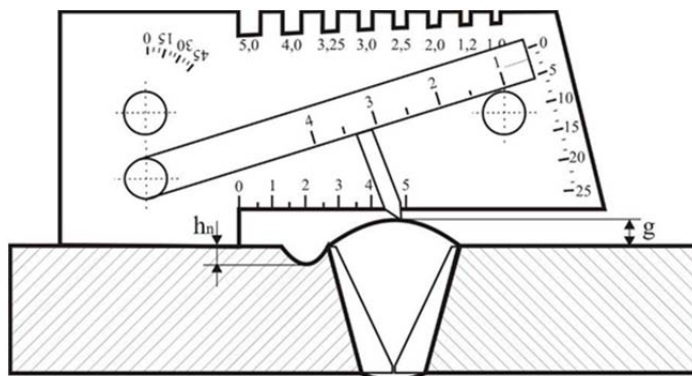
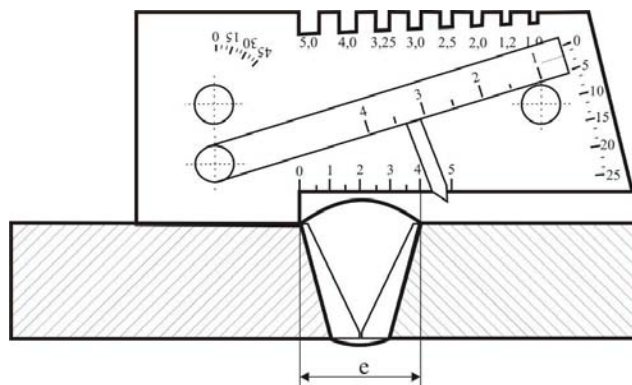


Рис. 7.8. Измерение выпуклости ($h_{\max}$) и вогнутости ($h_{\max}$) корня шва стыкового одностороннего шва

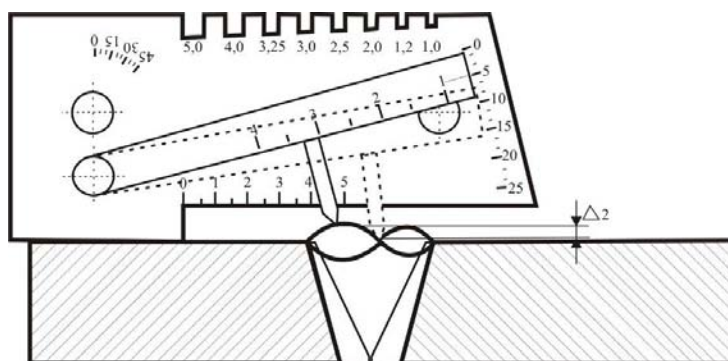
а)



б)



в)



г)

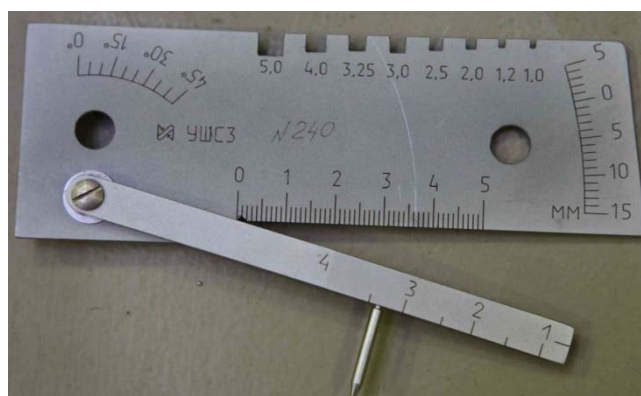


Рис. 7.9. Измерения с помощью шаблона УШС размеров сварного шва:
а – измерение высоты шва (g) и глубины подреза (h_n); б – измерение ширины шва (e); в – измерение западений между валиками (Δ_2); г – фотография УШС

Измерения чешуйчатости и западаний между валиками шва, глубины и высоты углублений (выпуклостей) в сварном шве и металле разрешается определять по слепку, снятому с контролируемого участка. Для этого применяют пластилин, воск, гипс и другие материалы. Измерения согласно требованиям РД 03-606–03 проводят с помощью измерительной лупы или на микроскопе после разрезки слепка механическим путем.

Измерения отдельных размеров сварного соединения с помощью универсального шаблона типа УШС приведены на рисунке 7.9.

8 УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Необходимость проведения ультразвукового контроля, объем контроля и размеры недопустимых дефектов устанавливаются в стандартах или технических условиях на продукцию. Контроль качества сварных швов ультразвуковыми методами контроля выполняют специалисты лаборатории (подразделения) контроля качества.

К выполнению ультразвукового контроля допускаются специалисты 1-го и 2-го уровней квалификации. Оценку качества сварных соединений по результатам контроля проводят специалисты 2-го уровня квалификации.

Квалификация дефектоскопистов проверяется наличием у них удостоверений (сертификатов) 1-го и 2-го уровня квалификации на право выполнения ультразвукового контроля сварных соединений конструкций. Переаттестация дефектоскопистов должна производиться в соответствии с действующими правилами аттестации специалистов по неразрушающему контролю согласно требованиям СП 70.13330–2012.

Для обеспечения надежности и достоверности контроля на объекте должны быть созданы нормальные условия для работы дефектоскопистов. При проведении контроля:

- рабочее место должно быть защищено от осадков и ветра;
- около места контроля не должно быть ярких источников света или должна быть обеспечена защита от ярких световых потоков;
- около места контроля не должны проводиться работы, загрязняющие воздух или вызывающие вибрацию контролируемого соединения;
- освещённость контролируемых поверхностей должна быть достаточной для надёжного выявления дефектов и соответствовать требованиям ГОСТ 23479, но в любом случае должна быть не менее 300 лк;
- должны быть приняты меры к защите экрана дефектоскопа при работе в дневное время или при основном искусственном освещении от попадания прямого света;

- на месте контроля должны быть созданы температурные условия, необходимые для проведения контроля;
- сварные соединения должны быть подготовлены к неразрушающему контролю с требуемым качеством;
- при необходимости должны быть оборудованы леса или подмости, обеспечивающие удобное взаимное расположение дефектоскописта, аппаратуры и контролируемого соединения;
- должен быть обеспечен доступ ко всему контролируемому соединению

При оптимальных условиях контроля температура воздуха на рабочем месте должна быть не ниже +5 °С и не выше +30 °С.

В условиях монтажа ультразвуковой контроль допускается производить на открытом воздухе при температуре от минус 5 °С до +35 °С.

В холодный период года контроль сварных монтажных соединений должен проводиться в тепляках, в которых поддерживается температура воздуха, допустимая для выполнения монтажной сварки.

В жаркий период рабочее место дефектоскописта должно быть защищено от солнца навесами. Температура металла контролируемого сварного соединения в зоне перемещения пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) должна составлять не выше +40 °С.

Ультразвуковому контролю подлежат сварные соединения, удовлетворяющие требованиям для проведения ультразвукового контроля:

- соотношение ширины валиков усиления в стыковом соединении и толщины металла обеспечивает условие прозвучивания;
- сварное соединение доступно для контроля на всей длине, предусмотренной проектной документацией;
- имеется свободный доступ к околошовной зоне (зоне контроля) шва шириной не менее 200 мм с обеих сторон одной из плоскостей соединения;
- с противоположной поверхности сварного шва в зоне контроля отсутствуют приваренные элементы, а также подрезы, вмятины, прожоги, поры, трещины, неровности валика усиления и другие неровности, которые могут привести к появлению помех.

Сварные соединения, в которых соотношение ширины валика и толщины свариваемых листов не соответствует ГОСТу и, соответственно, не позволяет контролировать сечения шва акустической осью луча типовых ПЭП, проверяют ультразвуковой дефектоскопией с применением специальных искателей или ультразвуковой дефектоскопией по типовой методике после зачистки усиления валиков шва заподлицо с основным металлом.

Сварные соединения, представляемые на контроль, должны быть обработаны в объемах, предусмотренных чертежами КМД, должны быть

очищены от брызг металла, отслаивающейся окалины, краски, грязи и пыли по всей длине контролируемых участков. Шероховатость поверхности при механической обработке зон контроля должна быть не ниже $Rz = 40$ мкм по ГОСТ 2789–73.

Сварные соединения не должны иметь поверхностных дефектов, необработанных допустимых подрезов и превышения ширины валика (размеров катетов) над установленной соответствующим стандартом, наплывов и резких перепадов, создающих отражения ультразвуковых колебаний и не позволяющих выявить дефекты.

Швы, имеющие недопустимые наружные дефекты или некачественную подготовку, не контролируются и возвращаются на доработку.

Дополнительные требования к подготовке соединений под контроль, предъявляемые представителями лаборатории контроля качества, включая повторную зачистку зоны перемещения ПЭП при неудовлетворительном для ультразвукового контроля состоянии поверхности проката, а также дополнительную зачистку заподлицо с основным металлом валика шва в корне стыкового одностороннего соединения листов толщиной менее 20 мм и усиления валиков в местах пересечения швов металла любой толщины, должны выполняться работниками организации, предъявляющей соединения на контроль.

Ультразвуковой контроль сварных соединений выполняют с использованием ультразвуковых дефектоскопов типа УД2-12, УД2-70 УД2-140 (рис. 8.1) и других.



Рис. 8.1. Ультразвуковой дефектоскоп типа УД2-140

В комплект аппаратуры для контроля сварных соединений, кроме дефектоскопа, должны входить:

- государственные стандартные образцы СО-2 и СО-3 по ГОСТ 14782;
- стандартные образцы предприятия;
- лупа усилением $\times 4$ – $\times 7$, электрический фонарь, металлическая линейка, рулетка, катетометры и измерители для внешнего осмотра и измерения размеров сварного соединения;
- шабер, металлическая щетка, обтирочный материал для очистки сварного соединения, емкость с контактирующей жидкостью и кисти для обеспечения акустического контакта;
- краска или маркер светлого яркого цвета для обозначения на контролируемом соединении дефектных мест.

Периодической проверке подлежат, основные параметры аппаратуры и контроля [11], [12].

Условная чувствительность по СО-2 (или СО-ЗР) выражается разностью в децибелах между показанием аттенюатора при данной настройке дефектоскопа и показанием, соответствующим максимальному ослаблению, при котором цилиндрическое отверстие диаметром 6 мм на глубине 44 мм фиксируется индикаторами дефектоскопа. В соответствии с ГОСТ 14782–86 «Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые» измеряется через каждые 3 часа работы.

Мертвая зона – неконтролируемая зона, прилегающая к поверхности ввода (мм). В соответствии с ГОСТ 23829–85 «Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения» измеряется каждый раз при настройке условной чувствительности.

Угол ввода луча – угол между нормалью к поверхности объекта контроля, на которой установлен ПЭП, и линией, соединяющей центр цилиндрического отражателя с точкой выхода луча при установке ПЭП в положение, при котором амплитуда эхо-сигнала от отражателя наибольшая. В соответствии с требованиями ГОСТ 14782 измеряется в начале каждой смены и при смене ПЭП.

Точка выхода луча – точка пересечения акустической оси ПЭП с его рабочей поверхностью (мм). В соответствии с требованиями ГОСТ 23829 измеряется в начале смены, при смене ПЭП.

При необходимости проведения контроля в условиях изменяющихся температур (весна – осень) измерение угла ввода должно проводиться непосредственно на рабочем месте, перед контролем каждого шва или группы швов.

Дефектоскопы, применяемые при контроле, по своим эксплуатационным характеристикам должны соответствовать техническим характери-

стикам, указанным в их описаниях и паспортах. Применяемые при контроле ПЭП должны удовлетворять параметрам, приведенным в таблице 8.1. Уровень собственных шумов ПЭП должен быть ниже уровня максимальной условной чувствительности [12], [13], [14].

Таблица 8.1

Параметры, применяемые при контроле ПЭП

Угол призмы β , град	Угол ввода луча α , град	Частота f , МГц	Стрела n , мм, не более	Условная чувствительность $K_{\max}$ по СО-2, дБ
40	50 ± 2	$2,5 \pm 10 \%$	12	28
50	65 ± 2	$2,5 \pm 10 \%$	12	24

Проверка ПЭП и настройка дефектоскопа производится при помощи образцов, указанных в таблице 8.2.

Таблица 8.2

Образцы, применяемые при настройке дефектоскопов

Операция по настройке или проверке параметров	Используемые образцы
Определение (проверка) точки ввода луча ПЭП	Стандартный образец СО-3 по ГОСТ 14782–86
Определение (проверка) угла ввода луча	Стандартный образец СО-2 по ГОСТ 14782–86
Настройка чувствительности	Стандартный образец СО-2 по ГОСТ 14782–86 или испытательные образцы 1-го или 2-го вида по ОСТ 32100–87
Настройка глубиномера и его проверка	Стандартный образец СО-2 по ГОСТ 14782–86
Проверка «мертвой зоны»	Стандартный образец СО-2 по ГОСТ 14782–86 или испытательный образец 2-го вида по ОСТ 32100–87
Проверка аттенюатора	Стандартный образец СО-2 по ГОСТ 14782–86 БЦО дефектоскопа

8.1 Подготовка к ультразвуковому контролю сварных соединений

Перед ультразвуковым контролем произвести работы по визуально-измерительному контролю в соответствии со Стандартом предприятия по визуально-измерительному контролю РД 03-606–03, [12], [14].

Подготовка к контролю состоит из следующих операций:

- уточнения типа и маркировки соединения, подлежащего контролю;
- внешнего осмотра и измерения размеров соединения, необходимых для оценки соответствия условию прозвучиваемости;
- качества зачистки околошовной зоны для ультразвукового контроля;
- разметки сварного шва;
- выбора параметров сканирования;
- подготовки поверхности соединения или его участков, в пределах которых будут перемещаться ПЭП;
- размещения дефектоскопа у контролируемого соединения или группы расположенных рядом соединений;
- включения, проверки работоспособности и настройки дефектоскопа.

При внешнем осмотре соединения устанавливают или уточняют:

- длину контролируемого сварного соединения или его участка;
- толщину свариваемых листов;
- максимальную ширину b валика усиления шва;
- отсутствие недопустимых наружных дефектов, выходящих на поверхность шва или околошовной зоны.

При подготовке к контролю дефектоскопист должен убедиться в качественной подготовке поверхности околошовной зоны, в пределах которой будет перемещаться ПЭП (контактная поверхность).

Оценка условия прозвучиваемости швов основывается на требовании пересечения всего сечения наплавленного металла шва акустической осью диаграммы направленности ПЭП при выполнении контроля с двух сторон одной плоскости стыкового соединения как прямым, так и однократно отраженным лучом.

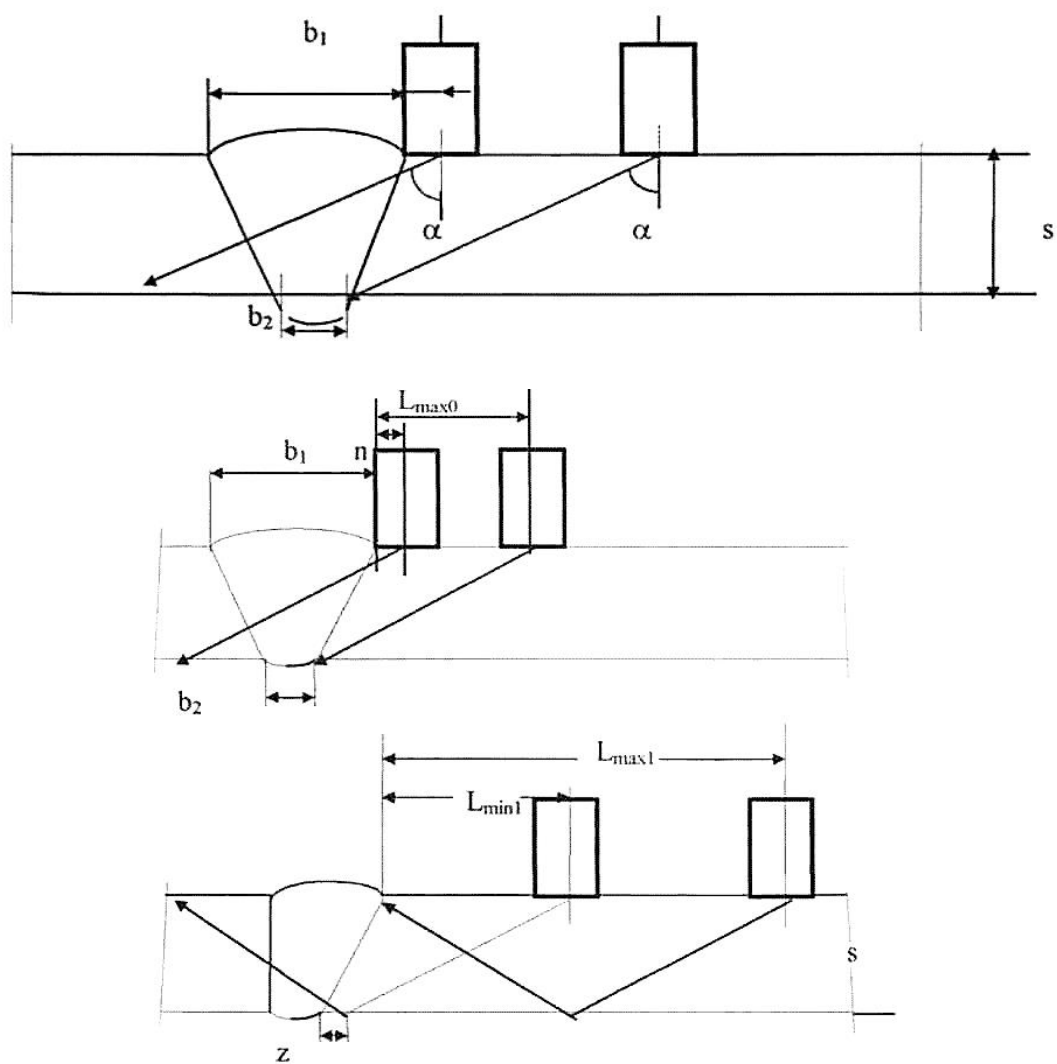
Условие прозвучиваемости стыковых сварных швов имеет следующий вид:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 \geq \frac{(0,5b_1 + m)}{0,5s} \quad \text{при } m = 0; \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 \geq \frac{(0,5b_2 + z)}{0,5s} \quad \text{при } m = 1. \quad (5)$$

При выполнении условия прозвучиваемости (4) центр сечения шва пересекается акустической осью как прямого, так и отраженного луча (рис. 8.2).

a)



б)

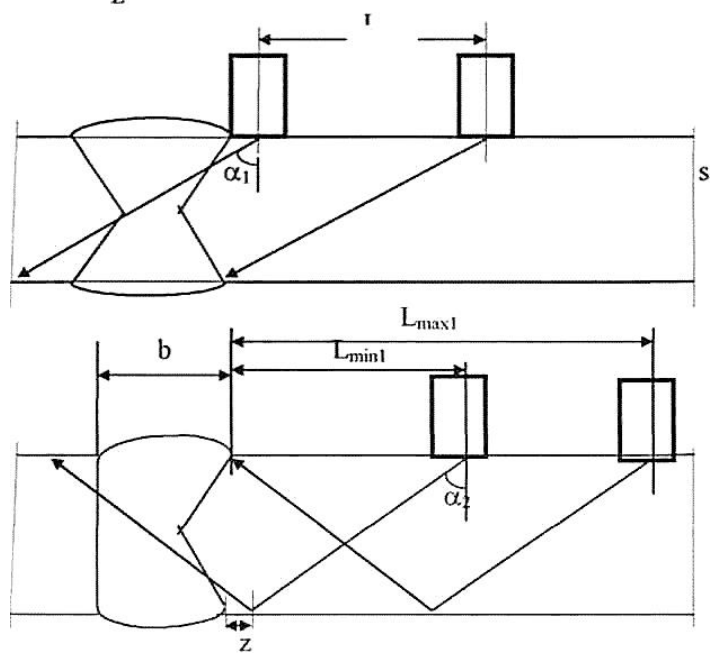


Рис. 8.2. Схема сканирования стыкового сварного шва:
а – с V и Y-образными разделками; б – с X- и K-образными разделками

Если условие прозвучиваемости (4) не выполняется, то следует оценить возможность прозвучивания центра сечения шва хотя бы одним способом, т. е. или прямым, или отраженным лучом (рис. 8.2). Условие (5) позволяет определить точку пересечения луча с центром сечения шва и оценить расстояние h от поверхности при контроле как прямым (h_1), так и отраженным (h_2) лучом:

$$h_1 + h_2 \leq s ; \quad (6)$$

$$h_1 \geq \frac{(0,5b_1 + n)}{\operatorname{tg} \alpha_1} \text{ при } m = 0. \quad (7)$$

8.2 Параметры ультразвукового контроля стыковых сварных швов

Выбору подлежат следующие параметры сканирования и контроля:

- способ прозвучивания (число отражений n), претерпеваемых ультразвуковым лучом до входа в металл шва (рис. 8.2);
- угол α ввода ультразвукового луча в металл;
- пределы $L_{\min}$ и $L_{\max}$ поперечного перемещения ПЭП;
- шаг сканирования Δ .

8.3 Параметры ультразвукового контроля тавровых сварных швов с полным проплавлением корня шва

Выбору подлежат следующие параметры сканирования и контроля (рис. 8.3):

- способ прозвучивания (число отражений n , претерпеваемых ультразвуковым лучом до входа в металл шва);
- угол α ввода ультразвукового луча в металл;
- пределы $L_{\text{ср}}$, L_1 , L_2 и L_3 поперечного перемещения ПЭП;
- шаг сканирования Δ .

При контроле швов с разной толщиной свариваемых листов параметры сканирования следует выбирать для листа меньшей толщины.

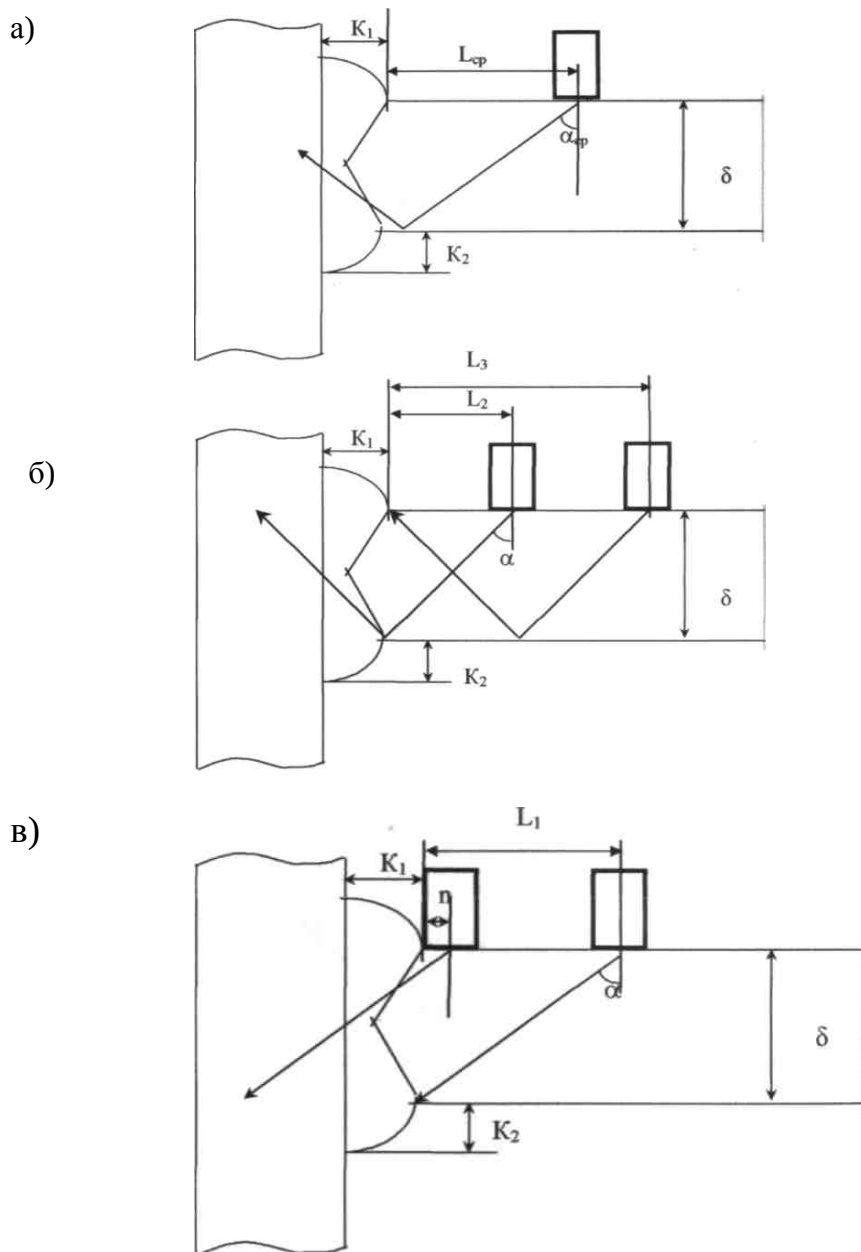


Рис. 8.3. Схемы прозвучивания тавровых швов:

а – контроль средней части шва на отсутствие непровара;

б – контроль верхней части сварного шва; в – контроль нижней части сварного шва

8.4 Проведение контроля

Дефектоскоп располагают на расстоянии не более 1 м от контролируемого соединения в положении, удобном для одновременного наблюдения за экраном электронно-лучевой трубки и перемещаемым ПЭП.

Для обеспечения акустического контакта ПЭП с поверхностью изделия применяют следующие контактирующие жидкости:

- глицерин;
- минеральные и технические масла;
- смазку на основе обойного клея КМЦ;
- водные растворы моющих средств;
- специализированные гели для ультразвукового контроля;
- воду.

Примечание. Смазку на основе обойного клея приготавливают по следующему рецепту. Сухой обойный клей растворяют в холодной или теплой воде в объемном соотношении 1:1–1:3 в зависимости от температурных условий проведения контроля и настаивают в течении нескольких часов. Если контроль проводится при отрицательных температурах, то в раствор добавляется 1/3–1/2 части технического этилового спирта.

Выбор контактирующей жидкости производят в зависимости от условий проведения контроля (состояния поверхности, пространственного положения конструкции, температуры и смачиваемости поверхности в зоне сканирования) в соответствии с указаниями технологических инструкций по проведению контроля.

Прозвучивание сварных соединений производят совмещенным ПЭП по схеме поперечно-продольного сканирования. При этом ПЭП, ориентированный нормально к оси шва, перемещают вдоль шва, совершая возвратно-поступательное движение с постоянным шагом (рис. 8.2), одновременно поворачивая ПЭП в обе стороны от нормали под углом к оси шва 10–15°.

Швы стыковых соединений листов равной толщины, выполненные двусторонней сваркой, контролируют с двух сторон одной плоскости соединения прямым ($m = 0$) и однократно отраженным ($m = 1$) лучами, перемещая ПЭП в пределах от $L_{\min}$ до $L_{\max}$ (рис. 8.3).

Швы тавровых соединений контролируют с одной плоскости приваренного листа прямым ($m = 0$) и однократно отраженным ($m = 1$) лучами, перемещая ПЭП в пределах от L_1 до L_3 .

При необходимости уточнения характеристик выявленных дефектов следует проводить дополнительный контроль с обратной плоскости соединения.

Стыковые соединения листов разной толщины контролируют прямым и однократно отраженным лучами со стороны листа меньшей толщины и прямым лучом со стороны листа большей толщины.

Контроль шва производят в два этапа, которые следует выполнять последовательно.

1. Этап поиска дефектов с целью фиксации сечений, в которых, возможно, имеются дефекты.

2. Этап оценки дефектов в сечениях сварного соединения, отмеченных на первом этапе.

На этапе поиска дефектов ПЭП следует перемещать без особого нажима на него со скоростью, не превышающей 100 мм/с, обеспечивая надежный акустический контакт и заданный шаг [12], [13].

При систематически малом количестве выявляемых дефектов возможно совмещение этапов контроля во времени.

В случае подозрения на наличие в сварных швах трещин, которые, как правило, возникают при грубых нарушениях сборки и сварки, необходимо проводить дополнительные операции по их обнаружению.

Для повышения вероятности выявления дефектов, расположенных у торцов стыкового шва, следует дополнительно прозвучивать зону шва у каждого торца, постепенно поворачивая ПЭП в пределах 45° между плоскостью торца соединения и плоскостью падения волны.

Признаком обнаружения дефекта является возникновение на экране дефектоскопа импульса, который перемещается одновременно с перемещением ПЭП в направлении, перпендикулярном оси соединения, и при осевом максимуме располагается в пределах рабочего участка (строба) развертки. Признаком дефекта является также срабатывание дополнительных индикаторов.

На экране дефектоскопа могут быть зафиксированы ложные импульсы (помехи), обусловленные резким переходом металла шва к основному металлу, грубыми неровностями в околошовной зоне (например, следы прихваток и т. п.) и на поверхности шва (например, неровности валика усиления, подрезы и т. п.).

Для того чтобы отличить ложные импульсы от импульсов, вызванных дефектами, следует произвести дополнительную зачистку сомнительных мест и повторить контроль.

Для определения местоположения отражающей поверхности (дефекта) в швах следует измерить его координаты: глубину залегания Y от поверхности контроля и расстояние X от точки входа луча до проекции отражателя на поверхности контроля.

При необходимости более точной оценки допустимости дефектов измеряют их остальные характеристики.

Основными измеряемыми характеристиками дефектов, кроме их координат, являются:

- коэффициент K_d выявляемости дефектов или амплитуда N_d эхосигнала от дефекта;
- условная протяженность дефекта ΔL_d ;
- условное расстояние Δl между расположенными рядом дефектами;
- координаты дефекта X и Y в сечении шва с учётом типа и размеров соединения;
- число дефектов на участке шва длиной 400 мм.

Коэффициент выявляемости дефекта определяют относительно:

- эталонного отражателя в испытательном образце по ОСТ 32100–87 при контроле швов металла толщиной до 20 мм;
- эталонного отражателя в стандартном образце № 2 по ГОСТ 14782–86 при контроле швов толщиной 20 мм и более.

Коэффициент выявляемости дефекта с учетом знака определяют по выражению:

$$K_d = N_{d \max} - N_o, \quad (8)$$

где $N_{d \max}$ – максимальная амплитуда эхосигнала от дефекта;

N_o – максимальная амплитуда эхосигнала от эталонного отражателя.

Условную протяженность измеряют между крайними положениями ПЭП, перемещаемого вдоль сварного соединения, при котором амплитуда эхосигнала от дефекта соответствует уровню чувствительности поиска.

Условное расстояние между дефектами измеряют между крайними положениями ПЭП, при которых измерялась условная протяженность двух расположенных рядом дефектов.

8.5 Оценка качества

Оценка качества сварных соединений строительных металлоконструкций по результатам визуально-измерительного и ультразвукового контроля проводится в соответствии с требованиями НТД (например, см. таблицу 8.3, соответствующую требованиям СП 70.13330–2012).

При оценке допустимости одиночных внутренних дефектов типа пор или/и шлаковых включений в сварном шве двухлиствого пакета за толщину металла принимают толщину входящего в пакет листа, в котором обнаружен оцениваемый дефект. Схема измерения условной протяженности ΔL_d дефекта и условного расстояния Δl между дефектами показана на рисунке 8.4.

К недопустимым дефектам в сварных стыковых швах конструкций относят:

- любой дефект, максимальная амплитуда эхосигнала от которого превышает уровень оценки ($N_{d \max} > N_o$);
- любой дефект, для которого максимальная амплитуда эхосигнала превышает уровень поиска и не превышает уровня оценки:

$$N_{xo} \geq N_{g \max} \geq N_{xo} - 6 \text{ дБ}, \quad (9)$$

но дефект обнаруживается преобразователем в положении, при котором плоскость падения волны составляет с продольной осью шва угол 10...40°;

- любой дефект, для которого выполняется условие (9), но условная протяженность ΔL , измеренная относительным способом, превышает 10 мм;

• любые дефекты, для каждого из которых выполняется условие (9), но число дефектов на участке шва длиной 100 мм более четырех.

Таблица 8.3

Требования НТД для оценки качества сварных соединений

Номинальная толщина свариваемых элементов, мм	Оценка по амплитуде	Предельно допустимая чувствительность (первый браковочный уровень) S_n , мм ²	Оценка по условной протяженности, условному расстоянию между дефектами и количеству дефектов	Предельно допустимая условная протяженность дефекта L , мм, расположенного на глубине H , мм			Предельно допустимое количество допустимых по измераемым характеристикам дефектов на любых 100 мм длины шва	Предельно допустимая суммарная условная протяженность, мм, допустимых дефектов на любых 100 мм длины шва, расположенных на глубине H , мм		
				<10	10-20	>20		<10	10-20	>20
От 6 до 10 вкл.	Первый браковочный уровень	2,0	Второй браковочный уровень	5	–	–	2	10	–	–
Св. 10 до 15 вкл.		2,5		5	7	–	3	10	15	–
Св. 15 до 20 вкл.		3,0		5	7	–	3	10	15	–
Св. 20 до 30 вкл.		4,0		7	10	–	4	15	20	–
Св. 30 до 40 вкл.		5,0		7	10	13	4	15	20	20
Св. 40 до 60 вкл.		6,0		10	15	20	5	25	25	30

Примечания:

1. Значения уровня поисковой чувствительности устанавливают выше первого браковочного уровня на 6 дБ, а значения второго браковочного уровня – выше первого уровня на 3 дБ.

2. Два соседних дефекта при условном расстоянии между ними менее условной протяженности меньшего дефекта считаются за один дефект с условной протяженностью, равной сумме дефектов и расстояния между ними.

К допустимым дефектам относят отражатели, амплитуда эхосигналов от которых не превышает уровня чувствительности оценки.

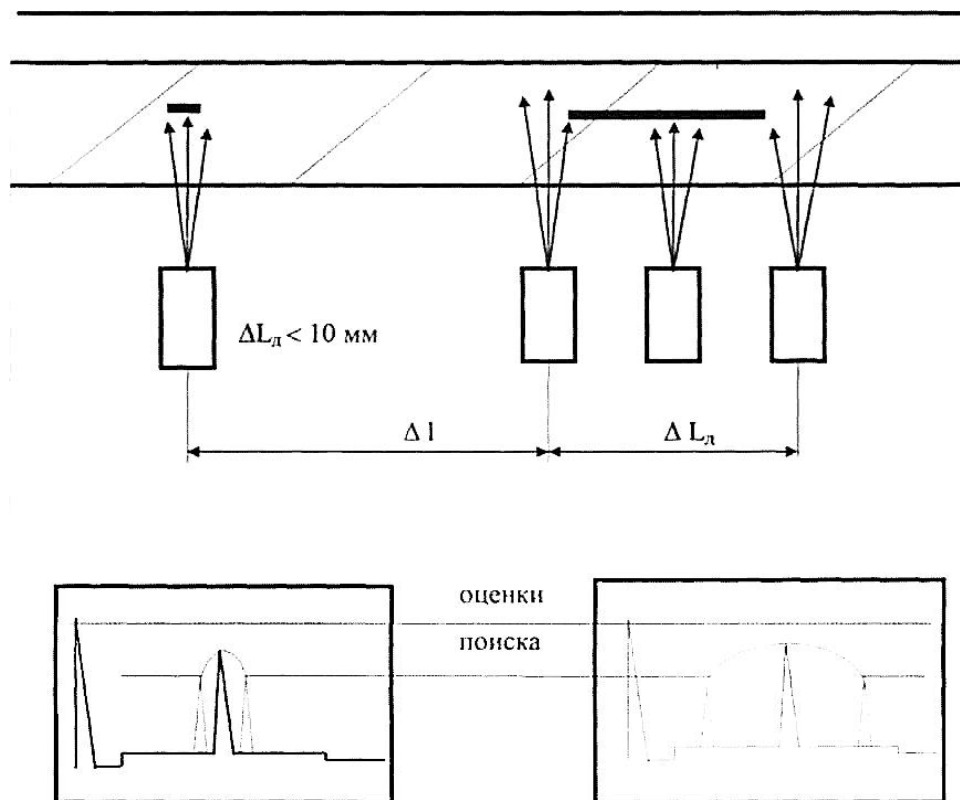


Рис. 8.4. Схема измерения условной протяженности ΔL_d дефекта и условного расстояния Δl между дефектами

8.6 Ультразвуковой контроль сварных стыковых и тавровых соединений арматуры железобетонных конструкций

Ультразвуковые методы контроля качества сварных соединений арматуры следует применять:

- для стыковых однорядных соединений стержней диаметром от 20 до 40 мм из арматурной стали классов А-II и А-III по ГОСТ 5781–82, выполненных ванным и многослойным способами сварки в инвентарных формах, на стальных скобах-накладках и подкладках или без формирующих и вспомогательных элементов (по требованиям СП 70.13330–2012);
- для тавровых соединений арматурных стержней диаметром от 8 до 40 мм с пластинами (плоскими элементами закладных деталей) толщиной от 6 до 30 мм, выполненных сваркой под флюсом.

Ультразвуковой контроль следует выполнять при температуре окружающей среды от плюс 40 до минус 25 °С. При температуре окружающей среды от минус 10 до минус 25 °С следует предварительно нагреть контролируемое соединение до 30–50 °С.

Ультразвуковому контролю подлежат сварные стыковые соединения стержней с отношением диаметров в пределах 0,80–1,0.

Ультразвуковые методы контроля позволяют выявить внутренние дефекты (трещины, непровары, поры и шлаковые включения) в сварных соединениях без расшифровки их характера и координат. Согласно ГОСТ 23858–99 и СТО 02495307-002–2008 «Ультразвуковой контроль сварных соединений арматуры в железобетонных конструкциях», характеристикой качества соединения служит величина амплитуды прошедшего через сварной шов или отраженного ультразвукового сигнала, которая измеряется в децибелах.

Контроль сварных соединений следует осуществлять методами:

– теньевым – стыковых соединений стержней, выполненных в инвентарных формах или без формирующих вспомогательных элементов (рис. 8.5);

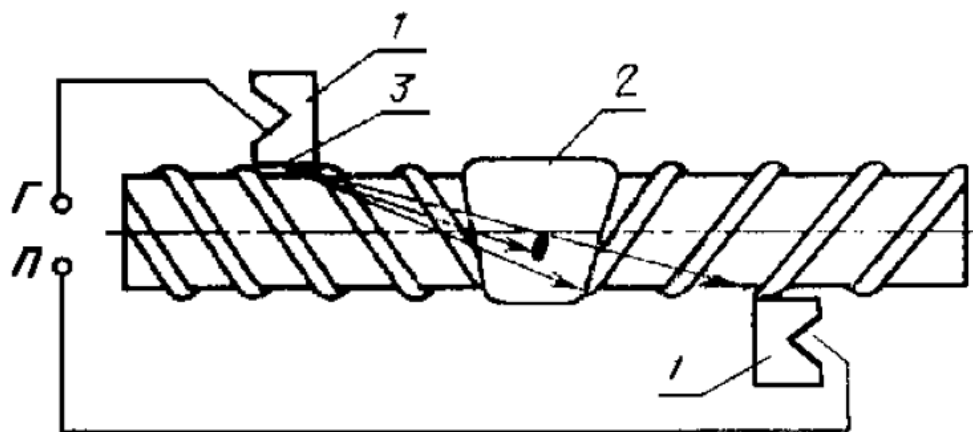


Рис. 8.5. Теньевым методом контроля сварных соединений:
1 – наклонные искатели; 2 – сварное соединение; 3 – метка, соответствующая точке выхода луча (ГОСТ 14782–86);
Г – вывод к генератору ультразвуковых колебаний;
П – вывод к приемнику

– зеркально-теньевым – стыковых соединений стержней, выполненных на стальных скобах-накладках или подкладках (рис. 8.6);

– эхоимпульсным – тавровых соединений стержней с пластинами, выполненных под флюсом (рис. 8.7).

Фланговые швы в стыковых соединениях, выполненных на стальных скобах-накладках (например, ванно-шовная сварка), ультразвуковому контролю не подлежат.

Для оценки квалификации оператора и проверки исправности аппаратуры один раз в 6 месяцев надлежит проводить экспертную оценку качества сварных соединений по настоящему стандарту и ГОСТ 10922–90. Сопоставление результатов контроля следует осуществлять на соединениях,

проверенных неразрушающим методом, а затем механическими испытаниями.

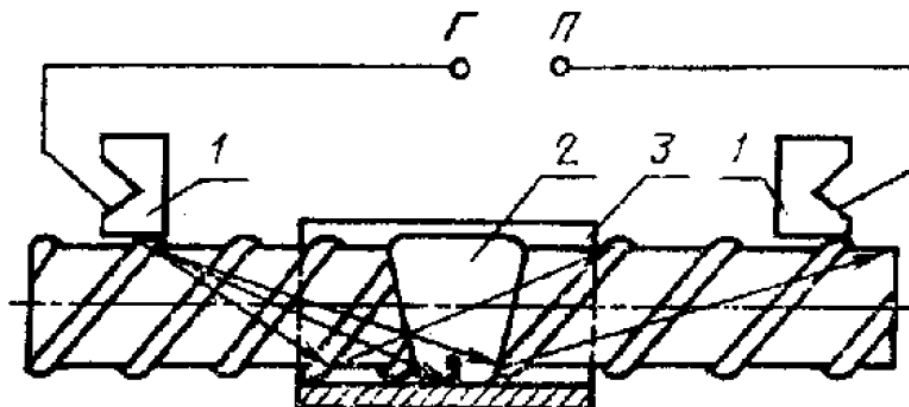


Рис. 8.6. Зеркально-теневого метод контроля сварных соединений:
1 – наклонные искатели; 2 – сварное соединение; 3 – скоба-накладка;
Г – выход к генератору ультразвуковых колебаний; П – вывод к приемнику

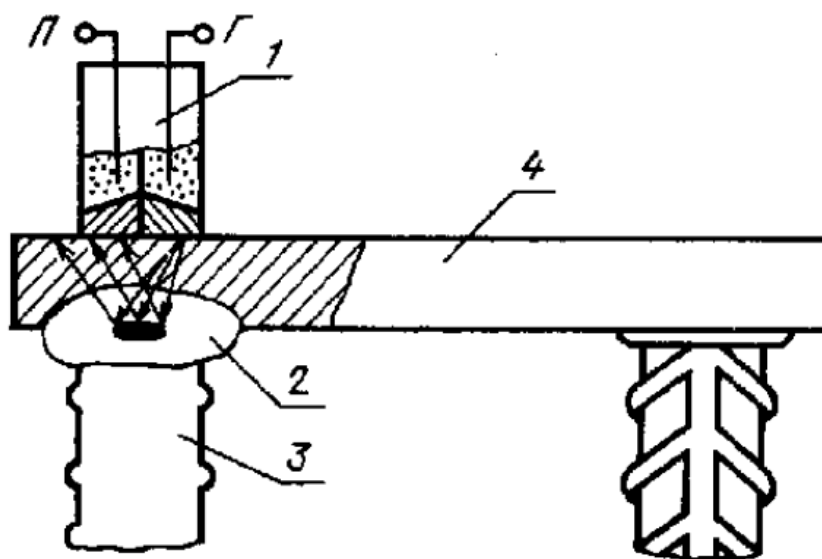


Рис. 8.7. Эхоимпульсный метод контроля сварных соединений:
1 – раздельно-совмещенные искатели; 2 – сварное соединение; 3 – стержень;
4 – пластина закладной детали; Г – вывод к генератору ультразвуковых колебаний;
П – вывод к приемнику

Для контроля сварных соединений следует использовать импульсный ультразвуковой дефектоскоп, обеспечивающий работу по раздельной схеме контроля и имеющий калиброванный аттенюатор с ценой деления не более 2 дБ. Дефектоскоп должен быть снабжен комплектом стандартных образцов и искателями по ГОСТ 14782–86.

Система *дефектоскоп–преобразователь* должна обеспечивать на испытательном образце или на пластине величину опорного сигнала A_0 не ниже значений, приведенных в таблице 8.4.

Таблица 8.4

Значения величин опорных сигналов

Тип сварного соединения	Значения величин опорных сигналов A_0 , дБ, для стержней диаметром, мм			
	8–18	20–25	28–32	36–40
Стыковое	–	16	18	20
Тавровое	30	20	30	25

Испытательный образец для настройки чувствительности дефектоскопа должен быть идентичен по диаметрам свариваемых стержней, классам стали, конструктивным элементам соединений, способам сварки и сварочным материалам контролируемому соединению, а также удовлетворять показателям прочности по ГОСТ 10922–90.

Для контроля стыковых соединений стержней следует использовать наклонные искатели, параметры которых должны соответствовать параметрам, приведенным в таблице 8.5. Проверку параметров искателей следует проводить на стандартных образцах по ГОСТ 14782–86.

Таблица 8.5

Параметры наклонных искателей

Тип сварного соединения и способ сварки	Диаметр стержней, мм	Параметр искателя	
		Частота, МГц	Угол призмы, град
Стыковое, в инвентарной форме	20–25	2,5	53
	28–40		50
Стыковое, на стальной скобе- накладке (подкладке)	28–32	1,8	
	36–40		

Для контроля тавровых соединений стержней с пластинами следует использовать раздельно-совмещенные искатели, параметры которых должны соответствовать приведенным в таблице 8.6.

Частота ультразвуковых колебаний наклонного и раздельно-совмещенного искателей, угол призмы и положение точки выхода ультразвукового пучка наклонного искателя не должны отличаться от номинальных значений более, чем указано в ГОСТ 14782–86.

Параметры раздельно-совмещенных искателей

Диаметр стержня, мм	Параметр искателя	
	Частота, МГц	Угол призмы, град
8–10	5,0	10
12–16	5,0	8
18–25	2,5	6
28–40	1,8	4

Контактная поверхность наклонных преобразователей должна быть притерта к гладкой цилиндрической поверхности стержня, определяемой наружным диаметром d стержня периодического профиля по ГОСТ 5781–82. Притертые искатели допускается использовать для контроля стыковых соединений стержней с диаметрами на 2 номера ниже притертого.

Наклонные и раздельно-совмещенные преобразователи должны иметь чистоту поверхности не ниже Rz 200 мкм по ГОСТ 2789–73.

Согласно ГОСТ 5781–82 и ГОСТ 23858–99, при контроле стыковых соединений стержней преобразователи следует устанавливать в механическое устройство, обеспечивающее:

- постоянное расстояние между искателями при контроле соединений стержней определенного диаметра;
- изменение расстояния между искателями при переходе к контролю соединений стержней другого диаметра;
- установку искателей на контролируемое соединение соосно относительно друг друга и стержней;
- постоянное, независимое от оператора усилие прижатия искателей к стержням;
- возможность перемещения искателей вдоль и вокруг стержня.

При контроле тавровых соединений стержней с пластинами следует применять механическое приспособление – шаблон, ограничивающее зону сканирования.

8.6.1 Подготовка к контролю

Перед проведением контроля сварные соединения должны быть очищены от брызг металла, остатков шлака, заусенец, отслаивающейся окалины, ржавчины, бетона и других загрязнений и подвергнуты внешнему осмотру и обмеру в соответствии с требованиями ГОСТ 10922–90. При этом забракованные соединения до исправления обнаруженных дефектов ультразвуковому контролю не подлежат.

Перед проведением контроля стыковых соединений стержней должна быть выполнена подготовка механического устройства, включающая

проверку соосности искателей и стержней и соответствия расстояния между искателями l (рис. 8.8, 8.9), указанного в таблице 8.7. При контроле стыковых соединений стержней разных диаметров расстояние между искателями следует выбирать по стержню большего диаметра.

Таблица 8.7

Установочное значение расстояний между искателями

Тип сварного соединения	Установочное значение расстояний между искателями l для стержней диаметром, мм						
	20	22	25	28	32	36	40
Стыковое, в инвентарной форме, горизонтальное	85	85	90	95	100	105	110
Стыковое, в инвентарной форме, вертикальное	95	100	110	115	125	135	145
Стыковое, на стальной скобе-накладке (подкладке), горизонтальное или вертикальное	85	95	105	120	135	155	170

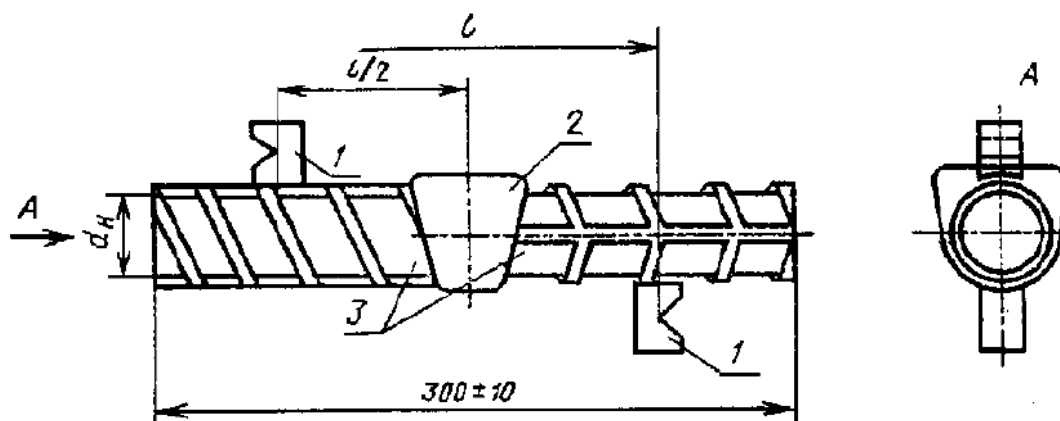


Рис. 8.8. Расположение искателей для настройки на заданное значение чувствительности при контроле стыкового соединения, выполненного в инвентарной форме:

1 – искатели; 2 – сварное соединение горизонтальных стержней (испытательный образец, выполненный в инвентарной форме); 3 – стержни, развернутые на $(90 \pm 5)^\circ$

Перед проведением контроля тавровых соединений стержней с пластинами следует в механическое приспособление (шаблон) установить кольцо, ограничивающее зону сканирования. Внутренний диаметр кольца должен превышать диаметр стержня на 4–5 мм. Высота кольца должна быть равна 10–12 мм.

Перед проведением контроля непосредственно на рабочем месте должна быть настроена чувствительность дефектоскопа.

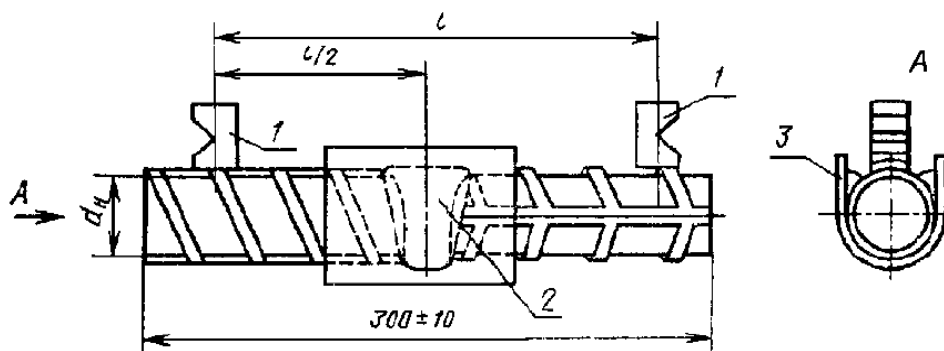


Рис. 8.9. Расположение искателей для настройки на заданное значение чувствительности при контроле стыкового соединения, выполненного на стальной скобе-накладке:

- 1 – преобразователи; 2 – сварное соединение горизонтальных стержней (испытательный образец, выполненный на стальной скобе-накладке);
3 – скоба-накладка (подкладка)

Для настройки чувствительности дефектоскопа при контроле стыковых соединений стержней следует:

- установить преобразователи на испытательном образце согласно рисунками 8.8, 8.9 (в зависимости от способа сварки);
- измерить величину амплитуды опорного сигнала и полученное значение записать в журнал (протокол) контроля.

При контроле тавровых соединений стержней с пластинами:

- установить преобразователи согласно рисунку 8.10 на пластине контролируемого соединения;
- установить величину амплитуды опорного сигнала для соответствующего диаметра стержня, равную значению, указанному в таблице 8.4, и полученное значение записать в журнал контроля.

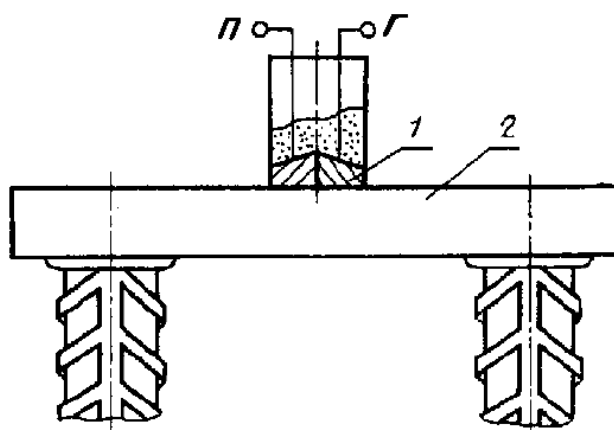


Рис. 8.10. Расположение искателей для настройки на заданное значение чувствительности при контроле тавровых сварных соединений:

- 1 – преобразователь; 2 – пластина закладной детали; Г – вывод к генератору ультразвуковых колебаний; П – вывод к приемнику

Для обеспечения акустического контакта между преобразователем и стержнями стыкового соединения или пластиной в местах установки преобразователей на стержень (пластину) непосредственно перед контролем следует нанести смазку. При контроле стыковых соединений стержней следует применять смазку консистенцией, обеспечивающей заполнение впадин профиля, например солидол, а при контроле закладных деталей следует использовать легко смывающуюся контактную смазку.

8.6.2 Проведение контроля

В период поиска дефектов в стыковых соединениях стержней уровень чувствительности дефектоскопа следует повысить на величину 15 дБ по сравнению с величиной опорного сигнала, полученного на испытательном образце. Замер максимальной амплитуды сигналов на контролируемом сварном соединении необходимо проводить в трех точках по схеме, указанной на рисунках 8.11, 8.12, 8.13, перемещая систему искателей в одной плоскости. В крайних положениях (позиции 1-1 и 3-3) один из искателей следует помещать вплотную к сварному шву или скобе-накладке (рис. 8.11, 8.12, 8.13). В среднем положении (позиция 2-2) искатели следует располагать симметрично сварному шву. Результаты трех замеров амплитуды сигналов (A_1 , A_2 , A_3) следует занести в журнал контроля.

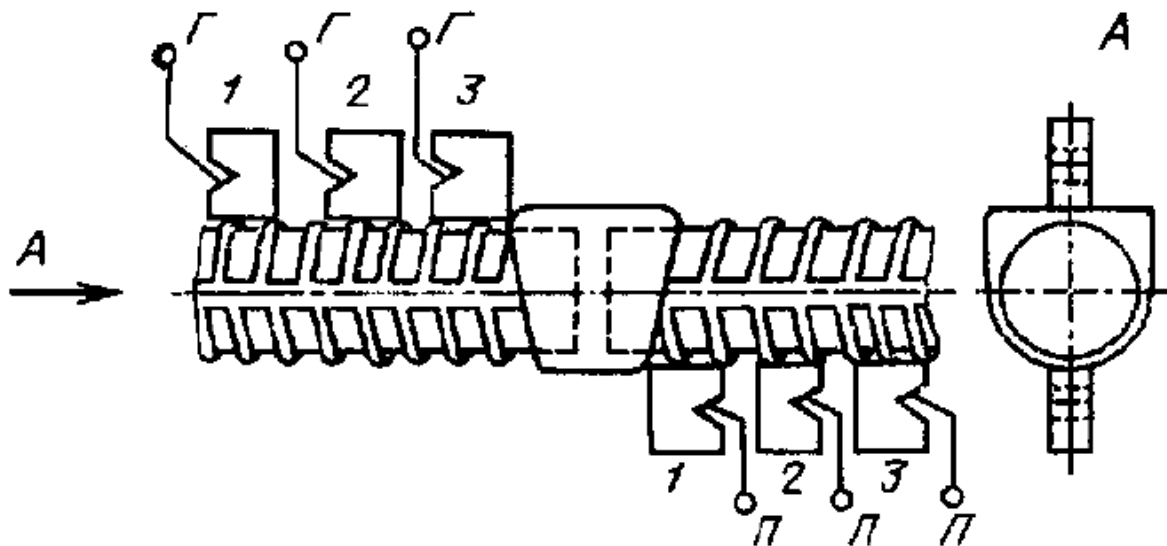


Рис. 8.11. Ультразвуковой контроль соединения стержней, выполненного в инвентарных формах (горизонтальное соединение):
1, 2, 3 – позиции преобразователей при замерах

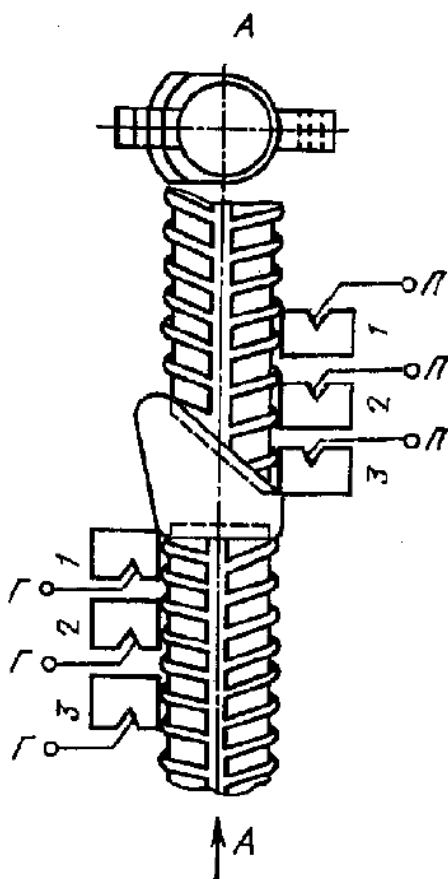


Рис. 8.12. Ультразвуковой контроль соединения стержней, выполненного в инвентарных формах (вертикальное соединение):
1, 2, 3 – позиции преобразователей при замерах

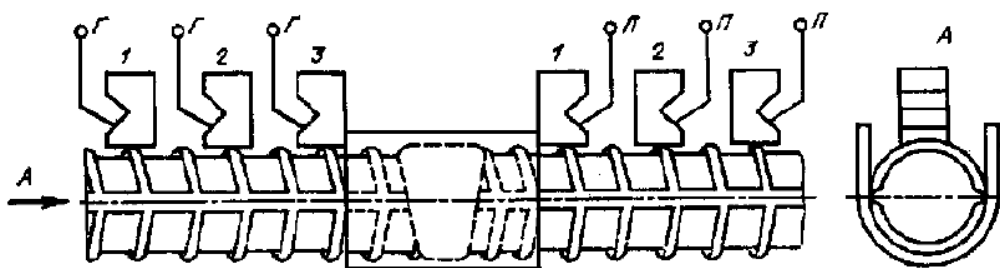


Рис. 8.13. Ультразвуковой контроль соединения стержней, выполненного в стальных накладках (вертикальное соединение):
1, 2, 3 – позиции преобразователей при замерах

В период поиска дефектов в тавровых соединениях уровень чувствительности дефектоскопа следует увеличить на 6 дБ по сравнению со значениями разности амплитуд, указанными в таблице 8.4. При обнаружении дефекта необходимо понизить уровень чувствительности дефектоскопа до первоначального уровня.

В соответствии с нормативными требованиями ГОСТ 23858–99 и СТО 02495307-002–2008 при осуществлении контроля искатель необходимо расположить на пластине, поместив его внутри ограничительного кольца механического шаблона-приспособления и производить перемещение искателя на пластине в пределах ограничительного кольца, фиксируя величину максимальной амплитуды.

Таблица 8.8

Критерий оценки качества стыковых соединений

Диаметр стержня, мм	Оцен- ка, баллы	Значение разности амплитуд $A_0 - A_{\text{мин}}$, дБ			
		Тип сварного соединения			
		Стыковое в инвентарной форме		Стыковое на стальной скобе- накладке (подкладке)	
		Положение системы искателей (рис. 8.11, 8.12, 8.13)			
		1–1; 3–3	2–2	1–1; 3–3	2–2
20–25	1	≥ 14	≥ 16	≥ 16	≥ 13
	2	$14 > (A_0 - A_{\text{мин}}) \geq 6$	$16 > (A_0 - A_{\text{мин}}) \geq 8$	$16 > (A_0 - A_{\text{мин}}) \geq 12$	$13 > (A_0 - A_{\text{мин}}) \geq 9$
	3	< 6	< 8	< 12	< 9
28–32	1	≥ 15	≥ 18	≥ 16	≥ 15
	2	$15 > (A_0 - A_{\text{мин}}) \geq 7$	$18 > (A_0 - A_{\text{мин}}) \geq 10$	$16 > (A_0 - A_{\text{мин}}) \geq 12$	$15 > (A_0 - A_{\text{мин}}) \geq 9$
	3	< 7	< 10	< 12	< 9
36–40	1	≥ 16	≥ 20	≥ 20	≥ 17
	2	$16 > (A_0 - A_{\text{мин}}) \geq 8$	$20 > (A_0 - A_{\text{мин}}) \geq 12$	$20 > (A_0 - A_{\text{мин}}) \geq 16$	$17 > (A_0 - A_{\text{мин}}) \geq 11$
	3	< 8	< 12	< 16	< 11

Таблица 8.9

Критерий оценки качества тавровых соединений

Оценка, баллы	Значение разности амплитуд $A_0 - A_{\max}$, дБ, для стержней диаметром, мм												
	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40
1	≥ 18	≥ 16	≥ 14	≥ 12	≥ 10	≥ 8	≥ 6	≥ 4	≥ 11	≥ 9	≥ 7	≥ 5	≥ 3
2	< 18	< 16	< 14	< 12	< 10	< 8	< 6	< 4	< 11	< 9	< 7	< 5	< 3

8.6.3 Правила приемки

Качество стыковых соединений стержней и тавровых соединений закладных деталей должно быть проверено органами контроля предприятия-изготовителя или службами контроля строительно-монтажных объединений, трестов и приравненных к ним организаций.

Приемку соединений следует производить партиями.

Объем партии стыковых соединений выпусков стержней в стыках сборных железобетонных и арматурных конструкций должен включать соединения стержней арматуры одного класса и диаметра, выполненные по единой технологии одним сварщиком к началу бетонирования конструкций, но не более 200 соединений.

Объем партии тавровых соединений закладных деталей должен состоять из изделий одного типоразмера (одной марки) и не должен превышать количество деталей, изготовленных одним сварщиком в течение одной смены на однотипном оборудовании.

Объем выборки из партии соединений, подлежащих ультразвуковому контролю, в зависимости от типа должен соответствовать указанному в таблице 8.10, но быть не менее 3 шт. в выборке.

В зависимости от характера строящегося объекта и особенностей монтажа конструкций проектом может быть предусмотрено уменьшение объема партии и увеличение объема выборки соединений, подлежащих контролю.

Оценку качества сварных стыковых соединений стержней следует производить по трехбалльной системе, при этом устанавливаются следующие категории качества контролируемых соединений:

- балл 1 – негодные (подлежат вырезке);
- балл 2 – ограниченно годные (подлежат исправлению);
- балл 3 – годные.

Таблица 8.10

Объем выборки соединений, подлежащих контролю

Тип сварного соединения	Объем выборки соединений, %
Стыковое, в инвентарных формах	10
Стыковое, на стальной скобе-накладке (подкладке)	15
Тавровое, под флюсом (закладных деталей)	3

Критерием оценки качества стыковых соединений стержней служит значение разности амплитуд опорного сигнала A_0 и наименьшего сигнала на контролируемом соединении $A_{\min}$ для каждого положения преобразователя согласно таблице 8.4.

При контроле сварных стыковых соединений со стержнями разных диаметров оценка качества соединений производится по стержню меньшего диаметра.

а) Если в выборке все сварные соединения оценены баллом 3 или не более двух соединений, расположенных в разных узлах сопряжений, оценены баллом 2, то партия сварных соединений подлежит приемке, при этом некачественные соединения подлежат исправлению.

б) Если в выборке одно соединение оценено баллом 1, два соединения в одном узле сопряжения оценены баллом 2 или от трех до пяти соединений, расположенных в разных узлах сопряжений, также оценены баллом 2, то следует назначать повторную выборку в объеме, регламентированном в таблице 8.10.

Если в повторной выборке качество соединений отвечает требованиям пункта а), то партия должна быть принята после исправления дефектных соединений.

Если в выборке число соединений, оцененных баллом 1 или 2, превышает значения, указанные в подпункте б), то партия сварных соединений подлежит 100%-ному контролю.

Оценку качества тавровых соединений стержней с пластинами закладных деталей следует производить по двухбалльной системе, при этом устанавливаются следующие градации качества контролируемых соединений:

- балл 1 – негодные (допускается исправление в соответствии с рекомендациями);
- балл 2 – годные.

Критерием оценки качества тавровых соединений стержней с пластинами закладных деталей служит значение разности амплитуд опорного сигнала A_0 и максимального сигнала, отраженного от дефекта в контролируемом сварном соединении $A_{\text{макс}}$ согласно таблице 8.9.

Если в выборке все сварные соединения оценены баллом 2 или не более двух соединений в разных закладных деталях, имеющих более двух стержней, – баллом 1, то партия сварных соединений подлежит приемке, при этом некачественные соединения закладной детали подлежат исправлению.

Если в выборке два и более сварных соединений одной закладной детали или три соединения и более в разных закладных деталях оценены баллом 1, то партия сварных соединений подлежит 100%-ному контролю.

8.6.4 Оформление результатов контроля

Результаты контроля должны быть занесены в журнал. В журнал заносят результаты контроля всех сварных соединений независимо от оценки их качества (годен, ограниченно годен или не годен).

По результатам контроля организация, производящая проверку качества сварных соединений, выдает заключение, которое должно быть подписано руководителем контрольного подразделения и оператором, проводившим контроль.

9 БЕТОН. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ПО КОНТРОЛЬНЫМ ОБРАЗЦАМ

9.1 Основные положения

В соответствии с требованиями СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» для бетонных и железобетонных конструкций предусматриваются следующие конструкционные бетоны:

- тяжелый средней плотности от 2200 до 2500 кг/м³ включительно;
- мелкозернистый средней плотности от 1800 до 2200 кг/м³;
- легкий;
- ячеистый;
- напрягающий.

Основными нормируемыми и контролируемыми показателями качества бетона являются:

- класс по прочности на сжатие B ;
- класс по прочности на осевое растяжение B_t ;
- марка по морозостойкости F ;
- марка по водонепроницаемости W ;
- марка по средней плотности D ;
- марка по самонапряжению S_p .

Класс бетона по прочности на сжатие B соответствует значению кубиковой прочности бетона на сжатие, МПа, с обеспеченностью 0,95 (нормативная кубиковая прочность).

Класс бетона по прочности на осевое растяжение B_t соответствует значению прочности бетона на осевое растяжение, МПа, с обеспеченностью 0,95 (нормативная прочность бетона).

Марка бетона по морозостойкости F соответствует минимальному числу циклов переменного замораживания и оттаивания, выдерживаемых образцом при стандартном испытании.

Марка бетона по водонепроницаемости W соответствует максимальному значению давления воды (в МПа·10⁻¹), выдерживаемому бетонным образцом при испытании.

Марка бетона по средней плотности D соответствует среднему значению объемной массы бетона (кг/м³).

Марка напрягающего бетона по самонапряжению S_p представляет собой значение предварительного напряжения в бетоне, МПа, создаваемого в результате его расширения при коэффициенте продольного армирования $\mu = 0,01$.

В таблицах 9.1–9.4 приведены классы и марки бетона, рекомендованные СП 63.13330.2012 для бетонных и железобетонных конструкций.

Таблица 9.1

**Классы тяжелого, напрягающего и мелкозернистого бетона
по прочности на сжатие**

Бетон	Классы по прочности на сжатие
Тяжелый	B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B25; B30; B35; B40; B45; B50; B55; B55; B60; B70; B80; B90; B100
Напрягающий	B20; B25; B30; B35; B40; B45; B50; B55; B60; B70
Мелкозернистый групп: А – естественного твердения или подвергнутый тепловой обработке при атмосферном давлении Б – подвергнутый автоклав- ной обработке	B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B25; B30; B40 B15; B20; B25; B30; B35; B40; B45; B50; B55; B55; B60

Таблица 9.2

**Классы тяжелого, напрягающего и мелкозернистого бетона
по прочности на осевое растяжение**

Бетон	Классы по прочности на осевое растяжение
Тяжелый, напрягающий, мел- козернистый	Bt0,8; Bt1,2; Bt1,6; Bt2,0; Bt2,4; Bt2,8; Bt3,2; Bt3,6; Bt4,0

Таблица 9.3

**Марки тяжелого, напрягающего и мелкозернистого бетона
по морозостойкости**

Бетон	Марки по морозостойкости
Тяжелый, напрягающий, мел- козернистый	F50; F75; F100; F150; F200; F300; F400; F500; F600; F700; F800; F1000

Таблица 9.4

Марки тяжелого, напрягающего и мелкозернистого бетона по водонепроницаемости

Бетон	Марки по водонепроницаемости
Тяжелый, напрягающий, мел- козернистый	W2; W4; W6; W8; W10; W12; W14; W16; W18; W20

Проектный возраст бетона, т. е. возраст, в котором бетон должен приобрести все нормируемые для него показатели качества, назначают при проектировании исходя из возможных реальных сроков загрузки конструкций проектными нагрузками с учетом способа возведения конструкций и условий твердения бетона. При отсутствии этих данных класс бетона устанавливают в проектном возрасте 28 сут.

Для железобетонных конструкций, проектируемых в соответствии с требованиями СП 63.13330.2012, следует применять класс бетона по

прочности на сжатие не ниже В15. Для предварительно напряженных железобетонных конструкций класс бетона по прочности на сжатие следует принимать в зависимости от вида и класса напрягаемой арматуры, но не ниже В20.

Все нормируемые показатели качества бетона должны контролироваться как в процессе производства работ, так и непосредственно в изготовленных конструкциях.

9.2 Требования к контрольным образцам, их изготовлению, твердению и хранению

Для входного контроля бетонной смеси, при подборе состава бетона, а также для определения прочности бетона в конструкции очень часто используются контрольные образцы.

Порядок проведения испытаний **по определению прочности бетона на сжатие, растяжение при изгибе, растяжение при раскалывании и осевое растяжение** по контрольным образцам регламентирует ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Определение прочности бетона состоит в измерении минимальных усилий, разрушающих специально изготовленные контрольные образцы бетона при их статическом нагружении с постоянной скоростью роста нагрузки, и последующем вычислении напряжений при этих усилиях в предположении упругой работы материала.

Форма и номинальные размеры образцов в зависимости от метода определения прочности бетона должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 9.5.

Таблица 9.5

Форма и номинальные размеры образцов (ГОСТ 10180)

Метод	Форма образца	Номинальные размеры образца, мм
Определение прочности на сжатие и на растяжение при раскалывании	Куб	Длина ребра: 100; 150; 200; 300
	Цилиндр	Диаметр d : 100; 150; 200; 300 Высота $h \geq d$
Определение прочности на осевое растяжение	Призма квадратного сечения	100×100×400; 150×150×600; 200×200×800; 250×250×1000; 300×300×1200
	Цилиндр	Диаметр d : 100; 150; 200; 300 Высота h , равная $2d$
Определение прочности на растяжение при изгибе и при раскалывании	Призма квадратного сечения	100×100×400; 150×150×600; 200×200×800; 250×250×1000; 300×300×1200

ГОСТ 10180 допускает применять для испытаний:

- кубы с ребром длиной 70 мм;
- призмы размером 70×70×280 мм;
- цилиндры диаметром 70 мм;
- цилиндры высотой, равной соответствующему диаметру, при определении прочности на растяжение при раскалывании;
- половинки образцов-призм, полученных после испытания на растяжение при изгибе образцов-призм, для определения прочности бетона на сжатие.

За **базовый образец** при всех видах испытаний следует принимать образец-куб или образец-призму с размером рабочего сечения **150×150 мм**.

Размеры образцов в зависимости от наибольшей номинальной крупности заполнителя в пробе бетонной смеси должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 9.6.

Таблица 9.6

Минимальные размеры образца в зависимости от номинального размера зерен заполнителя

Наибольший номинальный размер зерна заполнителя	Наименьший размер образца (ребра куба, стороны поперечного сечения призмы или восьмерки, диаметра и высоты цилиндра)
20 и менее	100
40	150
70	200
100	300

Примечания:

1. При изготовлении образцов из бетонной смеси должны быть удалены отдельные зерна крупного заполнителя, размер которых превышает более чем в 1,5 раза наибольший номинальный размер заполнителя, указанный в таблице, а также все зерна заполнителя размером более 100 мм.

2. При изготовлении образцов с минимальным размером 70 мм крупность заполнителя не должна превышать 20 мм.

ГОСТ 10180 устанавливает следующие требования к геометрическим параметрам образцов.

1. Отклонения от плоскостности опорных поверхностей образцов-кубов и образцов-цилиндров, прилегающих к плитам пресси, не должны превышать 0,001 мм. Для определения данного параметра (рис. 9.1) может быть использован прибор НПЛ-1 (Россия).

2. Отклонения от прямолинейности образующей образцов-цилиндров, предназначенных для испытания на раскалывание, не должны превышать $\pm 0,2$ мм.

3. Отклонения от перпендикулярности смежных граней образцов-кубов и образцов-призм, а также опорных поверхностей и образующих цилиндров, предназначенных для испытания на сжатие, не должны превышать ± 1 мм. На рисунке 9.2 показан процесс определения отклонения от перпендикулярности смежных граней образца-куба при помощи прибора НПР-1 (Россия).

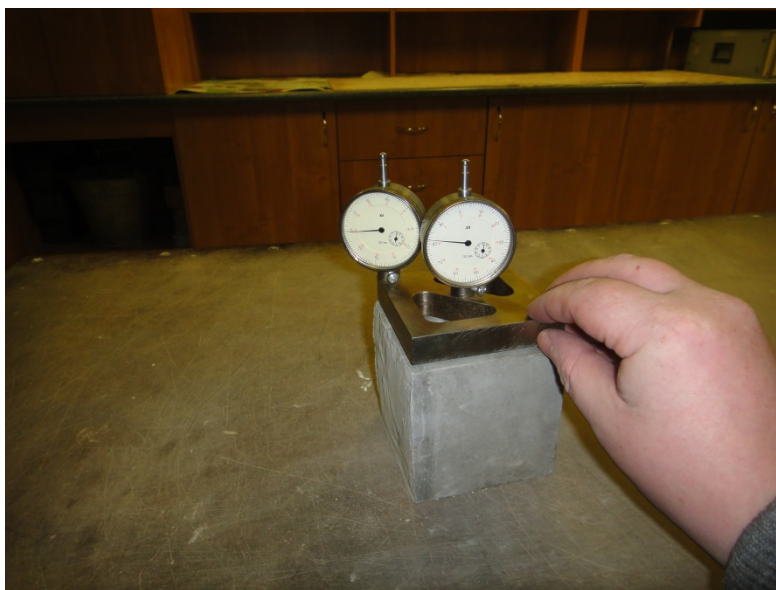


Рис. 9.1. Определение отклонения от плоскостности опорных поверхностей образца-куба при помощи прибора НПА-1



Рис. 9.2. Определение отклонения от перпендикулярности смежных граней образца-куба при помощи прибора НПР-1

Образцы следует изготавливать в поверенных формах, соответствующих требованиям ГОСТ 22685-89 «Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия».

Перед использованием форм их внутренние поверхности следует покрыть тонким слоем смазки, не оставляющей пятен на поверхности образцов и не влияющей на свойства поверхностного слоя бетона.

Укладку и уплотнение бетонной смеси следует производить не позднее чем через 20 мин после отбора пробы.

Отклонения между собой значений средней плотности бетона отдельных серий и средней плотности отдельных образцов в каждой серии к моменту их испытания не должны превышать 50 кг/м^3 .

Образцы из тяжелого и легкого бетона при лабораторных исследованиях формируют следующим образом: формы заполняют бетонной смесью слоями высотой не более 100 мм. Каждый слой укладывают штыкованием стальным стержнем диаметром 16 мм с закругленным концом. Число нажимов стержня рассчитывают из условия, чтобы один нажим приходился на 10 см^2 верхней открытой поверхности образца, штыкование выполняют равномерно по спирали от краев формы к ее середине.

При подвижности бетонной смеси менее 10 см форму с уложенной бетонной смесью жестко закрепляют на лабораторной виброплощадке и дополнительно уплотняют, вибрируя до полного уплотнения, характеризуемого прекращением оседания бетонной смеси, выравниванием ее поверхности, появлением на ней тонкого слоя цементного теста и прекращением выделения пузырьков воздуха.

После окончания укладки и уплотнения бетонной смеси в форме верхнюю поверхность образца заглаживают мастерком или пластиной.

Непосредственно после изготовления образцов на них должна быть нанесена маркировка. Маркировка не должна повреждать образец или влиять на результаты испытания.

Образцы, предназначенные для твердения в нормальных условиях, после изготовления до распалубливания хранят в формах, покрытых влажной тканью или другим материалом, исключающим возможность испарения из них влаги, в помещении с температурой воздуха $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$.

При определении прочности бетона на сжатие образцы распалубливают не ранее чем через 24 ч для бетонов класса В7,5 и выше, не ранее чем через 48 ч – для бетонов класса В5 и ниже, а также для бетонов с добавками, замедляющими их твердение в раннем возрасте.

При определении прочности бетона на растяжение образцы распалубливают не ранее чем через 96 ч после их изготовления.

После распалубливания образцы должны быть помещены в камеру, обеспечивающую у поверхности образцов нормальные условия, т. е. температуру $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ и относительную влажность воздуха $(95 \pm 5) \%$. Образ-

цы укладывают на подкладки так, чтобы расстояние между образцами, а также между образцами и стенками камеры было не менее 5 мм. Площадь контакта образца с подкладками, на которых он установлен, не должна составлять более 30 % площади опорной грани образца. Образцы в камере нормального твердения не должны непосредственно орошаться водой. Допускается хранение образцов под слоем влажного песка, опилок или других систематически увлажняемых гигроскопичных материалов.

Образцы, предназначенные для твердения в условиях тепловой обработки, должны быть помещены в формах в тепловой агрегат (пропарочную камеру, автоклав, отсек формы или кассеты и т. д.) и твердеть там вместе с конструкциями или отдельно по принятому на производстве режиму.

После окончания тепловой обработки образцы распалубливают и испытывают или хранят в нормальных условиях.

Допускаются другие условия твердения образцов, например водное или комбинированное, если эти условия установлены стандартами, техническими условиями.

При транспортировании образцов бетона необходимо предохранять их от повреждений, изменения влажности и замораживания.

Прочность бетона образцов к началу их транспортирования должна быть не менее 2 МПа.

В помещении для испытания образцов следует поддерживать температуру воздуха в пределах $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ и относительную влажность воздуха не менее 55 %. В этих условиях образцы должны быть выдержаны до испытания в распалубленном виде в течение не менее 24 ч, если они твердели в воде, и в течение не менее 4 ч, если они твердели в воздушно-влажностных условиях или в условиях тепловой обработки.

Образцы, предназначенные для испытаний для определения передаточной или распалубочной прочности бетона на сжатие в горячем состоянии, а также образцы, предназначенные для определения прочности на растяжение после водного твердения, следует испытывать без предварительной выдержки.

9.3 Подготовка образцов к испытаниям

Перед испытанием образцы подвергают визуальному осмотру, устанавливая наличие дефектов в виде сколов ребер, раковин и инородных включений. Образцы, имеющие трещины, сколы ребер глубиной более 10 мм, раковины диаметром более 10 мм и глубиной более 5 мм (кроме бетона крупнопористой структуры), а также следы расслоения и недоуплотнения бетонной смеси, испытанию не подлежат. Наплывы бетона на ребрах опорных граней образца должны быть удалены напильником или абразив-

ным камнем. В случае необходимости фиксируют схему расположения дефектов.

На образцах выбирают и отмечают грани, к которым должны быть приложены усилия в процессе нагружения.

Опорные грани отформованных образцов-кубов, предназначенных для испытания на сжатие, выбирают так, чтобы сжимающая сила при испытании была направлена параллельно слоям укладки бетонной смеси в формы.

Опорные грани образцов-кубов и призм, предназначенных для испытания на растяжение при раскалывании, должны быть выбраны так, чтобы оси колющих прокладок, передающих усилие, были перпендикулярны к слоям укладки бетонной смеси.

Плоскость изгиба образцов-призм при испытании на растяжение при изгибе должна быть параллельна слоям укладки.

Линейные размеры образцов измеряют с погрешностью не более 1 % (рис. 9.3). Результаты измерений линейных размеров образцов записывают в журнал испытаний.

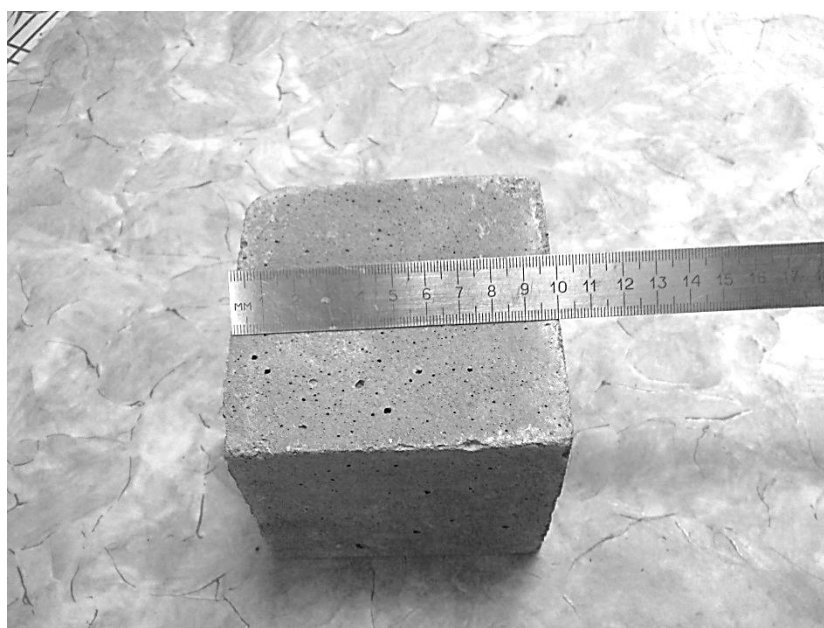


Рис. 9.3. Определение геометрических размеров образца-куба

При использовании для изготовления образцов бетона поверенных форм, линейные размеры которых соответствуют требованиям ГОСТ 22685–89 «Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия», допускается не измерять линейные размеры образцов, а принимать их равными номинальным по таблице 9.5.

Перед испытанием образцы взвешивают (рис. 9.4) с целью определения их средней плотности по ГОСТ 12730.1–78 «Бетоны. Методы определения плотности».

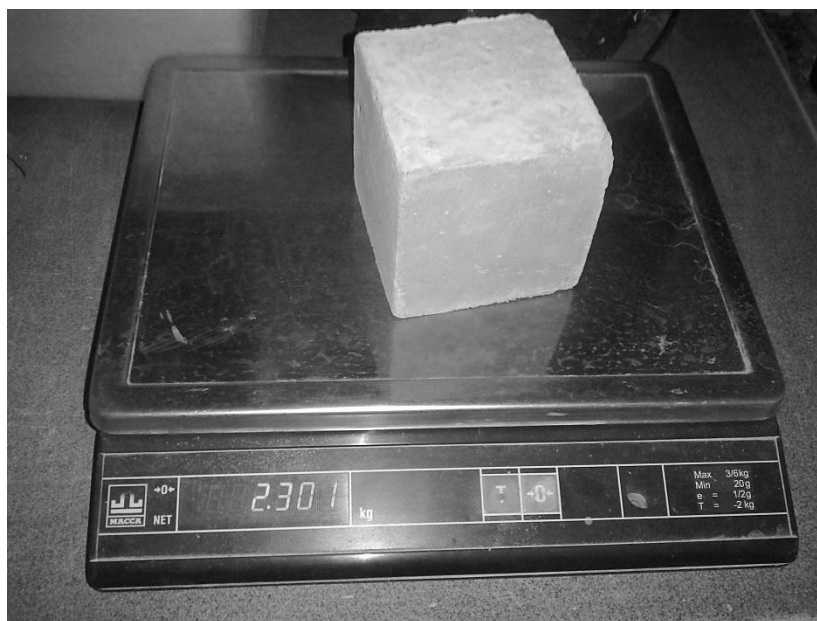


Рис. 9.4. Взвешивание образца-куба на весах ПВ-30

9.4 Проведение испытаний. Общие требования

Все образцы одной серии должны быть испытаны в расчетном возрасте в течение не более 1 ч.

Перед установкой образца на пресс или испытательную машину удаляют частицы бетона, оставшиеся от предыдущего испытания на опорных плитах пресса.

Шкалу силоизмерителя испытательной машины, пресса или испытательной установки выбирают из условия, что ожидаемое значение разрушающей нагрузки должно быть в интервале 20–80 % максимальной нагрузки, допускаемой выбранной шкалой.

Нагружение образцов производят непрерывно со скоростью, обеспечивающей повышение расчетного напряжения в образце до его полного разрушения в пределах $(0,6 \pm 0,4)$ МПа/с при испытаниях на сжатие и в пределах $(0,05 \pm 0,02)$ МПа/с при испытаниях на растяжение. При этом время нагружения одного образца должно быть **не менее 30 с**.

Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принимают за разрушающую нагрузку и записывают в журнал испытаний.

Разрушенный образец необходимо подвергнуть визуальному осмотру и отметить в журнале испытаний:

- характер разрушения;

- наличие крупных (объемом более 1 см^3) раковин и каверн внутри образца;
- наличие зерен заполнителя размером более $1,5d_{\text{max}}$, комков глины, следов расслоения.

Результаты испытаний образцов, имеющих перечисленные дефекты структуры и характер разрушения, **учитывать не следует**.

9.5 Испытания на сжатие

При испытании на сжатие образцы-кубы и цилиндры устанавливают одной из выданных граней на нижнюю опорную плиту пресса (или испытательной машины) центрально относительно его продольной оси, используя риски, нанесенные на плиту пресса, дополнительные стальные плиты или специальное центрирующее устройство (рис. 9.5).

Между плитами пресса и опорными поверхностями образца допускается прокладывать дополнительные стальные опорные плиты.

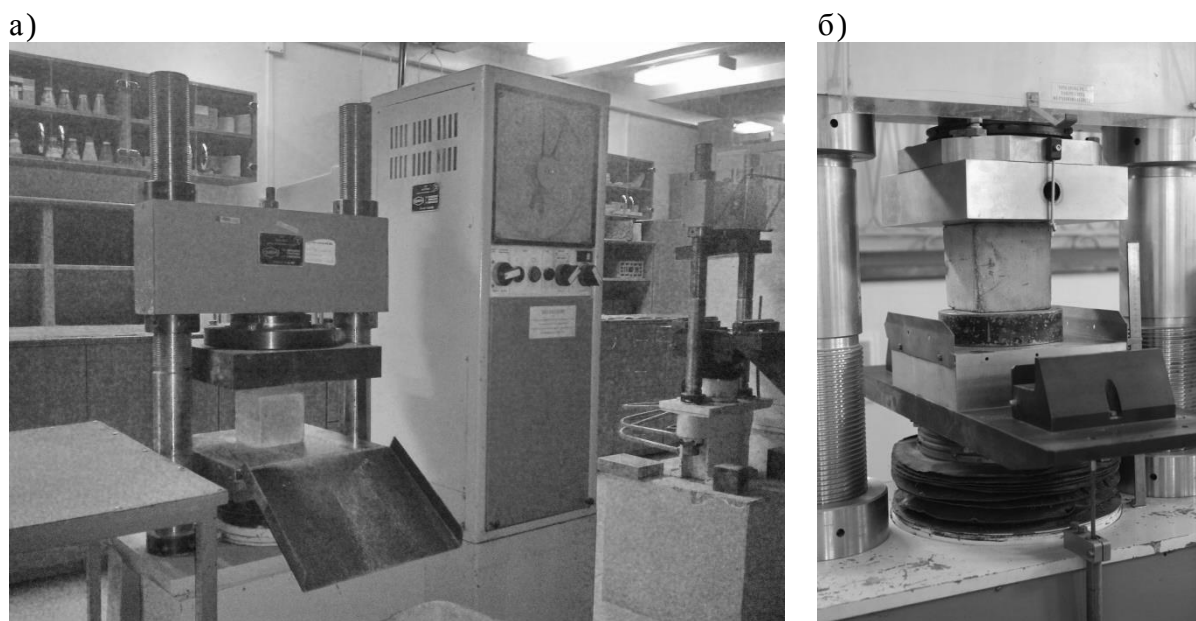


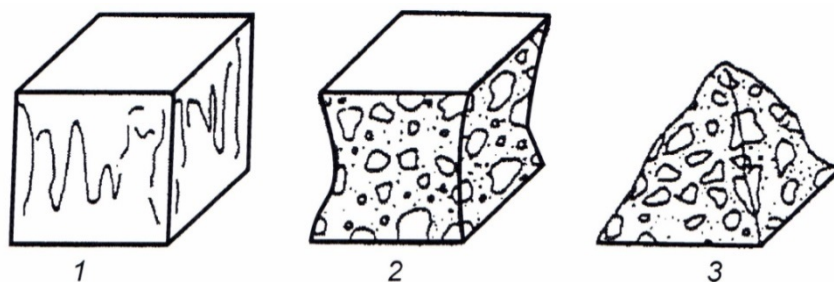
Рис. 9.5. Проведение испытаний на сжатие образцов-кубов:
а – на испытательном прессе МС-500; б – на испытательном прессе МИС-200К
(производитель прессов «Точмашприбор», Армавир, Россия)

После установки образца на опорные плиты испытательной машины или дополнительные стальные плиты совмещают верхнюю плиту испытательной машины с верхней опорной гранью образца так, чтобы их плоскости полностью прилегали одна к другой. Образец нагружают до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки $(0,6 \pm 0,2) \text{ МПа/с}$. Отметим, что современные испытательные машины (например, МИС-2000К

и др.) оснащены компьютерной системой управления, осуществляющей автоматический подбор и поддержание требуемой скорости нагружения.

После проведения испытаний необходимо выполнить визуальный контроль разрушенного образца и в случае его **разрушения по одной из неудовлетворительных схем**, приведенных в приложении Е ГОСТ 10180 и на рисунках 9.6, 9.7, данный результат **не учитывать** с внесением соответствующей записи в журнал испытаний.

а)



б)

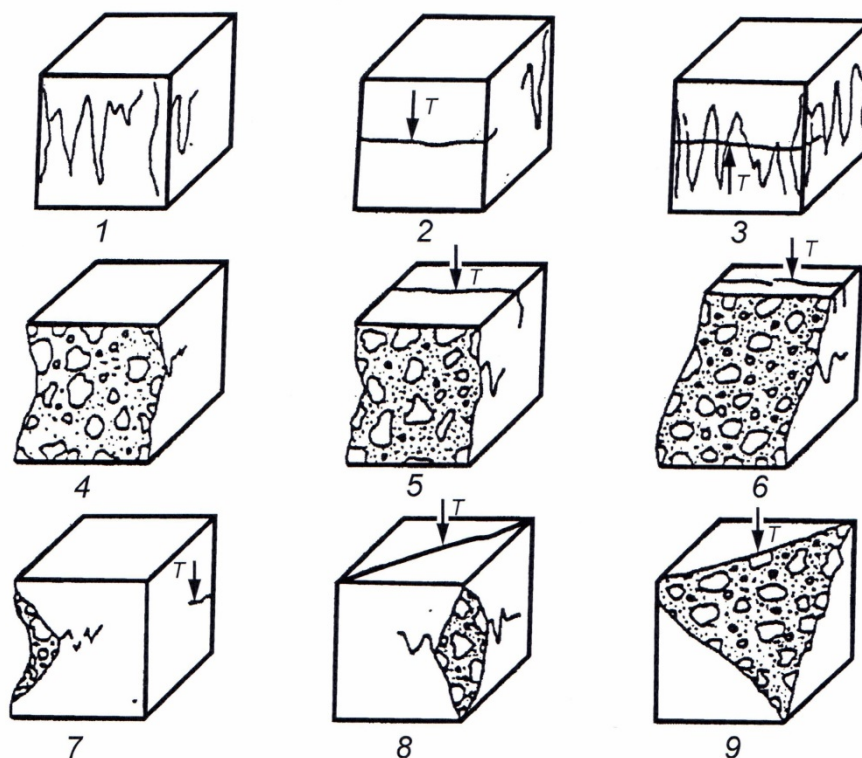
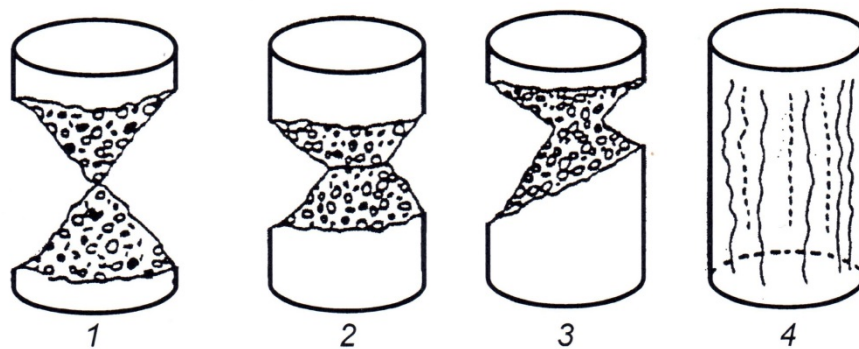


Рис. 9.6. Примеры разрушений образцов-кубов при испытаниях на сжатие:
а – удовлетворительные; б – неудовлетворительные

а)



б)

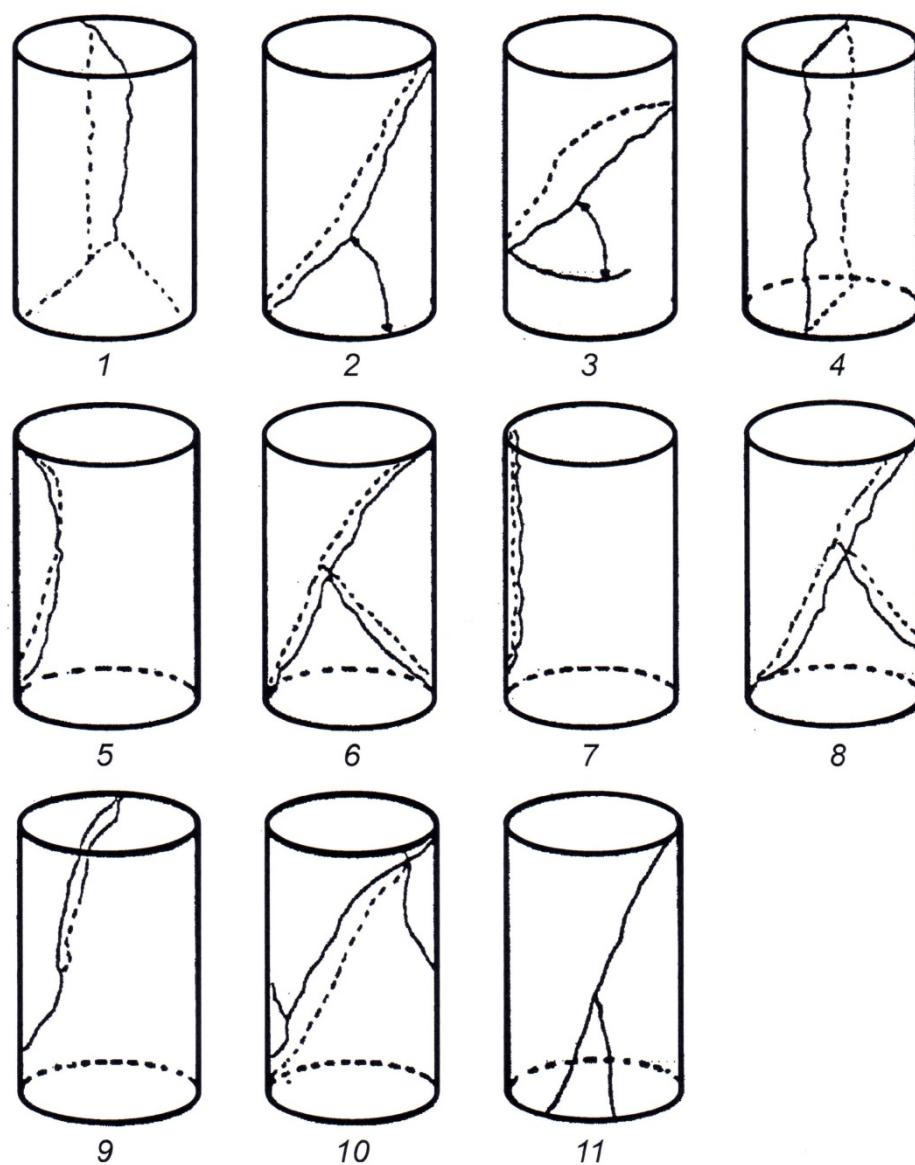


Рис. 9.7. Примеры разрушений образцов-цилиндров при испытаниях на сжатие:
а – удовлетворительные; б – неудовлетворительные

9.6 Испытание на растяжение при изгибе

Испытание производится по схеме, приведенной на рисунке 9.8. Образец-призма устанавливается в испытательную машину и нагружается до разрушения с постоянной скоростью нарастания нагрузки ($0,05 \pm 0,01$) МПа/с. Размеры образца-призмы указаны в таблице 9.5.

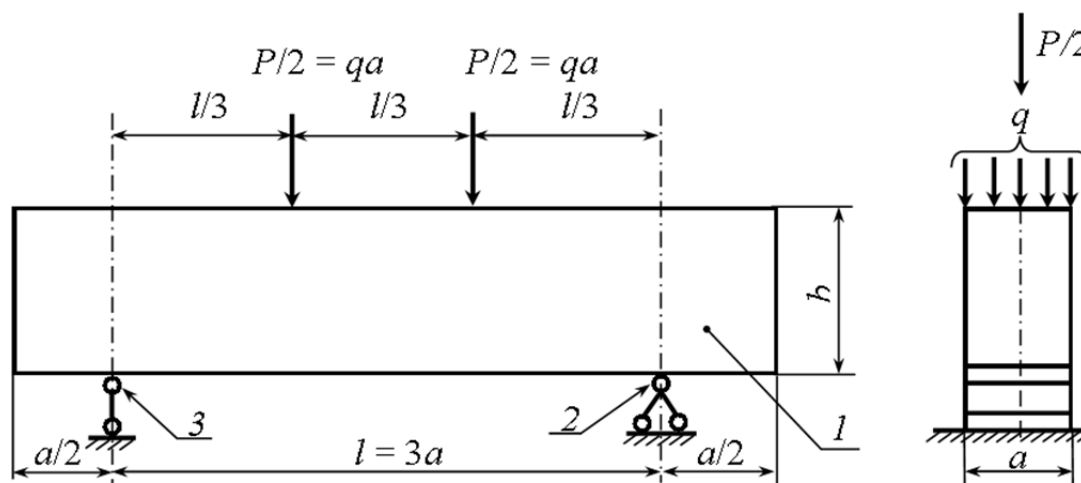


Рис. 9.8. Схема испытания на растяжение при изгибе:
1 – образец; 2 – шарнирно-неподвижная опора; 3 – шарнирно-подвижная опора

Для испытаний на изгиб используются стандартные испытательные машины (прессы) с дополнительными приспособлениями для изгиба (рис. 9.9, 9.10).

а)



б)



Рис. 9.9. Испытания бетонных образцов на растяжение при изгибе:
а – приспособление для испытаний; б – проведение испытаний на прессе МС-100



Рис. 9.10. Испытание бетонных образцов на растяжение при изгибе на универсальной испытательной машине AGX-300kN (Шимадзу, Япония) с использованием штатных приспособлений

Если образец разрушился не в средней трети пролета или плоскость разрушения образца наклонена к вертикальной плоскости более чем на 15° , то при определении средней прочности бетона серии образцов этот результат испытания не учитывают.

9.7 Испытания на растяжение при раскалывании

Испытания на растяжение при раскалывании проводят по схемам, приведенным на рисунке 9.11. Для их реализации необходимы специальные приспособления (испытательное устройство для раскалывания): дополнительная опора и нож (рис. 9.12, а). Образцы устанавливаются на плиты пресса или в испытательное устройство и нагружают до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки $(0,05 \pm 0,01)$ МПа/с.

Для равномерной передачи нагрузки ГОСТ 10180 рекомендует использовать между стальным колющим ножом и поверхностью образца-куба или между опорными плитами и поверхностью образца-цилиндра прокладки из фанеры (использовать не более двух раз) или картона (использовать один раз) длиной не менее длины образца, шириной (15 ± 1) мм, и толщиной (4 ± 1) мм. Образцы-призмы последовательно раскалывают в нескольких сечениях по длине. Расстояние между сечениями раскалывания должно быть не менее половины высоты призмы (рис. 9.11, в). На рисунке 9.12, б приведен пример определения прочности бетона на растяжение при раскалывании на образцах-призмах.

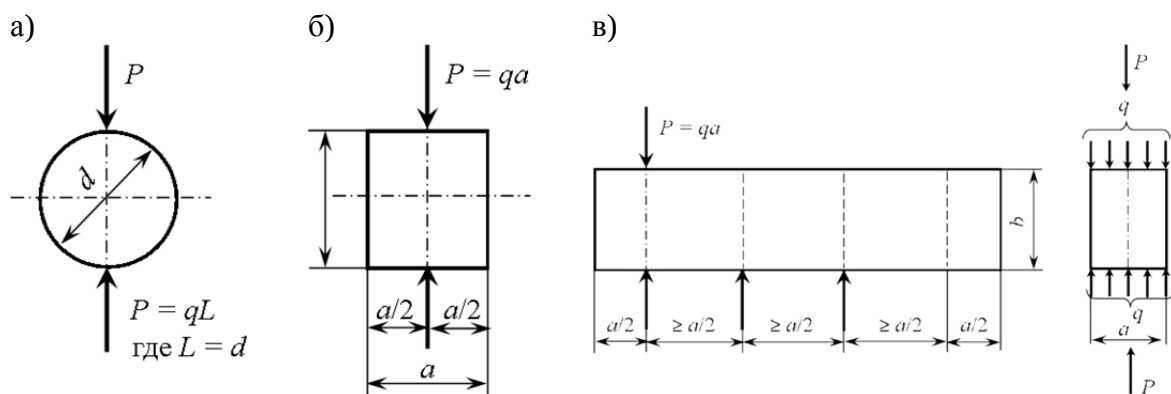


Рис. 9.11. Схемы испытаний на раскалывание: а – образцы-цилиндры из бетона всех видов (кроме ячеистого); б – образцы-кубы из бетона всех видов; в – образцы-призмы из тяжелого бетона

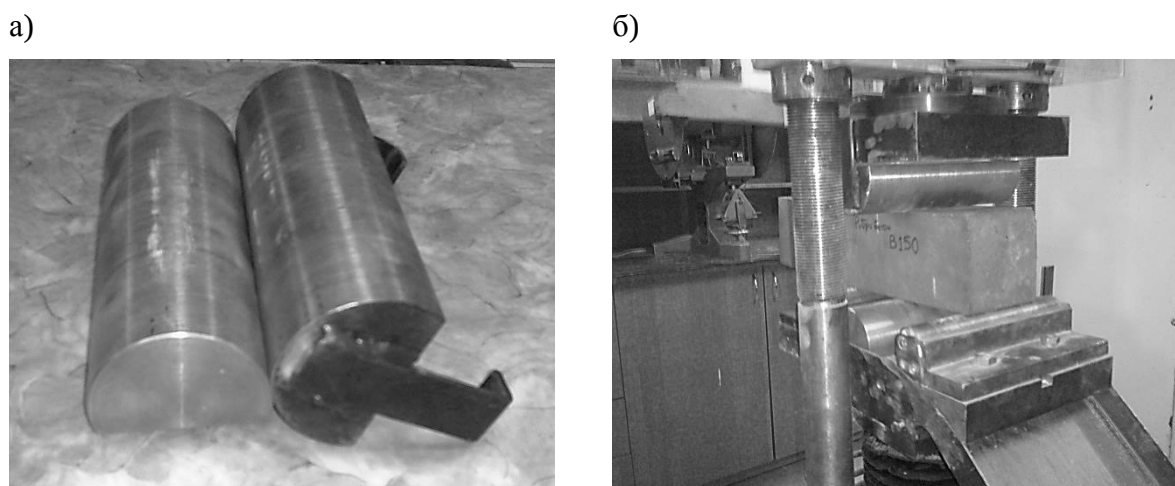


Рис. 9.12. Испытание образца-призмы на растяжение при раскалывании на испытательном прессе МС-100: а – дополнительные приспособления (опора и нож) для проведения испытаний; б – процесс проведения испытаний

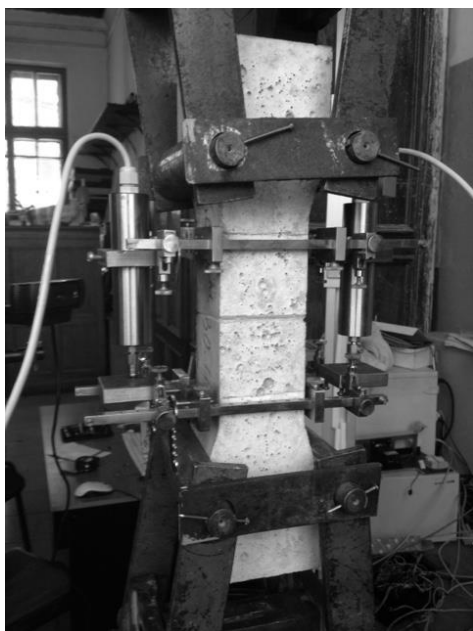
Результаты испытаний **не учитывают**, если плоскость образца наклонена к вертикальной плоскости более чем на 15° .

9.8 Испытание на осевое растяжение

Образец закрепляют в испытательной машине при помощи специальных захватов (рис. 9.13, а). Нагружение производится до разрушения с постоянной скоростью $(0,05 \pm 0,01)$ МПа/с. На рисунке 9.13, б показаны образцы-призмы до и после испытаний на осевое растяжение.

Результаты испытаний **не учитывают**, если разрушение образца произошло вне рабочей зоны или плоскость образца наклонена к его горизонтальной оси более чем на 15° .

а)



б)



Рис. 9.13. Испытание образцов-призм из бетона на осевое растяжение:
а – приспособления для закрепления образцов-призм в испытательной машине;
б – образцы-призмы до и после испытаний

9.9 Обработка и оценка результатов

Прочность бетона следует вычислять с точностью до 0,1 МПа (1 кгс/см²) при испытаниях на сжатие и до 0,01 МПа (0,1 кгс/см²) при испытаниях на растяжение для каждого образца по формулам:

на сжатие
$$R = \alpha \frac{P}{F} k_w; \quad (9.1)$$

на осевое растяжение
$$R_t = \beta \frac{P}{F} k_w; \quad (9.2)$$

на растяжение при раскалывании
$$R_{tt} = \gamma \frac{2P}{\pi F} k_w; \quad (9.3)$$

на растяжение при изгибе
$$R_{tf} = \delta \frac{Pl}{ab^2} k_w, \quad (9.4)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н (кгс);

F – площадь рабочего сечения образца, мм² (см²);

a , b , l – соответственно ширина, высота поперечного сечения призмы и расстояние между опорами при испытании образцов на растяжение при изгибе, мм (см);

α , γ , δ – масштабные коэффициенты для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы;

k_w – поправочный коэффициент для ячеистого бетона, учитывающий влажность образцов в момент испытания.

Примечание. Отметим, что в ГОСТ 10180 нагрузка обозначена символом F , площадь поперечного сечения – A ; однако с целью единства всех обозначений в данном пособии эти показатели были обозначены как и ранее: P – сила; F – площадь.

Значения масштабных коэффициентов следует определять экспериментально по приложению Л ГОСТ 10180. Допускается значения масштабных коэффициентов α , β , γ и δ для отдельных видов бетонов принимать по таблице 9.7.

Таблица 9.7

Значения масштабных коэффициентов

Форма и размеры образца, мм	Масштабные коэффициенты при испытании				
	на сжатие всех видов бетонов, кроме ячеистого, α	на растяжение при раскалывании γ		на растяжение при изгибе тяжелого бетона δ	на осевое растяжение β
		тяжелого бетона	мелкозернистого бетона		
Куб (ребро) или квадратная призма (сторона поперечного сечения):					
70	0,85	0,78	0,87	0,86	0,85
100	0,95	0,88	0,92	0,92	0,92
150	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
200	1,05	1,10	1,05	1,15	1,08
250	1,08	–	–	1,25	–
300	1,10	–	–	1,34	–
Цилиндры [диаметр × высоту (длину)]					
100 × 200	1,16	0,98	0,99	–	–
150 × 300	1,20	1,13	1,08	–	–
200 × 400	1,24	–	–	–	–
300 × 600	1,28	–	–	–	–

Примечания:

1. Для ячеистого бетона со средней плотностью менее 400 кг/м³ масштабный коэффициент α следует принимать равным 1,0 независимо от размеров и формы образцов.

2. Для ячеистого бетона со средней плотностью 400 кг/м³ и более масштабный коэффициент α для выбуренных цилиндров диаметром и высотой 70 мм и выпиленных кубов с ребром длиной 70 мм принимают равным 0,90, для цилиндров диаметром и высотой 100 мм и кубов с ребром длиной 100 мм – равным 0,95.

3. Применение экспериментальных масштабных коэффициентов α , β , γ и δ по приложению Л ГОСТ 10180, отличающихся от единицы в сторону увеличения или уменьшения более, чем это указано в настоящей таблице для отдельных видов бетонов и размеров образцов, не допускается.

Прочность бетона (кроме ячеистого) в серии образцов определяют как среднее арифметическое значение в серии:

- из двух образцов – по двум образцам;
- из трех образцов – по двум наибольшим по прочности образцам;
- из четырех образцов – по трем наибольшим по прочности образцам;
- из шести образцов – по четырем наибольшим по прочности образцам.

При отбраковке дефектных образцов прочность бетона в серии образцов определяют по всем оставшимся образцам, если их не менее двух. Результаты испытания серии из двух образцов при отбраковке одного образца **не учитывают**.

Для ячеистого бетона прочность в серии образцов определяют как среднее арифметическое значение всех испытанных образцов серии.

В приложениях ГОСТ 10180 приведены рекомендуемые формы журналов испытаний при определении прочности контрольных образцов бетона на сжатие.

9.10 Определение призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона

Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона бетона регламентированы ГОСТ 24452–80 «Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона».

Испытание для определения указанных показателей свойств бетона производится путем постепенного (ступенчатого) нагружения образцов-призм или образцов-цилиндров стандартных размеров осевой сжимающей нагрузкой до разрушения при определении призмной прочности и до уровня 30 % разрушающей нагрузки с измерением в процессе нагружения образцов их деформации при определении модуля упругости и коэффициента Пуассона.

Призмная прочность, модуль упругости и коэффициент Пуассона вычисляются по определенным в процессе испытания нагрузкам (P_p и $0,3P_p$), а также и продольным и поперечным относительным упругим деформациям (ε_{1y} и ε_{2y}).

Призмную прочность, модуль упругости и коэффициент Пуассона следует определять на образцах-призмах квадратного сечения или образцах-цилиндрах круглого сечения с отношением высоты к ширине (диаметру), равным 4. Ширина (диаметр) образцов должна приниматься равной 70,

100, 150, 200 или 300 мм в зависимости от назначения и вида конструкций и изделий. За базовый принимают образец размерами 150×150×600 мм. Серия должна состоять из трех образцов.

Для измерения деформаций следует применять тензометры или другие приборы, обеспечивающие измерение относительных деформаций с точностью не ниже $1 \cdot 10^{-5}$ (рис. 9.14) Допускается использовать проводниковые тензорезисторы, наклеиваемые на поверхность бетона.

а)



б)



Рис. 9.14. Определение призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона: а – образец-призма с установленными на нем датчиками деформаций от прибора «Терем»; б – процесс проведения испытаний на прессе

Тензометры и индикаторы для измерения деформации устанавливают на образце с помощью прижимных приспособлений (рамок, струбцин, опорных вставок) в соответствии с фиксируемой базой измерения деформаций. Прижимные приспособления должны обеспечивать неизменное положение тензометров и индикаторов относительно образца в процессе измерения деформации.

При определении модуля упругости и коэффициента Пуассона шкалу силоизмерителя испытательного пресса (машин) выбирают из условия, что ожидаемое значение разрушающей нагрузки P_p должно быть от 70 до 80 % от максимальной, допускаемой выбранной шкалой.

Перед испытанием образец с приборами устанавливают центрально по разметке плиты пресса и проверяют совмещение начального отсчета с делением шкалы прибора.

Начальное усилие обжатия образца, которое в последующем принимают за условный ноль, должно быть не более 2 % от ожидаемой разрушающей нагрузки.

Величину ожидаемой разрушающей нагрузки при испытании образцов устанавливают по значениям прочности бетона, принятым в технической документации, или по прочности на сжатие изготовленных из одного замеса образцов-кубов. Ее значение при одинаковых сечениях кубов и призм следует принимать от 80 до 90 % от средней разрушающей нагрузки образцов-кубов.

При центрировании образцов необходимо, чтобы в начале испытания от условного нуля до нагрузки, равной $(40 \pm 5\%) P_p$, отклонения деформаций по каждой грани (образующей) не превышали 15 % их среднего арифметического значения.

При несоблюдении этого требования при нагрузке, равной или большей $(15 \pm 5\%) P_p$, следует разгрузить образец, сместить его относительно центральной оси разметки плиты пресса в сторону больших деформаций и вновь произвести его центрирование.

Образец бракуют после пяти неудачных попыток его центрирования.

При определении призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона бетона нагружение образца до уровня нагрузки, равной $(40 \pm 5\%) P_p$, следует производить ступенями, равными 10 % ожидаемой разрушающей нагрузки, сохраняя в пределах каждой ступени скорость нагружения $(0,6 \pm 0,2)$ МПа/с.

На каждой ступени следует производить выдержку нагрузки от 4 до 5 мин (при нагреве до 15 мин) и записывать отсчеты по приборам в начале и в конце выдержки ступени нагрузки в журнал, рекомендуемая форма которого приведена в приложении 4 ГОСТ 24452.

При нагрузке, равной $(40 \pm 5) \%$ от P_p , приборы снимают с образца (если нет других требований, предусмотренных программой испытания).

После снятия приборов дальнейшее нагружение образца следует производить непрерывно с постоянной скоростью.

Призменную прочность $R_{пр}$ вычисляют для каждого образца по формуле:

$$R_p = \frac{P_p}{F}, \quad (9.5)$$

где P_p – разрушающая нагрузка, измеренная по шкале силоизмерителя прессы (машины);

F – среднее значение площади поперечного сечения образца, определяемое по его линейным размерам.

Модуль упругости E_σ вычисляют для каждого образца при уровне нагрузки, составляющей 30 % от разрушающей, по формуле:

$$E_\sigma = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_{1y}}, \quad (9.6)$$

где $\sigma_1 = P_1/F$ – приращение напряжения от условного нуля до уровня внешней нагрузки, равной 30 % от разрушающей;

P_1 – соответствующее приращение внешней нагрузки;

ε_{1y} – приращение упругомгновенной относительной продольной деформации образца, соответствующее уровню нагрузки $P_1 = 0,3P_p$ и замеренное в начале каждой ступени ее приложения.

В пределах ступени нагружения деформации определяют по линейной интерполяции.

Коэффициент Пуассона бетона вычисляют для каждого образца при нагрузке, составляющей 30 % от разрушающей, по формуле:

$$\mu = -\frac{\varepsilon_{2y}}{\varepsilon_{1y}}, \quad (9.7)$$

где ε_{2y} – приращение упругомгновенной относительной поперечной деформации образца, соответствующее уровню нагрузки $P_1 = 0,3P_p$ и замеренное в начале каждой ступени ее приложения.

Значения ε_{1y} и ε_{2y} определяют по формулам:

$$\varepsilon_{1y} = \varepsilon_1 - \Sigma \varepsilon_{1n}; \quad (9.8)$$

$$\varepsilon_{2y} = \varepsilon_2 - \Sigma \varepsilon_{2n}, \quad (9.9)$$

где ε_1 и ε_2 – приращения полных относительных продольных и поперечных деформаций образца, соответствующие уровню нагрузки $P_1 = 0,3P_p$ и замеченные в конце ступени ее приложения; $\Sigma\varepsilon_{1n}$ и $\Sigma\varepsilon_{2n}$ – приращения относительных продольных и поперечных деформаций быстроснабжающей ползучести, полученные при выдержках нагрузки на ступенях нагружения до уровня нагрузки $P_1 = 0,3P_p$.

Приращения относительных продольных и поперечных деформаций вычисляют как среднее арифметическое показаний приборов по четырем граням призмы или трем-четырем образующим цилиндра.

Значения относительных деформаций определяют по формулам:

$$\varepsilon_1 = \Delta l_1 / l_1; \quad (9.10)$$

$$\varepsilon_2 = \Delta l_2 / l_2, \quad (9.11)$$

где Δl_1 , Δl_2 – абсолютные приращения продольной и поперечной деформаций образца, вызванные соответствующим приращением напряжений; l_1 , l_2 – фиксированные базы измерения продольной и поперечной деформации образца.

При использовании тензорезисторов и других аналогичных приборов, шкалы которых проградуированы в относительных единицах деформаций, величины ε_1 и ε_2 определяют непосредственно по шкалам измерительных приборов.

При определении средних значений призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона в серии образцов предварительно отбраковывают сильно отклоняющиеся (аномальные) результаты испытаний.

Для отбраковки аномальных результатов в серии из трех образцов сравнивают значения y_i призмочной прочности, модуля упругости или коэффициента Пуассона в серии, показавших наибольшие и наименьшие значения этих величин со средними их значениями в серии $\bar{y}$, определенными по формуле (9.12), и проверяют в соответствии с требованиями ГОСТ 10180–2012 выполнение условий, изложенных в приложении А ГОСТ 10180 (формулы А.2 и А.3). Если условия не выполняются, то действуют в соответствии с требованиями ГОСТ 10180; если выполняются, то средние значения призмочной прочности бетона, его модуля упругости или коэффициента Пуассона в серии образцов определяют по формуле:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (9.12)$$

где $\bar{y}$ – среднее значение указанных величин в серии образцов данного размера;

y_i – значение указанных величин по отдельным образцам;
 n – число образцов в серии.

9.11 Истираемость бетона

Истираемость бетона определяют по методике, регламентированной ГОСТ 13087–81 «Бетоны. Методы определения истираемости». Данный стандарт устанавливает методы определения истираемости бетонов сухим абразивом на круге истирания (для бетонов дорожных конструкций, полов, лестниц и других конструкций).

Для испытаний применяется специализированный лабораторный круг истирания (например, типа ЛКИ-3, рис. 9.15).



Рис. 9.15. Лабораторный круг истирания типа ЛКИ-3

Образцы для испытаний на круге истирания должны иметь форму куба с ребром длиной 70 мм или цилиндра диаметром и высотой 70 мм. Образцы испытывают сериями. Число образцов в серии должно быть не менее трех.

Предварительно определяют массу и размеры образцов с погрешностью не более 0,2 % от измеряемой величины.

Температура воздуха в помещении, где проводят испытания, должна быть $(25 \pm 10) ^\circ\text{C}$, а относительная влажность $(50 \pm 20) \%$.

В качестве истирающего элемента используется шлифзерно №16 по ГОСТ 3647–80 «Материалы шлифовальные. Классификация. Зернистость и зерновой состав. Методы контроля» или нормальный вольский песок по ГОСТ 6139–2003 «Песок для испытаний цемента. Технические условия».

Подготовка к испытанию

Испытание бетона на круге истирания проводят на воздушно-сухих образцах, предварительно выдержанных не менее 2 суток в помещении с нормальными температурно-влажностными условиями, либо на образцах, предварительно насыщенных водой по 78 ГОСТ 12730.3–78 «Бетоны. Метод определения водопоглощения» в зависимости от условий работы конструкции (на улице или в помещении).

Истиранию подвергают нижнюю грань образца. Перед испытанием образцы взвешивают и измеряют площадь истираемой грани.

Неплоскостность поверхности истираемой грани образцов не должна превышать 0,05 мм на 100 мм длины. Определение неплоскостности производят по ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Боковые грани образцов-кубов, перпендикулярные истираемой грани, перед испытанием нумеруют цифрами 1, 2, 3, 4 и в соответствии с этой нумерацией образец поворачивают при проведении испытаний.

Образцы устанавливают в специальные гнезда круга истирания (рис. 9.16). После установки проверяют возможность свободного перемещения образцов в гнездах в вертикальной плоскости.



Рис. 9.16. Испытания на истираемость бетона: образец установлен в специальном гнезде

К каждому образцу (по центру) прикладывают сосредоточенную вертикальную нагрузку (рис. 9.17) величиной (300 ± 5) Н, что соответствует давлению (60 ± 1) кПа.



Рис. 9.17. Испытания на истираемость:
приложение сосредоточенной вертикальной нагрузки

На истирающий диск равномерным слоем насыпают первую порцию (20 ± 1) г шлифзерна 16 (на первые 30 м пути истирания каждого образца).

При испытании на круге истирания водонасыщенных образцов истирающий диск перед нанесением на него первой порции абразива протирают влажной тканью, а каждые 20 г абразива равномерно увлажняют 15 мл воды.

Одновременно на круге истирания типа ЛКИ-3 устанавливаются два образца. После установки образцов и нанесения на истирающий диск абразива включают привод круга и производят истирание.

Через каждые 30 м пути истирания, пройденного образцами (28 оборотов на истирающем круге типа ЛКИ-3), истирающий диск останавливают. С него удаляют остатки абразивного материала и истертого в порошок бетона, насыпают на него новую порцию абразива и снова включают привод истирающего круга. Указанную операцию повторяют 5 раз, что составляет 1 цикл испытаний (150 м пути испытания).

После каждого цикла испытаний образец (образцы) вынимают из гнезда, поворачивают на 90° в горизонтальной плоскости (вокруг вертикальной оси) и проводят следующие циклы испытаний. Всего проводят 4 цикла испытаний для каждого образца (общий путь истирания равен 600 м).

После 4 циклов испытания образцы вынимают из гнезд.

Воздушно-сухие образцы обтирают сухой тканью и взвешивают (рис. 9.18). Водонасыщенные образцы помещают на 30 мин в воду, затем протирают влажной тканью и взвешивают.

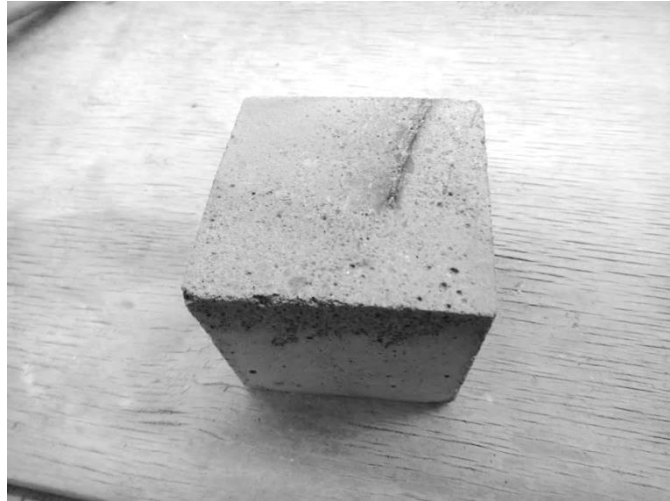


Рис. 9.18. Воздушно-сухой образец после испытаний на истираемость

Обработка результатов

Истираемость бетона на круге истирания G_1 , г/см², характеризующую потерей массы образца, определяют с погрешностью до 0,1 г/см² для отдельного образца по формуле:

$$G_1 = \frac{m_1 - m_2}{F}, \quad (9.13)$$

где m_1 – масса образца до испытания, г;

m_2 – масса образца после 4 циклов испытания, г;

F – площадь истираемой грани образца, см².

Истираемость бетона серии образцов $\bar{G}_c$ определяют с погрешностью до 0,1 г/см² как среднее арифметическое значение результатов определения истираемости отдельных образцов серии по формуле:

$$\bar{G}_c = \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{n}, \quad (9.14)$$

где n – число образцов в серии.

10 БЕТОН. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРОК БЕТОНА ПО ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ И МОРОЗОСТОЙКОСТИ

10.1 Определение водонепроницаемости бетона по методу мокрого пятна

Методы определения водонепроницаемости бетона, а также требования к оборудованию, образцам и порядок проведения испытаний регламентирует ГОСТ 12730.5–84 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости».

Базовым методом для определения водонепроницаемости является *метод мокрого пятна*.

Для проведения испытаний применяют установку, которая имеет не менее шести гнезд для крепления образцов и обеспечивает возможность подачи воды к нижней торцевой поверхности образцов при возрастающем ее давлении, а также возможность наблюдения за состоянием верхней торцевой поверхности образцов (рис. 10.1).



Рис. 10.1. Установка УВФ-6 для определения водонепроницаемости бетона

Для изготовления образцов используют цилиндрические формы с внутренним диаметром 150 мм и высотой 150; 100; 50 и 30 мм.

Перед испытанием изготовленные образцы хранят в камере нормального твердения при температуре $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха не менее 95 % 28 суток.

Проведение испытания

Образцы в обойме устанавливают в гнезда установки для испытания и надежно закрепляют (рис.10.2–10.3).

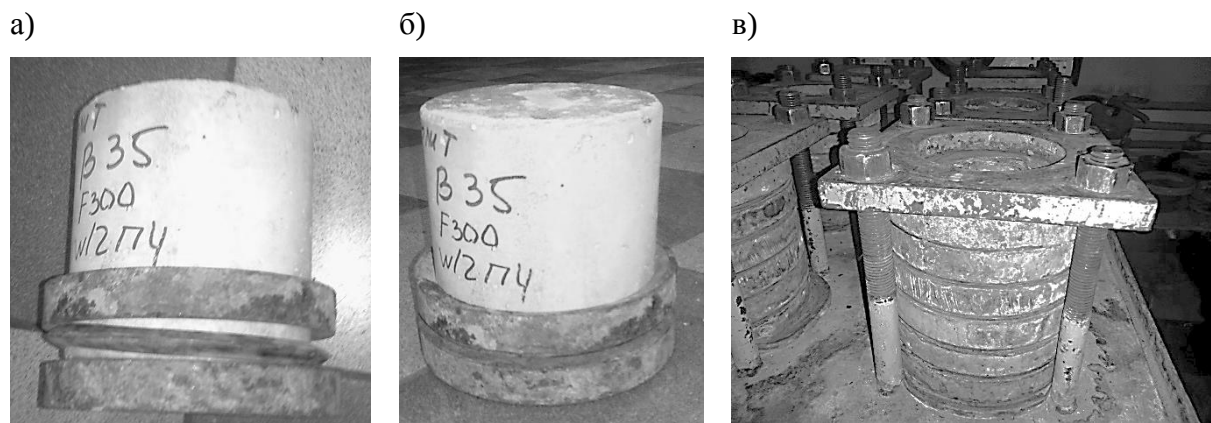


Рис. 10.2. Установка образца в гнездо для испытаний: а, б – установка обоймы; в – образец, установленный в гнездо

Давление воды повышают ступенями по 0,2 МПа в течение 1–5 мин и выдерживают на каждой ступени в течение времени, указанного в таблице 10.1. Испытание проводят до появления на верхней торцевой поверхности образца признаков фильтрации воды в виде капель или мокрого пятна. На рисунке 10.3, а образец еще не протек, на рисунке 10.3, б – протек.

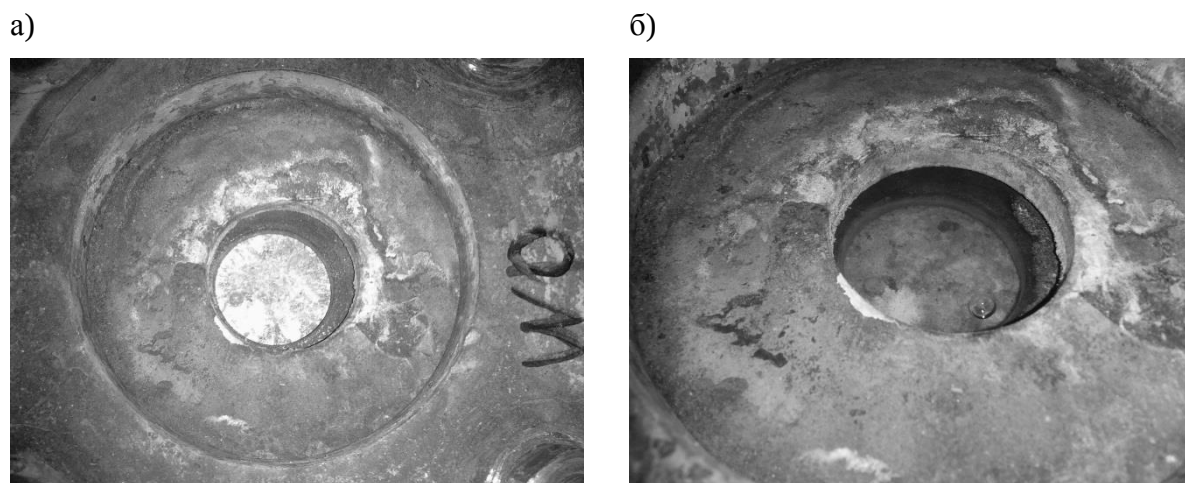


Рис. 10.3. Испытание на водонепроницаемость по методу мокрого пятна: а – образец еще не протек; б – образец протек

Таблица 10.1

Время выдержки образцов на каждой ступени

Высота образца, мм	150	100	50	30
Время выдерживания на каждой ступени, ч	16	12	6	4

Водонепроницаемость каждого образца оценивают максимальным давлением воды, при котором еще не наблюдалось ее просачивание через образец.

Водонепроницаемость серии образцов оценивают максимальным давлением воды, при котором на четырех из шести образцов не наблюдалось просачивание воды.

Марку бетона по водонепроницаемости принимают по таблице 10.2.

Таблица 10.2

Марки бетона по водонепроницаемости

Водонепроницаемость серии образцов, МПа	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
Марка бетона по водонепроницаемости	W2	W4	W6	W8	W10	W12

Результаты испытаний заносят в журнал, в котором фиксируют маркировку образцов, дату проведения испытаний, возраст бетона, значение водонепроницаемости отдельных образцов и серии образцов.

10.2 Ускоренный метод определения водонепроницаемости бетона по его воздухопроницаемости

Образцы изготавливают в цилиндрических формах с внутренним диаметром 150 мм. Допускается испытывать образцы-кубы с ребром длиной 150 мм. В серии 6 образцов. Возможно использовать керны диаметром 150 мм, отобранные из конструкции. На рисунке 10.4 показан процесс отбора кернов из монолитной железобетонной конструкции.

При хранении образцов должна быть исключена возможность попадания воды на их поверхность.

При проведении испытаний используют устройство типа «Агама-2Р» для определения воздухопроницаемости бетона, принципиальная схема которого приведена на рисунке 10.5.

а)



б)

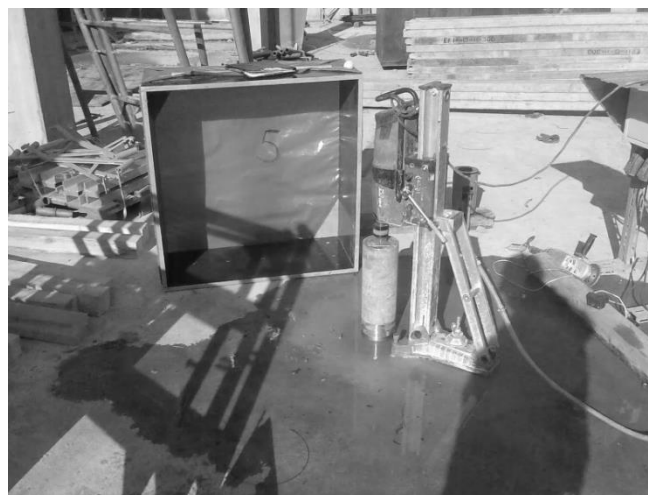


Рис. 10.4 Отбор образцов-цилиндров диаметром 150 мм из железобетонной плиты:
а – процесс выбуривания; б – оборудование для выбуривания – бурильная машинка производства компании Hilti

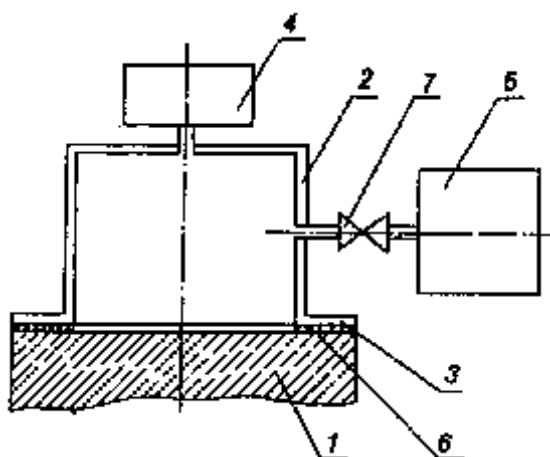


Рис. 10.5. Принципиальная схема устройства для определения воздухопроницаемости поверхностных слоев бетона:

1 – бетонный образец; 2 – камера устройства; 3 – фланец камеры;
4 – вакуумметрический датчик; 5 – вакуум-насос; 6 – герметизирующая мастика;
7 – вентиль

Проведение испытаний

При испытании герметизирующую мастику жгутом диаметром не менее 6 мм укладывают на фланец камеры по его средней линии и соединяют концы. Камеру фланцем устанавливают на нижнюю (по условиям формования) поверхность образца и в полости камеры создают разрежение не менее 0,064 МПа (рис. 10.6).

В соответствии с инструкцией по эксплуатации устройства «Агама-2Р» определяют значение параметра воздухопроницаемости бетона a_i , см³/с, для каждого образца или обратное ему значение сопротивления бетона прониканию воздуха m_i , с/см³.

а)



б)



Рис. 10.6. Определение воздухопроницаемости бетона:
а – проведение испытаний прибором «Агама-2Р»; б – вид сверху (крупно)

Полученные значения a_i , см³/с, бетона образцов записывают в порядке их возрастания и определяют среднее арифметическое значение a_c , см³/с, двух средних образцов (третьего и четвертого) в качестве параметра, характеризующего воздухопроницаемость бетона.

По таблице 10.3 (или установленной самостоятельно экспериментальной градуировочной зависимости) определяют марку бетона по водонепроницаемости W , соответствующую полученному значению a_c (или m_c).

Таблица 10.3

Определение марки бетона по водонепроницаемости в зависимости от параметра воздухопроницаемости

Параметр воздухопроницаемости бетона a_c , см ³ /с	Сопротивление бетона прониканию воздуха m_c , с/см ³	Марка бетона по водонепроницаемости
0,325–0,224	3,1–4,5	W2
0,223–0,154	4,6–6,5	W4
0,153–0,106	6,6–9,4	W6
0,105–0,0728	9,5–13,7	W8
0,0727–0,0510	13,8–19,6	W10
0,0509–0,0345	19,7–29,0	W12
0,0344–0,0238	29,1–42,0	W14
0,0237–0,0164	42,1–60,9	W16
0,0163–0,0113	61,0–88,5	W18
0,0112–0,0077	88,6–130,2	W20

10.3. Определение марки бетона по морозостойкости

Методы определения морозостойкости бетона регламентирует ГОСТ 10060–2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости». Данный стандарт распространяется на тяжелые, мелкозернистые, легкие и плотные силикатные бетоны, в том числе на бетоны дорожных и аэродромных покрытий, а также бетоны конструкций, эксплуатирующихся в условиях минерализованной воды. ГОСТ 10060 устанавливает базовые и ускоренные методы определения морозостойкости.

Под **морозостойкостью бетона** понимают его способность в водонасыщенном или насыщенном растворе соли состоянии выдерживать многократное замораживание и оттаивание без внешних признаков разрушения (трещин, сколов), снижения прочности, изменения массы и других технических характеристик, приведенных ниже.

Марка бетона по морозостойкости – показатель морозостойкости бетона, соответствующий числу циклов замораживания и оттаивания образцов, определенному при испытании базовыми методами, при которых характеристики бетона сохраняются в нормируемых пределах и отсутствуют внешние признаки разрушения (трещины, сколы).

В зависимости от среды, в которой эксплуатируется конструкция, подвергается она воздействию соли или нет, установлены две марки по морозостойкости: F_1 и F_2 .

Марка бетона по морозостойкости F_1 . Марка по морозостойкости бетона, испытанного в водонасыщенном состоянии, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий, а также бетонов, эксплуатируемых при воздействии минерализованной воды.

Марка бетона по морозостойкости F_2 . Марка по морозостойкости бетона дорожных и аэродромных покрытий и бетона, эксплуатируемого при воздействии минерализованной воды, определенная при испытании образцов, насыщенных 5%-ным водным раствором хлорида натрия.

Цикл испытания. Совокупность одного периода замораживания и оттаивания образцов.

Основные образцы. Образцы, предназначенные для определения нормируемых настоящим стандартом характеристик после проведения заданного числа циклов замораживания и оттаивания.

Контрольные образцы. Образцы, предназначенные для определения нормируемых настоящим стандартом характеристик перед началом испытания основных образцов.

Определение морозостойкости. Оценка максимального числа циклов замораживания и оттаивания бетона, при котором характеристики бетона остаются в нормированных пределах, а также отсутствуют трещины, сколы, шелушение ребер образцов.

Критическое снижение характеристик образцов. Снижение характеристик образцов при определении морозостойкости до значений, при которых прекращают испытания образцов.

ГОСТ 10060 устанавливает следующие методы определения морозостойкости:

- **базовые методы** при многократном замораживании и оттаивании:
 - *первый* – для всех видов бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий и бетонов конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия минерализованной воды;
 - *второй* – для бетонов дорожных и аэродромных покрытий и для бетонов конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия минерализованной воды;
- **ускоренные методы** при многократном замораживании и оттаивании:
 - *второй* – для всех видов бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий, бетонов конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия минерализованной воды, и легких бетонов марок по средней плотности менее D1500;
 - *третий* – для всех видов бетонов, кроме легких бетонов марок по средней плотности менее D1500.

Для образцов, отобранных из конструкций, применяют метод определения морозостойкости бетона по изменению динамического модуля упругости или скорости ультразвука, или значения деформаций (см. приложение А ГОСТ 10060).

Условия испытаний для определения морозостойкости бетонов в зависимости от используемого метода и вида бетонов принимают по таблице 10.4.

При расхождении результатов определения морозостойкости, полученных базовыми и ускоренными методами, в качестве окончательных **принимают результаты, полученные базовыми методами.**

Определение морозостойкости бетона начинают после достижения бетоном проектной прочности. Испытания образцов, отобранных из бетонных и железобетонных конструкций, проводят в проектном возрасте.

Образцы для определения морозостойкости изготавливают в стандартных формах или из кернов, отобранных из конструкций выбуриванием с помощью алмазного инструмента.

Образцы изготавливают и испытывают на сжатие сериями по ГОСТ 10180. Каждую серию образцов изготавливают из одной и той же пробы бетонной смеси и хранят в нормальных условиях.

Оценку средней прочности и коэффициента вариации прочности бетона в серии проводят по всем испытанным образцам.

Таблица 10.4

**Условия испытаний при определении морозостойкости
по ГОСТ 10060**

Метод и марка бетона по морозостойкости	Условия испытания			Вид бетона
	Среда насыщения	Среда и температура за-мораживания	Среда и температура оттаивания	
Базовые методы				
Первый F ₁	Вода	Воздушная, минус (18 ± 2) °C	Вода, (20 ± 2)°C	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий и бетонов конструкций, эксплуатирующихся при действии
Второй F ₂	5 %-ный водный раствор хлорида натрия	Воздушная, минус (18 ± 2) °C	5 %-ный водный раствор хлорида натрия, (20 ± 2)°C	Бетоны дорожных и аэродромных покрытий и бетоны конструкций, эксплуатирующихся при действии минерализованной воды
Ускоренные методы				
Второй	5 %-ный водный раствор хлорида натрия	Воздушная, минус (18 ± 2) °C	5 %-ный водный раствор хлорида натрия, (20 ± 2)°C	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий, бетонов конструкций, эксплуатирующихся при действии минерализованной воды, и легких бетонов марок по средней плотности менее D1500
Третий	5 %-ный водный раствор хлорида натрия	5 %-ный водный раствор хлорида натрия, минус (50 ± 2)°C	5 %-ный водный раствор хлорида натрия, (20 ± 2)°C	Все виды бетонов, кроме легких бетонов марок по средней плотности менее D1500

Размеры образцов для определения морозостойкости приведены в таблице 10.5.

Таблица 10.5

Размеры образцов для определения морозостойкости

Метод испытаний	Размеры образцов, мм, изготовленных	
	в формах	из кернов
Первый	100×100×100 или 150×150×150	Диаметр от 70 до 150 мм в зависимости от крупности заполнителя
Второй		
Третий		

Число образцов для испытаний в зависимости от метода определения морозостойкости принимают по таблице 10.6.

Таблица 10.6

Число образцов для испытаний

Метод определения морозостойкости	Минимальное число образцов в серии, шт.	
	контрольных	основных
Первый	6	12*
Второй	6	12*
Третий	6	6*

*Примечание.** При проведении испытаний образцов до разрушения число основных образцов следует увеличивать так, чтобы обеспечить проведение испытания до максимального числа циклов, более которого наблюдается критическое снижение нормируемых характеристик образцов и (или) появление трещин, сколов, шелушения ребер образцов.

Контрольные образцы бетона перед испытанием на прочность, а основные образцы перед замораживанием насыщают водой или 5%-ным водным раствором хлорида натрия температурой $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Для насыщения образцы погружают в воду или раствор хлорида натрия на 1/3 их высоты на 24 ч, затем уровень воды или раствора повышают до 2/3 высоты образцов и выдерживают в таком состоянии еще 24 ч, после чего образцы полностью погружают в воду или раствор на 48 ч так, чтобы уровень жидкости был выше верхней грани образцов не менее чем на 20 мм.

Соотношение между числом циклов испытаний и маркой бетона по морозостойкости принимают по таблице 10.7.

Соотношение между числом циклов испытаний и маркой бетона по морозостойкости

Методы		Вид бетона	Марки бетона по морозостойкости F_1 или F_2 и число циклов, после которого проводят промежуточное испытание (над чертой) и число циклов, соответствующее марке бетона по морозостойкости (над чертой)												
Основной	Первый	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий и бетонов конструкций, эксплуатирующихся в минерализованной везде	F_125	F_135	F_150	F_175	F_1100	F_1150	F_1200	F_1300	F_1400	F_1500	F_1600	F_1800	F_11000
			$\frac{15^*}{25}$	$\frac{25}{35}$	$\frac{35}{50}$	$\frac{50}{75}$	$\frac{75}{100}$	$\frac{100}{150}$	$\frac{150}{200}$	$\frac{200}{300}$	$\frac{300}{400}$	$\frac{400}{500}$	$\frac{500}{600}$	$\frac{600}{800}$	$\frac{800}{1000}$
	Второй	Бетоны дорожных и аэродромных покрытий и бетоны конструкций, эксплуатирующихся в минерализованной воде	—	—	—	F_275	F_2100	F_2150	F_2200	F_2300	F_2400	F_2500	F_2600	F_2800	F_21000
			—	—	—	$\frac{50}{75}$	$\frac{75}{100}$	$\frac{100}{150}$	$\frac{150}{200}$	$\frac{200}{300}$	$\frac{300}{400}$	$\frac{400}{500}$	$\frac{500}{600}$	$\frac{600}{800}$	$\frac{800}{1000}$
Ускоренный	Второй	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий, бетонов конструкций, эксплуатирующихся в минерализованной воде, и легких бетонов со средней плотностью менее D1500	—	—	F_150	F_175	F_1100	F_1150	F_1200	F_1300	F_1400	F_1500	F_1600	F_1800	F_11000
			—	—	$\frac{—}{8}$	$\frac{—}{13}$	$\frac{—}{20}$	$\frac{20}{30}$	$\frac{30}{45}$	$\frac{45}{75}$	$\frac{75}{110}$	$\frac{110}{150}$	$\frac{150}{200}$	$\frac{200}{300}$	$\frac{300}{450}$
	Третий	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий, бетонов конструкций, эксплуатирующихся в минерализованной воде, и легких бетонов со средней плотностью менее D1500	—	—	—	F_175	F_1100	F_1150	F_1200	F_1300	F_1400	F_1500	F_1600	F_1800	F_11000
			—	—	—	2	3	4	5	8	12	15	19	27	35
		Бетоны дорожных и аэродромных покрытий и бетоны конструкций, эксплуатирующихся в минерализованной воде	—	—	—	—	F_2100	F_2150	F_2200	F_2300	F_2400	F_2500	F_2600	F_2800	F_21000
			—	—	—	—	5	10	20	37	55	80	110	150	200

10.4 Базовые методы определения морозостойкости

Первый метод

Испытание по первому базовому методу проводят замораживанием на воздухе образцов, насыщенных водой, и последующим их оттаиванием в воде (см. табл. 10.4).

Контрольные и основные образцы насыщают водой (см. выше).

Насыщенные водой контрольные образцы извлекают из воды, обтирают влажной тканью и испытывают на сжатие по ГОСТ 10180 с обработкой результатов, описанной ниже.

Рассчитывают внутрисерийный коэффициент вариации прочности по формуле (10.4). Серию образцов, внутрисерийный коэффициент вариации прочности которых превышает 9 %, **снимают с испытаний** и проводят испытания новой серии образцов.

Насыщенные водой основные образцы извлекают из воды, обтирают влажной тканью и помещают в морозильную камеру в контейнере или устанавливают на сетчатый стеллаж камеры так, чтобы расстояние между образцами, стенками контейнера и расположенными выше стеллажами было не менее 20 мм. Для замораживания используется морозильная камера, обеспечивающая достижение и поддержание температуры минус $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$, неравномерность температурного поля в воздухе полезного объема камеры не должна превышать 3°C . Включают камеру (рис. 10.7) и понижают температуру. Началом замораживания считают момент установления в камере температуры минус 16°C .



Рис. 10.7. Морозильная камера для испытаний бетона на морозостойкость

Число циклов замораживания и оттаивания, после которых определяют прочность при сжатии образцов бетона, принимают по таблице 10.7.

Образцы испытывают по режиму, указанному в таблице 10.8.

Таблица 10.8

Режимы испытаний образцов

Размер образца, мм	Режим испытаний			
	Замораживание		Оттаивание	
	время, ч, не менее	температура, °С	время, ч, не менее	температура, °С
100×100×100	2,5	минус (18 ± 2)	2 ± 0,5	20 ± 2
150×150×150	3,5		3 ± 0,5	

Образцы после замораживания оттаивают в ванне с водой температуры (20 ± 2) °С. При оттаивании образцы размещают на расстоянии друг от друга, стенок и днища ванны не менее чем на 20 мм, слой воды над верхней гранью образца должен быть не менее 20 мм.

Температуру воды в ванне измеряют в центре ее объема в непосредственной близости от образцов.

Воду в ванне для оттаивания образцов меняют через каждые 100 циклов переменного замораживания и оттаивания.

Основные образцы после проведения заданного числа циклов замораживания и оттаивания осматривают (рис. 10.8). Материал, отделяющийся от образца, снимают жесткой капроновой щеткой. Образцы обтирают влажной тканью, взвешивают и испытывают на сжатие по ГОСТ 10180.



Рис. 10.8. Основные образцы-кубы после проведения заданного числа циклов замораживания и оттаивания

Обработку результатов испытаний проводят по следующей методике.

Обработка результатов испытаний

1. Рассчитывают изменение массы образцов Δm , %, по формуле:

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} 100, \quad (10.1)$$

где m – масса образца до замораживания и оттаивания, г;

m_1 – масса образца после замораживания и оттаивания, г.

Среднее максимально допустимое уменьшение массы **образцов не должно превышать 2 %**.

2. Рассчитывают среднее значение прочности по формуле:

$$X_{cp} = \frac{\sum X_i}{n}, \quad (10.2)$$

где X_i – прочность одного образца, МПа;

n – число образцов.

3. Рассчитывают среднеквадратичное отклонение σ_n по формуле (10.3) ГОСТ 18105–86 «Бетоны. Правила контроля прочности»:

$$\sigma_n = \frac{W_m}{\alpha}, \quad (10.3)$$

где W_m – размах единичных значений прочности бетона в серии, определяемый как разность между максимальными и минимальным единичными значениями прочности, МПа;

α – коэффициент, зависящий от числа единичных значений прочности бетона n в серии, принимают $\alpha = 2,5$ при количестве образцов в партии, равном 6, или по таблице 6 ГОСТ 10060 в случае другого количества образцов.

4. Коэффициент вариации прочности рассчитывают по формуле:

$$V_m = \frac{\sigma_n}{X_{cp}}. \quad (10.4)$$

5. Определяют нижнюю границу доверительного интервала для контрольных образцов по формуле:

$$X_{\min}^I = X_{cp}^I - t_{\beta} \sigma_n^I, \quad (10.5)$$

для основных образцов после замораживания и оттаивания по формуле:

$$X_{\min}^{\text{II}} = X_{cp}^{\text{II}} - t_{\beta} \sigma_n^{\text{II}}, \quad (10.6)$$

где t_{β} – критерий Стьюдента при доверительной вероятности $p = 0,95$, принимаемый = 2,570 при количестве образцов в партии, равном 6, или по таблице 7 ГОСТ 10060 при другом количестве образцов.

6. Образцы считают выдержавшими испытание на морозостойкость, если соблюдается соотношение:

$$X_{\min}^{\text{II}} \geq 0,9 X_{\min}^{\text{I}}. \quad (10.7)$$

Марку бетона по морозостойкости принимают по таблице 10.7 с учетом числа циклов, при котором сохраняется соотношение (10.7), уменьшение массы не превышает 2 % и на образцах отсутствуют трещины и сколы. Для бетона, к поверхности которого предъявляют требования по декоративности, и для бетона покрытий автомобильных дорог и аэродромов не допускается шелушение поверхности образцов.

Второй метод

Испытание по второму базовому методу проводят замораживанием на воздухе образцов, насыщенных раствором хлорида натрия, и последующим их оттаиванием в растворе хлорида натрия (см. таблицу 10.4).

Основные и контрольные образцы перед испытанием насыщают 5%-ным водным раствором хлорида натрия.

Контрольные образцы извлекают из раствора, обтирают влажной тканью, взвешивают и испытывают на сжатие по ГОСТ 10180.

Основные образцы после насыщения подвергают испытаниям на замораживание и оттаивание по режиму, приведенному в таблице 10.8.

Основные образцы помещают в морозильную камеру. Началом замораживания считают момент установления в камере температуры минус 16 °С.

Число циклов замораживания и оттаивания, после которых определяют прочность при сжатии образцов бетона, принимают по таблице 10.7.

Водный раствор хлорида натрия в ванне для оттаивания меняют через каждые 100 циклов.

Основные образцы после проведения заданного числа циклов замораживания и оттаивания осматривают. Материал, отделяющийся от образца, снимают жесткой капроновой щеткой. Образцы обтирают влажной тканью, взвешивают и испытывают на сжатие.

Обработку результатов испытаний проводят по методике, представленной выше.

Образцы считают выдержавшими испытание на морозостойкость, если соблюдается соотношение (10.7).

Марку бетона по морозостойкости принимают по таблице 10.7 с учетом числа циклов, при котором сохраняется соотношение (10.7), уменьшение массы не превышает 2 % и на образцах отсутствуют трещины и сколы. Для бетона, к поверхности которого предъявляют требования по декоративности, и для бетона покрытий автомобильных дорог и аэродромов не допускается шелушение поверхности образцов.

10.5 Ускоренные методы определения морозостойкости

Остановимся более подробно на третьем методе, имеющем принципиальные отличия от методов, рассмотренных ранее.

Третий метод

При испытании по третьему ускоренному методу для насыщения, замораживания и оттаивания образцов применяют водный раствор хлорида натрия.

Морозильная камера должна обеспечивать достижение и поддержание температуры воздуха минус $(50 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Неравномерность температурного поля в воздухе полезного объема камеры не должна превышать $3 ^\circ\text{C}$.

Емкости должны быть из коррозионно-стойкого материала для замораживания в растворе хлорида натрия **каждого образца** (рис. 10.9). Размер емкости должен обеспечивать зазор между гранями образца и стенками емкости не менее 10 мм.

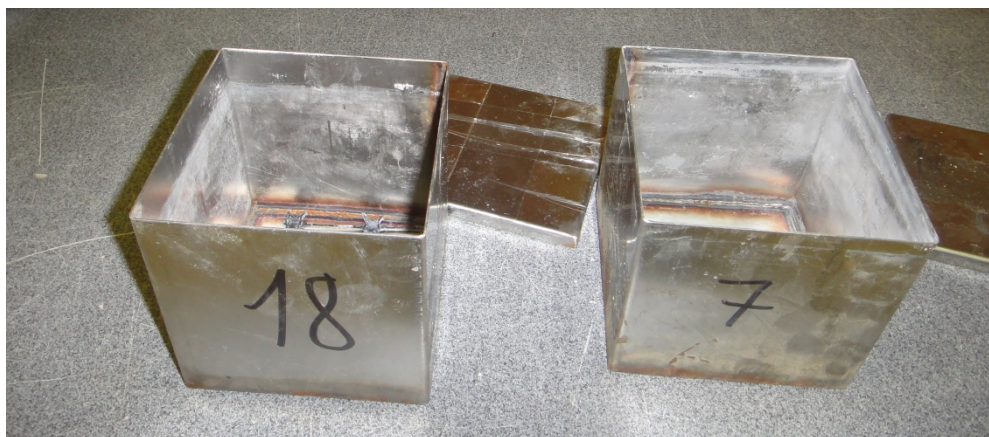


Рис. 10.9. Емкости из коррозионно-стойкого материала для замораживания образцов

Основные образцы помещают в морозильную камеру в закрытых сверху емкостях, **наполненных 5%-ным водным раствором хлорида**

натрия так, чтобы расстояние между стенками емкостей и стенками емкостей и камеры было не менее 50 мм. Температуру в закрытой камере понижают до минус (50 ± 2) °С и поддерживают в течение не менее 2,5 ч. Затем температуру в камере повышают до температуры минус 10 °С в течение $(1,5 \pm 0,5)$ ч, после чего образцы размерами 100×100×100 мм оттаивают в 5%-ном водном растворе хлорида натрия температуры (20 ± 2) °С в течение не менее 2,5 ч, образцы размерами 150×150×150 мм – в течение не менее 3,5 ч.

Водный раствор хлорида натрия меняют в емкостях через каждые 20 циклов.

После заданного числа циклов основные образцы осматривают. Материал, отделяющийся от образца, снимают жесткой капроновой щеткой. Образцы обтирают влажной тканью, взвешивают и испытывают на сжатие.

Образцы считают выдержавшими испытание на морозостойкость, если соблюдается соотношение (10.7).

Марку бетона по морозостойкости принимают по таблице 10.7 с учетом числа циклов, при котором сохраняется соотношение (10.7), уменьшение массы не превышает 2 % и на образцах отсутствуют трещины и сколы. Для бетона, к поверхности которого предъявляются требования по декоративности, и для бетона покрытий автомобильных дорог и аэродромов не допускается шелушение поверхности образцов.

11 БЕТОНЫ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ

Согласно ГОСТ 18105–2012 «Бетоны. Правила контроля прочности», неразрушающие методы контроля разделены на прямые неразрушающие методы контроля и косвенные методы контроля.

К прямым методам неразрушающего контроля относятся методы определения прочности бетона, не требующие обязательной градуировки: методы «отрыва со скалыванием» и «метод скалывания ребра» по ГОСТ 22690–88 «Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля».

Косвенные методы неразрушающего контроля – это методы определения прочности бетона по предварительно установленным градуировочным зависимостям между прочностью бетона, определенной одним из разрушающих или прямых неразрушающих методов, и косвенными характеристиками прочности, определяемыми по ГОСТ 22690–88 «Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля» и ГОСТ 17624–2012 «Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности».

11.1 Прямые методы неразрушающего контроля. Метод отрыва со скалыванием

Для определения прочности бетона в конструкциях *методом отрыва со скалыванием* применяются специальные устройства, представляющие собой ручные гидравлические прессы с комплектом анкерных устройств в соответствии с приложением 2 ГОСТ 22690–88 (рис. 11.1).

Прочность бетона R , МПа, определяется по формуле:

$$R = m_1 \cdot m_2 \cdot P, \quad (11.1)$$

где m_1 – коэффициент, учитывающий максимальный размер крупного заполнителя в зоне вырыва, принимаемый равным 1 при крупности менее 50 мм и 1,1 – при крупности 50 мм и более;

m_2 – коэффициент пропорциональности для перехода от усилия вырыва, кН, к прочности бетона, МПа;

P – усилие вырыва анкерного устройства, кН.

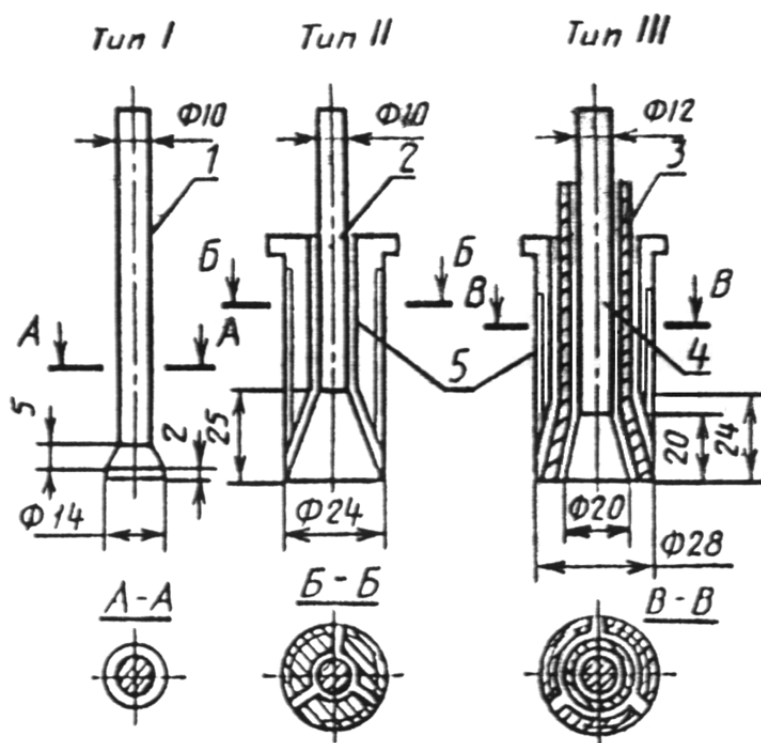


Рис. 11.1. Типы анкерных устройств

При испытании тяжелого бетона прочностью 10 МПа и более и керамзитобетона прочностью от 5 до 40 МПа значения коэффициента пропорциональности m_2 принимают по таблице 11.1.

Таблица 11.1

Значение коэффициента пропорциональности m_2

Условие твердения бетона	Тип анкерного устройства	Предполагаемая прочность бетона, МПа	Глубина заделки анкерного устройства, мм	Значение коэффициента m_2 для бетона	
				тяжелого	легкого
Естественное	I	≤ 50	48	1,1	1,2
		> 50	35	2,4	–
	II	≤ 50	48	0,9	1,0
		> 50	30	2,5	–
	III	≤ 50	35	1,5	–
		> 50	30	2,5	–
Тепловая обработка	I	≤ 50	48	1,3	1,2
		> 50	35	2,6	–
	II	≤ 50	48	1,1	1,0
		> 50	35	2,7	–
	III	≤ 50	35	1,8	–
		> 50	30	2,5	–

Ниже приведено описание двух приборов, основанных на разных способах вырыва анкера.

Принцип работы прибора «ОНИКС-ОС» (производство ООО «Интерприбор», Россия), реализующего метод отрыва со скалыванием (тип анкера II), состоит в следующем. При вращения ручки прибора в рабочий цилиндр подается масло, находящийся там поршень поднимается, сжимая возвратную пружину. Перемещаясь вверх, поршень, соединенный с помощью специального штока и подвесной муфты с анкерным устройством, вырывает последнее с частью бетона. Цифровой манометр фиксирует максимальное давление на рабочий поршень, соответствующее усилию вырыва. Возвратная пружина после выдергивания анкерного устройства обеспечивает возврат поршня в исходное положение. Так как в процессе испытания прибор «ОНИКС-ОС» (рис. 11.2) опирается двумя ножками на бетонную поверхность, очень важно обеспечить центрирование анкерного устройства при его установке и совмещение оси анкера с направлением усилия вырыва.

а)



б)



Рис. 11.2. Определение прочности бетона методом отрыва со скалыванием при помощи прибора «ОНИКС-ОС»: а – прибор «ОНИКС-ОС»; б – процесс выполнения работ на площадке

Прибор **ГПНС-4** (рис. 11.3) представляет собой гидравлический пресс-насос, работающий с анкерным устройством типа III. При создании давления в цилиндре рабочий поршень давит на опорный стержень, который упирается в дно шпура. Полый разжимной конус, соединенный с корпусом прибора, перемещается при этом в противоположном направлении и, раздвигая сегменты щеки, разрушает (скалывает) бетон. При использовании ГПНС-4 отпадают операции по центрированию.

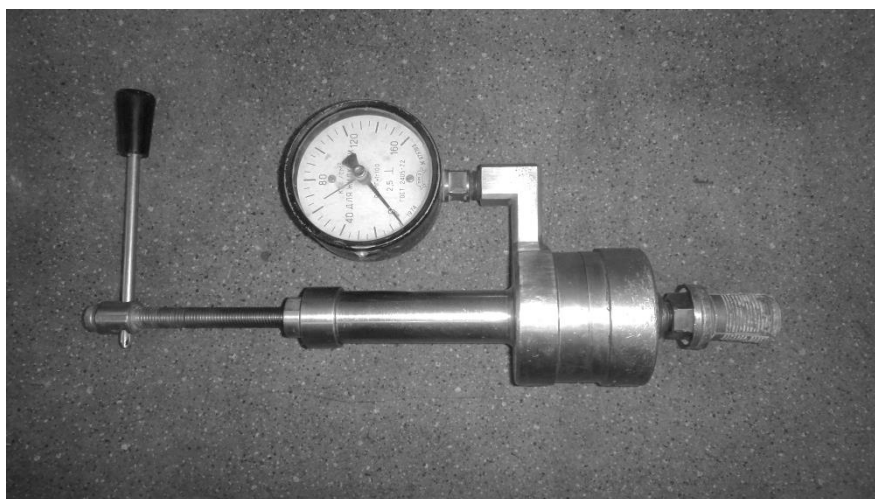


Рис. 11.3. Прибор ГПНС-4

Методика проведения испытания методом отрыва со скалыванием

При испытании методом отрыва со скалыванием участки должны располагаться в зоне наименьших напряжений, вызываемых эксплуатационной нагрузкой или усилием обжатия предварительно напряженной арматуры.

Испытания проводят в такой последовательности:

- в бетоне сверлят или пробивают шпур, размер которого выбирают в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора в зависимости от типа анкерного устройства, если анкерное устройство не было установлено до бетонирования;
- в шпуре закрепляют анкерное устройство на глубину, предусмотренную инструкцией по эксплуатации прибора, в зависимости от типа анкерного устройства;
- прибор соединяют с анкерным устройством;
- нагрузку увеличивают со скоростью 1,5–3,0 кН/с;
- фиксируют показание силоизмерителя прибора и глубину вырыва с точностью не менее 1 мм.

Если наибольший и наименьший размеры вырванной части бетона от анкерного устройства до границ разрушения по поверхности конструкции отличаются более чем в два раза, а также если глубина вырыва отличается от глубины заделки анкерных устройств более чем на 5 %, то результаты испытаний допускается учитывать только для ориентировочной оценки прочности бетона.

11.2 Косвенные методы испытания. Метод упругого отскока

Для проведения испытания данным методом используют приборы, называемые **склерометрами** (рис. 11.4), например ОМШ-1 или молотки Шмидта типов N и L (производство швейцарской компании PROSEQ).

Для определения зависимости «прочность бетона – косвенная характеристика (величина упругого отскока)» устанавливают градуировочную зависимость для каждого конкретного вида бетона по следующей методике.



Рис. 11.4. Склерометры

Методика установления градуировочных зависимостей и оценка их погрешности

Уравнение зависимости «косвенная характеристика – прочность» принимают линейным и определяют по формуле:

$$R_H = a_0 + a_1 \cdot H, \quad (11.2)$$

где R_H – прочность бетона, МПа;

H – косвенная характеристика.

Коэффициенты a_0 и a_1 рассчитывают по формулам:

$$a_0 = \bar{R}_\Phi - a_1 \cdot \bar{H}; \quad (11.3)$$

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H}) \cdot (R_{i\Phi} - \bar{R}_\Phi)}{\sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H})^2}. \quad (11.4)$$

Средние значения прочности $\bar{R}_\Phi$, определенные испытанием образцов по ГОСТ 10180, и средние значения косвенных характеристик $\bar{H}$, необходимых для определения этих коэффициентов, рассчитывают по формулам:

$$\bar{R}_{\Phi} = \frac{\sum_{i=1}^N R_{i\Phi}}{N}; \quad (11.5)$$

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^N H_i}{N}, \quad (11.6)$$

где $R_{i\Phi}$ и H_i – соответственно значения прочности и косвенной характеристики для отдельных серий по ГОСТ 10180;

N – число серий (или отдельных образцов), использованных для построения градуировочной зависимости.

После построения градуировочной зависимости по формуле (11.2) производят ее корректировку отбраковкой единичных результатов испытаний, не удовлетворяющих условию:

$$\frac{|R_{iH} - R_{i\Phi}|}{S_T} \leq 2, \quad (11.7)$$

где S_T – остаточное среднее квадратичное отклонение, определенное по формуле:

$$S_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_{i\Phi} - R_{iH})^2}{N - 2}}, \quad (11.8)$$

где R_{iH} – прочность бетона в i -й серии образцов, определенная по градуировочной зависимости по формуле:

$$R_{iH} = a_0 - a_i \cdot H_i. \quad (11.9)$$

После отбраковки градуировочную зависимость устанавливают заново по формулам (11.2–11.4) по оставшимся результатам испытания.

Погрешность определения прочности бетона по установленной зависимости оценивают по формуле (11.8).

$$\text{Если} \quad \frac{S_T}{\bar{R}_{\Phi}} \cdot 100\% \geq 12\%, \quad (11.10)$$

то проведение контроля и оценка прочности по полученной зависимости не допускаются.

Проверку градуировочной зависимости проводят не реже одного раза в два месяца.

Для этого изготавливают не менее 6 серий образцов в соответствии с требованиями раздела 3 ГОСТ 22690.

Для каждой серии образцов определяют единичные значения косвенной характеристики H_i и прочности бетона по данным испытания на прессе $R_{i\Phi}$ (по ГОСТ 10180).

В соответствии с установленной градуировочной зависимостью по полученным косвенным характеристикам определяют прочность бетона. Вычисляют среднее значение косвенных характеристик по формуле:

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n},$$

где n – число серий, испытанных для проверки градуировочной зависимости.

Затем разделяют испытанные серии образцов, единичные значения косвенной характеристики которых не превышают их среднее значение $\bar{H}$:

$$H_i < \bar{H}.$$

Ко второй группе относятся все остальные серии, т. е. те, у которых

$$H_i \geq \bar{H}.$$

Градуировочная зависимость допускается к дальнейшему применению при одновременном выполнении следующих условий:

1) разность $(R_{i\Phi} - R_{iH})$ не имеет одинакового знака в пяти из шести испытанных серий образцов;

2) среднее квадратичное отклонение S_n прочности бетона в испытанных сериях, определенное по формуле

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_{i\Phi} - R_{iH})^2}{n-1}},$$

не должно превышать более чем в полтора раза среднее квадратичное отклонение используемой градуировочной зависимости $S_n > 1,5S_T$;

3) значение разности $(R_{i\Phi} - R_{iH})$ не должно иметь одинакового знака для серий образцов первой и второй групп.

При невыполнении хотя бы одного из условий градуировочную зависимость устанавливают заново.

Пример установления градуировочной зависимости и оценка ее погрешности

Прочность бетона проектного класса по прочности В20 контролируется прибором ОМШ-1 методом отскока. Для установления зависимости между значениями отскока и прочностью бетона было испытано в течение 5 суток 20 серий образцов-кубов размером 100×100×100 мм ($N = 20$). Средние результаты по каждой серии приведены в таблице 11.2.

Таблица 11.2

Данные к примеру установления градуировочной зависимости

Номер серии	Значение косвенной характеристики H	Прочность бетона, МПа			$\frac{R_{iH} - R_{i\Phi}}{S_T}$	
		по результатам на сжатие $R_{i\Phi}$	по градуировочной зависимости R_{iH}		до отбраковки	после отбраковки
			до отбраковки	после отбраковки		
1	17,7	18,7	22,75	22,72	1,72	1,91
2	18,6	26,7	25,90	25,96	0,34	0,35
3	17,8	24,0	23,10	23,08	0,38	0,44
4	18,1	23,6	24,15	24,16	0,23	0,27
5	16,0	16,0	16,80	16,60	0,34	0,29
6	19,2	27,6	28,00	28,12	0,17	0,25
7	17,8	25,3	23,10	23,08	0,93	1,06
8	19,6	32,2	29,40	29,56	1,19	1,26
9	18,8	26,5	26,60	26,68	0,04	0,09
10	17,8	22,2	23,10	23,08	0,38	0,42
11	16,4	18,4	18,20	18,04	0,08	0,17
12	19,2	31,8	28,00	28,12	1,61	1,75
13	18,5	23,5	25,55	25,60	0,87	1,00
14	19,1	24,4	27,65	27,76	1,38	1,60
15	17,6	20,4	22,40	22,36	0,85	0,93
16	19,2	31,3	28,00	28,12	1,40	1,51
17	18,4	24,9	25,20	25,24	0,13	0,17
18	18,8	26,2	26,60	26,68	0,17	0,23
19	17,2	25,8	21,00	—	2,03	—
20	17,3	21,0	21,35	21,28	0,15	0,13

Среднее значение прочности $\bar{R}_\Phi$ и значение отскока $\bar{H}$ вычисляем по формулам (11.5) и (11.6):

$$\bar{R}_\Phi = \frac{18,7 + 26,7 + \dots + 21,0}{20} = 24,5 \text{ МПа};$$

$$\bar{H} = \frac{17,7 + 18,6 + \dots + 17,3}{20} = 18,2.$$

Вычисляем по формулам (11.4) и (11.3) значения коэффициентов a_1 и a_0 :

$$a_1 = \frac{(17,7 - 18,2) \cdot (18,7 - 24,5) + (18 - 18,2) \cdot (26,7 - 24,5) + \dots}{(17,7 - 18,2)^2 + (18,6 - 18,2)^2 + \dots} + \frac{(17,3 - 18,2) \cdot (21 - 24,5)}{(17,3 - 18,2)^2} = 3,5;$$

$$a_0 = 24,5 - 3,5 \cdot 18,2 = -39,2.$$

Таким образом, градуировочную зависимость представляем в виде уравнения: $R_H = 3,5 \cdot H - 39,2$.

Значения прочностей R_{iH} , рассчитанные по градуировочной зависимости, приведены в таблице 11.2.

Остаточное среднее квадратичное отклонение, определенное по формуле (11.8), составит:

$$S_T = \sqrt{\frac{(18,7 - 22,75)^2 + (26,7 - 25,)^2 + \dots + (21 - 2,35)^2}{20 - 2}} = 2,36 \text{ МПа}.$$

Сравнивая значение фактической прочности $R_{i\phi}$ в сериях образцов с прочностью R_{iH} , определенной по градуировочной зависимости (см. табл. 11.2), устанавливаем, что условие формулы (11.7) не выполняется для серии 19, которая подлежит отбраковке.

По оставшимся 19 сериям образцов рассчитывают новые значения $\bar{R}_\phi$, $\bar{H}$ и коэффициентов a_0 и a_1 :

$$\bar{R}_\phi = 24,5 \text{ МПа}; \bar{H} = 18,2;$$

$$a_1 = 3,6; a_0 = -41.$$

Определим значение R_{iH} (см. табл. 11.2) и рассчитаем среднее квадратичное отклонение $S_T = 2,1 \text{ МПа}$.

Для скорректированной градуировочной зависимости по всем сериям образцов условие формулы (11.7) теперь удовлетворяется, поэтому дальнейшую корректировку проводить не требуется. Искомую градуировочную зависимость представляем в виде уравнения:

$$R_H = 3,6 \cdot H - 41.$$

По формуле (11.10) определим погрешность полученной зависимости. Поскольку

$$\frac{2,1}{24,5} \cdot 100\% = 8,57 < 12\%,$$

определение прочности бетона по установленной градуировочной зависимости может производиться по настоящему стандарту.

Последовательность проведения испытаний методом упругого отскока

Согласно требованиям ГОСТ 22690–88, при испытании любым косвенным методом расстояние от мест проведения испытания до арматуры должно быть не менее 50 мм, поэтому предварительно определяют местоположение арматуры в железобетонной конструкции (см. подразд. 11.3).

После определения местоположения арматуры и уточнения мест испытания на конструкции приступают непосредственно к испытаниям бетона.

Прибор располагают так, чтобы усилие прикладывалось перпендикулярно к испытываемой поверхности в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора, при этом положение прибора при испытании конструкции относительно горизонтали рекомендуется принимать таким же, как при испытании образцов для установленной градуировочной зависимости. При другом положении необходимо вносить поправку на показания в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора.

Фиксируют значение косвенной характеристики в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора.

Вычисляют среднее значение косвенной характеристики на участке конструкции.

После завершения испытаний косвенными методами в нескольких точках (более 20) обязательно производят градуировку прибора по показаниям прямого испытания (метод отрыва со скалыванием) в трех характерных точках.

Методика уточнения градуировочной зависимости по прямому методу (отрыва со скалыванием)

Значение прочности бетона, определенное с использованием градуировочной зависимости, установленной для бетона, отличающегося от испытываемого, умножают на коэффициент K_c , значение которого определяют по формуле:

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{\sum_{y=1}^n R_y},$$

где R_i – прочность бетона на участке, определяемая методами отрыва со скалыванием, скалывания ребра или испытанием кернов по ГОСТ 10180;

R_y – то же, методами упругого отскока, ударного импульса или пластической деформации;

n – принимается не менее трех.

Значение прочности бетона не должно отличаться от среднего значения по градуировочной зависимости более чем на $\pm 30\%$.

11.3 Определение местоположения арматуры в железобетонных конструкциях

Поиск арматуры проводят по методике ГОСТ 22904–93 «Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя и расположения арматуры». Для этого используются специализированные приборы, например ИЗС-10Н (производства фирмы «Контрос», Россия), «Profoscope» (производства фирмы PROCEQ, Швейцария), ферросканы Hilti и другие.

На рисунке 11.5 показан процесс поиска арматуры в железобетонной стене при помощи прибора ИЗС-10Н. Определение расположения арматуры в этом приборе проводится по показанию микроамперметра: где показания ниже, там и расположен арматурный стержень. Места обнаружения стержней обозначаются прямо на поверхности конструкции. Данный прибор может как находить арматуру, так и показывать толщину защитного слоя с диаметром арматуры. Глубина сканирования этого прибора составляет не более 80 мм.



Рис. 11.5. Поиск арматуры при помощи прибора ИЗС-10Н

Более современным прибором для поиска арматуры является «Profoscope» (рис. 11.6). Данный прибор в автоматическом режиме определяет места расположения арматуры, ее диаметр и толщину защитного слоя. Глубина сканирования прибора до 150 мм.



Рис. 11.6. Поиск арматуры при помощи прибора «Profoscope»

Методика определения местоположения арматуры в железобетоне достаточно проста и зависит от типа применяемого прибора.

11.4 Метод пластической деформации

При испытании методом пластической деформации расстояние от мест проведения испытания до арматуры должно быть не менее 50 мм.

Испытание проводят в такой последовательности:

- прибор (рис. 11.7) располагают так, чтобы усилие прикладывалось перпендикулярно к испытываемой поверхности в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора; при сферическом инденторе испытание допускается проводить для облегчения измерений диаметров отпечатков через листы копировальной (рис. 11.8) и белой бумаги (в этом случае образцы для установления градуировочной зависимости испытывают с применением такой же бумаги);
- фиксируют значения косвенной характеристики в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора;
- вычисляют среднее значение косвенной характеристики на участке конструкции.



Рис. 11.7. Прибор для определения прочности бетона методом пластической деформации

а)



б)

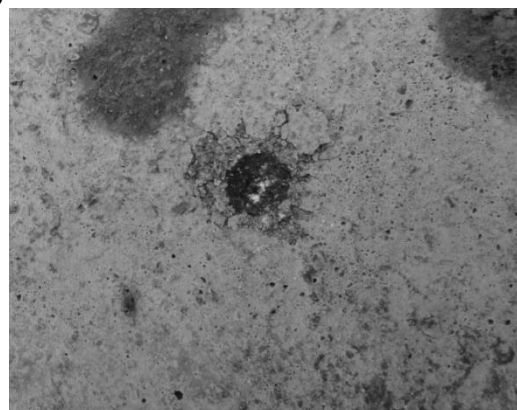


Рис. 11.8. Определение прочности бетона методом пластической деформации:
а – проведение испытаний; б – отпечаток на бетонной поверхности

11.5 Метод ударного импульса

Испытания проводят в следующей последовательности:

- прибор располагают так, чтобы усилие прикладывалось перпендикулярно к испытываемой поверхности в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора; при этом положение прибора при испытании конструкции относительно горизонтали рекомендуется принимать таким же, как при испытании образцов для установления градуировочной зависимости; при другом положении необходимо вносить поправку на показания в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора;
- фиксируют значение косвенной характеристики в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора;
- вычисляют среднее значение косвенной характеристики на участке конструкции.

Приборы для определения прочности бетона методом ударного импульса: ИПС-МГ4 (рис. 11.9), «Оникс-2.5» и другие.



Рис. 11.9. Определение прочности бетона методом ударного импульса при помощи прибора ИПС-МГ4 производства фирмы «СКБ Стройприбор»

11.6 Ультразвуковые методы контроля

Ультразвуковые методы контроля (УЗК-методы) применяются для контроля разопалубочной прочности бетона монолитных конструкций, передаточной прочности бетона предварительно напряженных конструкций, отпускной прочности бетона сборных конструкций и прочности в установленные проектом сроки монолитных и сборных конструкций. УЗК-методы применяются также для определения прочности бетона при инженерных обследованиях эксплуатируемых железобетонных конструкций. Ультразвуковой метод может использоваться для контроля прочности бетона классов В7,5–В50 на сжатие, в том числе при контроле прочности бетона в промежуточном возрасте.

Ультразвуковые измерения проводятся способом поверхностного и сквозного прозвучивания.

Прочность бетона определяют по экспериментально установленным градуировочным зависимостям «скорость распространения ультразвука – прочность бетона» или «время распространения ультразвука – прочность бетона» в зависимости от принятого положения переключателя прибора.

Испытания следует проводить, как правило, при положительной температуре бетона и окружающей среды. Допускается проведение испытаний при температуре не ниже минус 10 °С при условии, что относительная влажность воздуха не превышает 70 %.

Градуировочная зависимость устанавливается на основании данных ультразвуковых испытаний кубов и последующих испытаний под прессом или параллельных испытаний одних и тех же участков конструкций ультразвуковым методом и методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690.

Возможно также построение градуировочной зависимости по данным ультразвуковых испытаний участков конструкций и испытания образцов, вырезанных из тех же участков конструкций, в соответствии с ГОСТ 28570 «Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций».

При контроле прочности бетона монолитных конструкций и определении прочности бетона конструкций при инженерных обследованиях наиболее удобно строить градуировочную зависимость по данным параллельных испытаний специализированным прибором, например УК1401 (рис. 11.10), и *методом отрыва со скалыванием*.

а)



б)

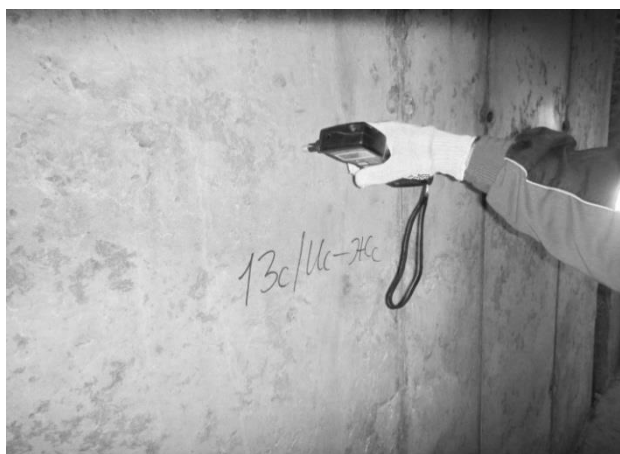


Рис. 11.10. Определение прочности бетона ультразвуковым методом при помощи прибора УК1401

При построении градуировочной зависимости на образцах-кубах используются кубы с ребром размером не менее 150 мм.

Для контроля градуировочной зависимости используется не менее 15 серий образцов-кубов по ГОСТ 10180, не менее 24 отдельных образцов-кубов.

Кубы изготавливаются в соответствии с требованиями ГОСТ 10180 из бетона того же номинального состава, по той же технологии, при том же режиме твердения, что и конструкции, подлежащие контролю. Допускается изготовление до 40 % общего числа образцов из бетонной смеси, состав которой отличается от номинального по цементно-водному отношению не более 0,4.

Возраст образцов при испытании под прессом не должен отличаться от возраста бетона испытываемой конструкции более чем на 25 %.

Ультразвуковые испытания образцов проводят непосредственно перед испытанием их на прессе. Испытания проводят по схемам, приведен-

ным в ГОСТ 17624. Число измерений на каждом образце должно быть не менее четырех.

Отклонение отдельного результата измерения скорости (времени) распространения ультразвука в каждом образце от среднего арифметического значения результатов измерений для данного образца не должно превышать 2 %.

Результаты измерения скорости (времени) распространения ультразвука в образцах, не удовлетворяющих этому условию, не учитывают при расчете среднего арифметического значения скорости (времени) распространения ультразвука в данной серии образцов или в отдельном образце.

Градуировочную зависимость устанавливают по единичным значениям скорости (времени) ультразвука и прочности бетона. За единичное значение прочности бетона принимают среднюю прочность бетона в серии образцов, определенную по ГОСТ 10180, или прочность бетона отдельного образца. За единичное значение скорости (времени) ультразвука принимается среднее арифметическое значение этих величин в серии образцов или в отдельном образце, используемых для определения единичного значения прочности.

При построении градуировочной зависимости по данным параллельных испытаний ультразвуковым методом и методом отрыва со скалыванием на подлежащих испытанию конструкциях или их зонах сначала проводят предварительное ультразвуковое измерение и определяют участки с минимальной, максимальной и близкой к средней скорости (времени) распространения ультразвука.

Из числа участков, на которых проводились предварительные измерения, отбирается не менее 15.

Возраст бетона на отдельных участках не должен отличаться более чем на 25 % от среднего возраста бетона зоны конструкции, конструкции или группы конструкций, подлежащих контролю. Исключение составляет построение градуировочной зависимости для определения прочности бетона при проведении инженерных обследований, когда различие в возрасте не регламентируется.

На каждом участке ультразвуковым прибором проводят не менее двух измерений скорости (времени) распространения ультразвука. Измерения проводятся в двух взаимно перпендикулярных направлениях. При прозвучивании в направлении, параллельном арматуре, линия прозвучивания располагается между арматурными стержнями.

Отклонение отдельных результатов измерений скорости (времени) распространения ультразвука на каждом участке от среднего арифметического значения результатов измерений для данного участка не должно превышать 2 %. Результаты измерений, не удовлетворяющие этому усло-

вию, не учитываются при вычислении среднего арифметического значения скорости (времени) распространения ультразвука для данного участка.

После этого методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690 определяется прочность бетона участков.

Градуировочную зависимость устанавливают, принимая за единичные значения среднее значение скорости (времени) распространения ультразвука в участке и прочность бетона участка.

Построение градуировочной зависимости по данным испытаний отобранных образцов производится в последовательности, установленной в ГОСТ 28570.

Установление, проверку градуировочной зависимости и оценку ее погрешности проводят в соответствии с методикой, приведенной в приложении 4 ГОСТ 17624.

Методика экспертного контроля прочности бетона в строящихся и эксплуатируемых конструкциях и сооружениях (по ГОСТ 17624)

1. Определение прочности бетона при экспертизе конструкций и сооружений проводят в зонах конструкций, изготовленных из бетона на одном виде крупного заполнителя.

2. Измеряют время распространения ультразвука не менее чем на 10 участках контролируемой зоны конструкции. Вычисляют среднюю скорость ультразвука ($\bar{v}$) в контролируемой зоне.

В контролируемой зоне намечают участки, в которых измеренная скорость ультразвука имеет максимальное ($v_{\text{макс}}$) и минимальное ($v_{\text{мин}}$) значения, а также участок, где скорость ультразвука имеет величину (v_n), наиболее близкую к средней скорости ультразвука ($\bar{v}$).

Из каждого намеченного участка в соответствии с ГОСТ 10180 выбуривают и испытывают не менее двух кернов. По данным испытаний кернов определяют значения прочностей $R_{\text{Ф.макс}}$, $R_{\text{Ф.мин}}$, $R_{\text{Фп}}$ на участках, имеющих скорости ультразвука $v_{\text{макс}}$, $v_{\text{мин}}$, v_n .

3. Прочность бетона на любом участке контролируемой зоны конструкции определяют по уравнению:

$$R_H = a_0 + a_1 x, \quad (11.11)$$

где R_H – прочность бетона, МПа;

x – скорость ультразвука в данной точке.

Коэффициенты a_1 и a_0 вычисляют по формулам:

$$a_1 = \frac{R_{\text{Ф.макс}} - R_{\text{Ф.мин}}}{v_{\text{макс}} - v_{\text{мин}}};$$

$$a_0 = \frac{1}{2} \left[(R_{\Phi.\text{макс}} + R_{\Phi n}) - a_1 (v_{\text{мин}} + v_n) \right].$$

В связи с тем, что в ряде случаев построение градуировочной зависимости затруднено или невозможно, допускается ориентировочное определение прочности бетона с использованием универсальной градуировочной зависимости. Приведенная в базах приборов зависимость может использоваться только для ориентировочной оценки прочности бетона (при прочности от 10 МПа до 50 МПа).

Рекомендуется уточнять зависимость для конкретных условий испытания по формуле:

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{\sum_{y=1}^n R_y},$$

где R_i – прочность бетона в участке, определенная методом отрыва со скалыванием, или прочность бетона образца;

R_y – то же, по зависимости (11.11);

n – число участков испытаний или число образцов, принимаемое не менее 5. Значение коэффициента K_c должно находиться в пределах 0,7–1,3.

11.7 Применение ультразвукового метода для поиска дефектов. Определение глубины трещины

В настоящее время большую актуальность имеет проблема определения глубины трещины. Метод основан на способности ультразвука огибать трещины, поэтому существует разница во времени прохождения ультразвуковых сигналов по сплошному бетону и по бетону, имеющему в своей структуре поверхностные дефекты и микротрещины.

На рисунке 11.11 показано измерение глубины трещины методом поверхностного прозвучивания датчиками сухого акустического контакта прибора УК 1401.

Если ввести следующие обозначения: a – длина пути ультразвукового сигнала при отсутствии трещины (расстояние между двумя точками на поверхности бетона), l – длина пути ультразвукового сигнала при наличии трещины, h – глубина трещины (рис. 11.12), то для определения глубины трещины можно использовать следующую формулу:

$$h = \sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2}. \quad (11.12)$$

а)



б)



Рис. 11.11. Определение глубины трещины методом поверхностного прозвучивания при помощи прибора УК1401: а – прозвучивание сплошного бетона; б – прозвучивание бетона, имеющего трещину

Обозначив скорость ультразвукового сигнала в бетоне через v , получим:

$$l = v \cdot t_l, \quad a = v \cdot t_a,$$

где t_l – время прохождения ультразвука через трещину (рис. 11.12),
 t_a – время прохождения ультразвука по бетону без трещины.

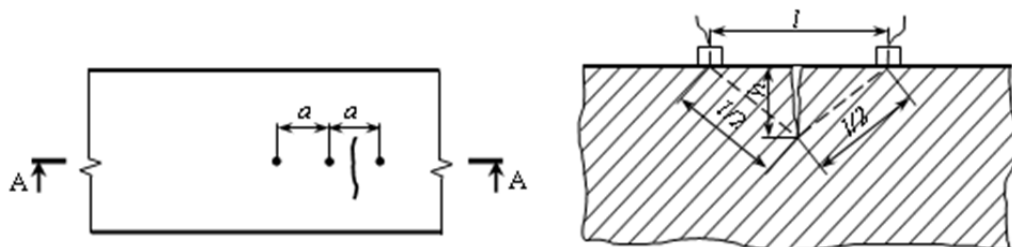


Рис. 11.12. Определение глубины трещины в бетоне

Тогда формула (11.12) преобразуется таким образом:

$$h = v / 2 \sqrt{t_l^2 - t_a^2}. \quad (11.13)$$

Если глубина трещины, измеренной ультразвуковым методом, выше, чем половина толщины конструкции, то данная трещина считается сквозной.

Ширину раскрытия трещины можно определить при помощи мерного микроскопа МПБ-2 (рис. 11.13).



Рис. 11.13. Определение ширины раскрытия трещины при помощи мерного микроскопа МРБ-2

Данное испытание дает качественную оценку глубины дефектов и усредненное значение их глубины. При испытании ультразвуковым прибором УК 1401, в действие которого заложено определение глубины трещин по представленной выше методике, время испытаний существенно сокращается.

12 БЕТОН. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПО ОБРАЗЦАМ, ОТОБРАННЫМ ИЗ КОНСТРУКЦИЙ

Наиболее точным, но и самым трудоемким методом определения фактической прочности бетона является отбор и испытания образцов, отобранных из конструкций. Данный метод регламентирует ГОСТ 28570–90 «Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций».

Данный стандарт распространяется на бетоны всех видов по ГОСТ 25192–2012 «Бетоны. Классификация и общие технические требования», устанавливает методы определения их прочности в сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкциях и изделиях (далее – конструкциях), отбора проб из конструкций, изготовления из этих проб контрольных образцов и определения предела прочности бетонов на сжатие, осевое растяжение, растяжение при раскалывании и растяжение при изгибе (далее – прочности) при разрушающих кратковременных статических испытаниях образцов.

ГОСТ 28570 следует применять, как правило, при инспекционных и экспертных испытаниях прочности бетона в конструкциях действующих и реконструируемых зданий и сооружений.

При производственном контроле прочности бетона конструкций настоящий стандарт следует применять совместно с ГОСТ 18105, в котором установлены правила и нормы отбора проб, твердения и хранения образцов, а также правила оценки прочности бетона на основе результатов испытаний образцов.

Прочность бетона определяют измерением минимальных усилий, разрушающих выбуренные или выпиленные из конструкций образцы бетона при их статическом нагружении с постоянной скоростью роста нагрузки, и последующим вычислением напряжений при этих усилиях в предположении упругой работы материала.

12.1 Требования к образцам

Форма и номинальные размеры образцов в зависимости от вида испытаний бетона должны соответствовать ГОСТ 10180.

Допускается применение цилиндров диаметром от 44 до 150 мм, высотой от 0,8 до 2,0 диаметров при определении прочности на сжатие, от 0,4 до 2,0 диаметров при определении прочности на растяжение при раскалывании и от 1,0 до 4,0 диаметров при определении прочности на осевое растяжение.

За базовый при всех видах испытаний принимают образец с размерами рабочего сечения 150 × 150 мм.

Минимальный размер образца (диаметр и высота цилиндра, ребро куба, сторона поперечного сечения призмы) должен превышать максимальный номинальный размер крупного заполнителя, использованного для изготовления бетона конструкции, из которой отбирают образец для испытаний, если он не превышает 70 мм не менее чем:

- в 2 раза – для образцов, испытываемых на сжатие;
- в 3 раза – для образцов, испытываемых на растяжение.

Образцы испытывают сериями.

Число образцов в каждой серии должно соответствовать требованиям, приведенным в таблице 12.1.

Таблица 12.1

Требования к количеству образцов для испытаний

Минимальный размер образца, мм	≥ 90	61 – 80	≤ 60
Число образцов в серии	2	3	4

При определении прочности бетона на растяжение при раскалывании на образцах-призмах, которые последовательно раскалывают по разным сечениям, допускается иметь в серии меньшее число образцов, если общее число испытаний в серии будет не менее указанного в таблице 12.1.

Отклонения от плоскостности опорных поверхностей кубов и цилиндров, прилегающих к плитам пресса при испытаниях на сжатие, не должны превышать 0,1 мм.

Отклонения от прямолинейности образующей образцов-цилиндров, предназначенных для испытания на раскалывание, не должны превышать 1 мм.

Отклонения от перпендикулярности смежных граней кубов и призм, а также опорных поверхностей и образующих цилиндров, предназначенных для испытания на сжатие, не должны превышать 2 мм.

Отклонения линейных размеров образцов от номинальных (по длине ребер кубов, сторон сечения призм, диаметру цилиндров) не должно превышать $\pm 4\%$.

12.2 Требования к отбору образцов

Пробы бетона для изготовления образцов отбирают путем выпиливания или выбуривания из конструкции или ее части.

Места отбора проб бетона следует назначать после визуального осмотра конструкций в зависимости от их напряженного состояния с учетом минимально возможного снижения их несущей способности. Пробы рекомендуется отбирать из мест, удаленных от стыков и краев конструкций.

После извлечения проб места выборки следует заделывать мелкозернистым бетоном или бетоном, из которого изготовлены конструкции.

Выпиливать и выбуривать пробы бетона из конструкций зданий и сооружений следует алмазными дисковыми пилами или коронками, а также твердосплавным инструментом, обеспечивающим изготовление образцов (рис. 12.1).

Участки для выбуривания или выпиливания проб бетона следует выбирать в местах, свободных от арматуры.

При невозможности отбора проб без арматуры допускается наличие арматуры диаметром не более 16 мм.

От каждого из выбранных участков конструкций отбирают не менее одной пробы бетона.

Места отбора проб бетона, размер и число проб, число серий образцов, изготавливаемых из этих проб, следует принимать при производственном контроле прочности по ГОСТ 18105, а в других случаях – по до-

кументам, содержащим планы контроля и правила оценки результатов, либо устанавливать экспертным путем.



Рис. 12.1. Выбуривание пробы бетона при помощи бурильной установки HILTI

Каждая проба бетона (высверленный керн, выпиленная или вырубленная заготовка, рис. 12.2) должна быть промаркирована и описана в протоколе.



Рис. 12.2. Отобранные пробы бетона (керны)

12.3 Требования к изготовлению и хранению образцов

Из проб бетона, отобранных из конструкций, изготавливают контрольные образцы для испытаний. Образцы-цилиндры изготавливают из

выбуренных кернов, а образцы-кубы и призмы – из проб бетона, выпиленных из конструкции.

Форма и размеры образцов должны соответствовать требованиям, указанным выше, а число образцов в серии – указанным в таблице.

Для распиливания образцов из бетона применяют распиловочные станки типов УРБ-175 по ТУ 34-13-10500 или УРБ-300 по ТУ 34-13-10910 с режущим инструментом в виде отрезных алмазных дисков типа АОК или алмазных сегментных кругов по ГОСТ 16115 «Круги алмазные отрезные сегментные форм 1А1RSS/C1 и 1А1RSS/C2. Технические условия» (рис. 12.3).

Для финишного шлифования поверхности образцов кернов применяется шлифовальный круг (рис. 12.4).

В помещении, где проводят испытания образцов, следует поддерживать температуру воздуха $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ и относительную влажность воздуха не менее 55 %.

Образцы бетона после изготовления (рис. 12.5) испытывают при одном из двух заданных состояний бетона: воздушно-влажностном или насыщенном водой.

При испытаниях в воздушно-влажностном состоянии после их изготовления мокрым способом образцы выдерживают не менее 6 суток в лабораторных условиях (температура воздуха $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ и относительная влажность воздуха не менее 55 %).

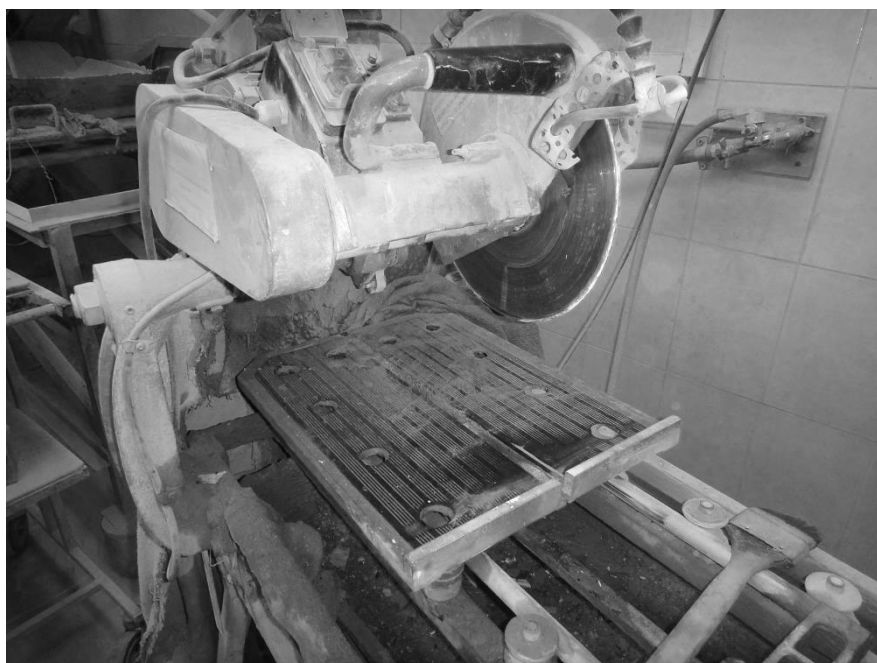


Рис. 12.3. Распиловочный станок



Рис.12.4. Шлифовальный круг



Рис. 12.5. Изготовленные образцы из кернов

Образцы в насыщенном водой состоянии предварительно выдерживают в воде температурой $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ не менее 48 ч, а после извлечения их из воды и промокания влажной тканью испытывают.

Испытание образцов на сжатие и все виды растяжения, а также выбор схемы испытания и нагружения производят по ГОСТ 10180.

12.4 Обработка результатов

Прочность бетона испытанного образца с точностью до 0,1 МПа (1,0 кгс/см²) при испытании на сжатие и с точностью до 0,01 МПа (0,1 кгс/см²) при испытаниях на растяжение вычисляют по следующим формулам:

$$\text{на сжатие} \quad R^{\text{обр}} = \frac{P}{F}; \quad (12.1)$$

$$\text{на осевое растяжение} \quad R_t^{\text{обр}} = \frac{P}{F}; \quad (12.2)$$

$$\text{на растяжение при раскалывании} \quad R_{tt}^{\text{обр}} = \frac{2P}{\pi F}; \quad (12.3)$$

$$\text{на растяжение при изгибе} \quad R_{tf}^{\text{обр}} = \frac{Pl}{ab^2}, \quad (12.4)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н (кгс);

F – площадь рабочего сечения образца, мм² (см²);

a, b, l – соответственно ширина и высота поперечного сечения призмы и расстояние между опорами при испытании образцов на растяжение при изгибе, мм (см).

Для приведения прочности бетона в испытанном образце к прочности бетона в образце базового размера и формы полученные по формулам (12.1)–(12.4) прочности пересчитывают по формулам (12.5)–(12.8):

$$\text{на сжатие} \quad R = R^{\text{обр}} \alpha \eta_1; \quad (12.5)$$

$$\text{на осевое растяжение} \quad R_t = R_t^{\text{обр}} \beta; \quad (12.6)$$

$$\text{на растяжение при раскалывании} \quad R_{tt} = R_{tt}^{\text{обр}} \gamma \eta_2; \quad (12.7)$$

$$\text{на растяжение при изгибе} \quad R_{tf} = R_{tf}^{\text{обр}} \delta, \quad (12.8)$$

где η_1 и η_2 – коэффициенты, учитывающие отношение высоты цилиндра к его диаметру, принимаемые при испытаниях на сжатие по таблице 12.2, при испытаниях на растяжение при раскалывании – по таблице 12.3 и равные 1 для образцов другой формы;

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – масштабные коэффициенты, учитывающие форму и размеры поперечного сечения испытанных образцов, которые принимают по таблицам 12.4, 12.5 или определяют экспериментально по ГОСТ 10180.

Таблица 12.2

Значения коэффициента η_1

$\frac{h}{d}$	От 0,85 до 0,94	От 0,95 до 1,04	От 1,05 до 1,14	От 1,15 до 1,24	От 1,25 до 1,34	От 1,35 до 1,44	От 1,45 до 1,54	От 1,55 до 1,64	От 1,65 до 1,74	От 1,75 до 1,84	От 1,85 до 1,94	От 1,95 до 2,0
η_1	0,96	1,00	1,04	1,08	1,10	1,12	1,13	1,14	1,16	1,18	1,19	1,20

Таблица 12.3

Значения коэффициента η_2

$\frac{h}{d}$	1,04 и менее	От 1,05 до 1,24	От 1,25 до 1,44	От 1,45 до 1,64	От 1,65 до 1,84	От 1,85 до 2,00
η_2	1,00	1,02	1,04	1,07	1,10	1,13

Таблица 12.4

Значения масштабных коэффициентов α , β , γ и δ

Форма и размеры образцов: ребро куба или сторона квадратной призмы, мм	Значение масштабных коэффициентов для образцов, испытанных				
	на сжатие α	на растяжение при раскалывании γ		на растяжение при изгибе δ	на осевое растяжение β
	Все виды бетонов	Тяжелый бетон	Мелкозернистый бетон	Тяжелый бетон	
70	0,85	0,78	0,87	0,86	0,80
100	0,95	0,88	0,92	0,92	0,92
150	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
200	1,05	1,10	1,05	1,15	1,08

Таблица 12.5

Значения коэффициента α при испытаниях на сжатие образцов-цилиндров

$R^{обр} \eta_1$, МПа	Коэффициент α при испытаниях на сжатие цилиндров диаметром, мм			
	50 ± 6	63 ± 6	80 ± 10	более 90
15 и менее	1,10	1,06	1,02	1,0
Св. 15 до 25	1,07	1,04	1,01	1,0
Св. 25 до 35	1,03	1,01	1,0	1,0
Св. 35 до 45	0,96	0,97	0,99	1,0
Св. 45 до 55	0,88	0,92	0,97	1,0
Св. 55	0,80	0,83	0,95	1,0

Прочность бетона в серии образцов определяют как среднее арифметическое значение:

в серии из двух образцов – по двум образцам;

в серии из трех образцов – по двум наибольшим по прочности образцам;

в серии из четырех образцов – по трем наибольшим по прочности образцам;

в серии из шести образцов – по четырем наибольшим по прочности образцам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СТАНДАРТОВ

1. ГОСТ 103–2006. Прокат сортовой стальной горячекатаный полосовой. Сортамент.
2. ИСО 148-1:2009. Материалы металлические. Испытание на ударный изгиб на маятниковом копре по Шарпи. Часть 1. Метод испытания (ISO 148-1:2009. Metallic materials – Charpy pendulum impact test – Part 1: Test method).
3. ГОСТ Р ИСО 148-1–2013. Материалы металлические. Испытание на ударный изгиб на маятниковом копре по Шарпи. Часть 1. Метод испытания.
4. ГОСТ 535–2005. Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия.
5. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение.
6. ГОСТ 2246–70. Проволока стальная сварочная. Технические условия.
7. ГОСТ 2590–2006. Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент.
8. ГОСТ 2591–2006. Прокат стальной горячекатаный квадратный. Сортамент.
9. ГОСТ 2789–73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.
10. ГОСТ 2879–2006. Прокат сортовой стальной горячекатаный шестигранный. Сортамент.
11. ГОСТ 2999–75. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу.
12. ГОСТ 4781–85. Профили стальные горячекатаные для шпунтовых свай. Технические условия.
13. ГОСТ 3647–80. Материалы шлифовальные. Классификация. Зернистость и зерновой состав. Методы контроля.
14. ГОСТ 5264–80*. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
15. ГОСТ 5781–82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия.
16. ГОСТ 6139–2003. Песок для испытаний цемента. Технические условия.
17. ГОСТ 6996–66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств.
18. ГОСТ 7268–82. Сталь. Метод определения склонности к механическому старению по испытанию на ударный изгиб.

19. ГОСТ 7564–97. Прокат. Общие правила отбора проб, заготовок и образцов для механических и технологических испытаний.
20. ГОСТ 8239–89. Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент.
21. ГОСТ 8240–97. Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент.
22. ГОСТ 8509–93. Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент.
23. ГОСТ 8510–86. Уголки стальные горячекатаные неравнополочные. Сортамент.
24. ГОСТ 8713–79. Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
25. ГОСТ 9012–59. Металлы. Метод измерения твердости по Бригеллю.
26. ГОСТ 9013–59. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу.
27. ГОСТ 9087–87*. Флюсы сварочные плавные. Технические условия.
28. ГОСТ 9454–78*. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах.
29. ГОСТ 9467–75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы.
30. ГОСТ 9651–84. Металлы. Методы испытаний на растяжение при повышенных температурах.
31. ГОСТ 10060–2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости.
32. ГОСТ 10180–2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
33. ГОСТ 10884–94. Сталь арматурная термомеханическая упроченная для железобетонных конструкций. Технические условия.
34. ГОСТ 10922–2012. Арматурные и закладные изделия, их сварные, вязанные и механические соединений для железобетонных конструкций.
35. ГОСТ 11533–75. Автоматическая дуговая сварка под флюсом. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
36. ГОСТ 11534–75. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
37. ГОСТ 11701–84. Металлы. Методы испытаний на растяжение тонких листов и лент.
38. ГОСТ 12004–81. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение.
39. ГОСТ 12730.1–78. Бетоны. Методы определения плотности.

40. ГОСТ 12730.3–78. Бетоны. Метод определения водопоглощения.
41. ГОСТ 12730.5–84. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости.
42. ГОСТ 12359–99. Стали углеродистые, легированные и высоколегированные. Методы определения азота.
43. ГОСТ 13087–81. Бетоны. Методы определения истираемости.
44. ГОСТ 14019–2003. Материалы металлические. Методы испытания на изгиб.
45. ГОСТ 14098–91. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций.
46. ГОСТ 14782–86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.
47. ГОСТ 14771–76. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
48. ГОСТ 15164–78. Электрошлаковая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
49. ГОСТ 15467–79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения.
50. ГОСТ 16115–88. Круги алмазные отрезные сегментные форм 1A1RSS/C1 и 1A1RSS/C2. Технические условия.
51. ГОСТ 17152–89. Профили стальные горячекатаные для ножей землеройных машин. Общие технические условия.
52. ГОСТ 17624–2012. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.
53. ГОСТ 18105–86. Бетоны. Правила контроля прочности.
54. ГОСТ 18662–83*. Профили горячекатаные СВП для крепи горных выработок. Сортамент.
55. ГОСТ 19240–73. Рельсы для наземных и подвесных путей. Сортамент.
56. ГОСТ 19425–74*. Балки двутавровые и швеллеры стальные специальные. Сортамент.
57. ГОСТ 21026–75*. Швеллеры стальные горячекатаные с отогнутой полкой для вагонеток. Сортамент.
58. ГОСТ 22536.0–87. Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Общие требования к методам анализа.
59. ГОСТ 22536.1–88. Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения общего углерода и графита.
60. ГОСТ 22536.2–87. Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения серы.
61. ГОСТ 22536.3–88. Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения фосфора.

62. ГОСТ 22536.5–87. Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения марганца.

63. ГОСТ 22536.7–88. Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения хрома.

64. ГОСТ 22536.8–87. Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения меди.

65. ГОСТ 22536.9–88. Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения никеля.

66. ГОСТ 22685–89. Формы для изготовления контрольных образцов бетона технические условия.

67. ГОСТ 22536.12–88. Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения ванадия.

68. ГОСТ 22685–89. Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия.

69. ГОСТ 22904–93. Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры.

70. ГОСТ 23518–79. Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

71. ГОСТ 23829–85. Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения.

72. ГОСТ 23858–79 (1995). Соединения сварные стыковые и тавровые арматуры железобетонных конструкций.

73. ГОСТ 24452–80. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона.

74. ГОСТ 25192–2012. Бетоны. Классификация и общие технические требования.

75. ГОСТ 26020–83. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Сортамент.

76. ГОСТ 26271–84. Проволока порошковая для дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей. Общие технические условия.

77. ГОСТ 22690–88. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля.

78. ГОСТ 27809–95. Чугун и сталь. Методы спектрографического анализа.

79. ГОСТ 28473–90. Чугун, сталь, ферросплавы, хром, марганец металлические. Общие требования к методам анализа.

80. ГОСТ 28570–90 Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций.

81. ГОСТ 28840–90. Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования.

82. ГОСТ Р 52544–2006. Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. Технические условия.

83. ГОСТ Р 53772–2010. Канаты стальные арматурные семипроволочные стабилизированные. Технические условия.

84. СТО АСЧМ 7–93. Прокат арматурный периодического профиля. Технические условия.

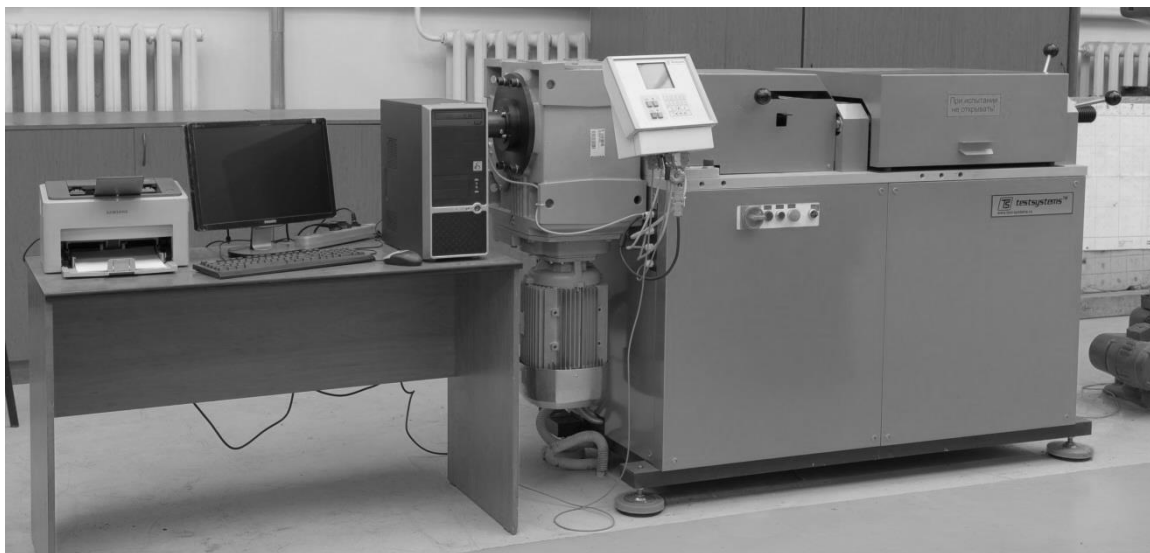
85. СП 63.13330–2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.

86. СП 70.13330–2012. Несущие и ограждающие конструкции.

87. РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю.

**СОВРЕМЕННОЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ, НАХОДЯЩЕЕСЯ В ИЛ «МЕХАНИЧЕСКАЯ
ЛАБОРАТОРИЯ ИМ. ПРОФ. Н.А. БЕЛЕЛЮБСКОГО»**

**Машина для испытаний на кручение
КТС 403-5000В-500**



Предназначена для проведения испытания болтов на закручивание с целью контроля качества поверхности резьбы в соответствии с ГОСТ Р 52643–2006.

Производство: ООО «Тестсистемы», Россия.

Технические характеристики:

- максимальное усилие натяжения болта 500 кН;
- пределы допускаемой погрешности измерения усилия натяжения болта $\pm 1\%$ в диапазоне от 20 до 500 кН;
- максимальный крутящий момент для натяжения болта 5000 Нм;
- пределы допускаемой погрешности измерения крутящего момента $\pm 5\%$ от измеряемой величины в диапазоне от 200 до 5000 кН;
- диаметр испытываемых болтов от 16 до 30 мм по ГОСТ 22353–77;
- скорость закручивания гайки без рывков не более 10 об/мин;
- потребляемая мощность не более 10 кВт;
- габаритные размеры машины (ширина $\times$ длина $\times$ высота) не более: 900 $\times$ 2100 $\times$ 1300 мм;
- масса машины не более 1500 кг.

Универсальная машина для статических испытаний с гидравлическим приводом SATEC 1200KN-J3D

Предназначена для проведения измерений физических параметров материалов и изделий при статических испытаний на растяжение, сжатие, изгиб и отслаивание.

Производство: фирма «Instron Corporation», США.

Технические характеристики:

Рама машины:

- максимальная нагрузка 1200 кН;
- двухколонная жесткая рама;
- ход поршня 610 мм;
- максимальная высота машины 5550 мм;
- размер зоны растяжение/сжатие между датчиком нагрузки и основанием машины: максимум 3225 мм с полностью убранном актуатором; минимум 711 мм с полностью выдвинутым актуатором;
- площадь рамы 1730 × 940 мм;
- масса рамы 6760 кг;
- высокоточный независимый датчик нагрузки с точностью измерения нагрузки 0,5 % в диапазоне от 0,4 % до 100 % номинальной мощности датчика;
- датчик положения поршня;
- дополнительная панель управления на раме.

Гидравлическая станция для машин растяжение/сжатия максимальной нагрузкой до 1500 кН:

- уровень шума не более 70Дб;
- автоматическая система регулирования давления в системе для предотвращения перегрева и снижения шума;
- воздушное охлаждение масла;
- отображение давления, температуры и уровня масла;
- габариты 911×862×706 мм;
- масса 890 кг;
- максимальная потребляемая мощность 16 кВт.



Маятниковый копер SI-1M



Предназначен для измерений энергии разрушения образцов при их испытаниях на двухопорный изгиб, консольный изгиб и ударное растяжение, а также для определения ударной вязкости.

Производство: фирма «Instron Corporation», США.

Технические характеристики:

- оснащен датчиком удара, позволяющим регистрировать силу и момент удара, а также записывать и воспроизводить диаграмму испытаний;
- номинальное значение потенциальной энергии маятника 450 Дж;
- потеря энергии при свободном качании маятника за половину полного колебания не более 0,5 %;
- диапазон измерения поглощенной энергии от 10 до 450 Дж;
- дискретность отсчета цифрового индикатора 0,01 Дж;
- номинальная масса маятника 34,6 кг;
- скорость движения маятника в момент удара от 0,6 до 5,5 м/с;
- угол отклонения маятника от 12 до 150 град;
- оснащен внешним защитным ограждением;
- габаритные размеры (ширина, глубина, высота) 2010×1230×1680 мм;
- потребляемая мощность не более 3,3 кВт.

Компактная настольная испытательная машина EZ-L-5kN



Предназначена для проведения измерений физических параметров материалов и изделий при статических испытаниях на растяжение, сжатие, изгиб и отслаивание, а также для испытаний с произвольными регулировками, заменяющими применение разнообразных испытательных стенов.

Производство: Корпорация Shimadzu, Япония.

Технические характеристики:

- номинальное значение нагрузки 5 кН;
- расстояние между краем держателя измерительной ячейки и краем держателя нижнего зажима от 166 до 1086 мм;
- габаритные размеры (ширина, глубина, высота) 371×538×1333 мм;
- доступные режимы работы: одиночный тест, силовой циклический тест, позиционный циклический тест;
- при проведении циклического теста: частота повтора циклов не более 3 циклов в минуту; время непрерывной работы не более 10 часов; число циклов не более 1000;
- диапазон скорости проведения теста от 0,05 до 1000 мм/мин;
- масса около 60 кг.

Климатическая камера CH600C (серия CHALLENGE)



Предназначена для проведения испытаний с контролем температуры и относительной влажности.

Производство: компания «Angelantoni Industrie S.p.A.», Италия.

Технические характеристики:

- полезный объем 557 л;
- диапазон значений температур от минус 75 до +180 °C;
- диапазон значений относительной влажности (при температуре от +5 до +95 °C) 10...98 %;
- точность значений относительной влажности 1...3 %;
- диапазон значений точки росы для непродолжительных испытаний +2...+94 °C;
- диапазон значений точки росы для непродолжительных испытаний от минус 20 до +2 °C;
- наличие ультрафиолетового излучения;
- максимальный потребляемый ток 25,9 А;
- максимальная потребляемая мощность 14,4 кВт;
- охлаждающий газ компрессора R404 (A/R23);
- внешние габариты (ширина×глубина×высота) 1100×1705×1911;
- полезные внутренние габаритные размеры (ширина × глубина × высота) 850×733×895;
- допустимая нагрузка на каждую внутреннюю полку 50 кг;
- масса 880 кг.

Универсальная испытательная машина AG-50kNX (серия Shimadzu Autograph AG-X)

Предназначена для контроля качества любых материалов (металлов, керамики, пластики, каучука, продуктов питания, фармацевтических препаратов и пленки), а также для исследования и разработки новых материалов при растяжении, сжатии, изгибе и отслаивании при комнатной температуре.

Производство: корпорация Shimadzu, Япония.

Технические характеристики:

- максимальная нагрузка 50 кН;
- метод нагружения: прямой, высокопрецизионный, постоянный контроль интенсивности нагрузки;
- точность: не менее 1% от испытательного усилия в интервале от 1/1 до 1/500 номинальной мощности датчика;
- диапазон скорости траверсы 0,005 ... 1000 мм/мин, максимальная скорость возврата 1200 мм/мин;
- точность скорости траверсы не менее 1 %;
- расстояние между траверсами не менее 2265 мм;
- расстояние между клиновидными захватами не менее 1800 мм;
- эффективная ширина испытания не менее 595 мм;
- скорость сбора данных не менее 5000 Гц;
- частота выборки данных не менее 300 кГц;
- твердость рамы не менее 175 кН/мм;
- автоматическое распознавание блока нагрузки;
- внешние аналоговые входы (2 канала) и выходы (2 канала);
- внешний цифровой вход (2 канала);
- возможность проведения малоциклических испытаний;
- наличие внешнего съемного блока управления;
- наличие высокопрецизионного экстензометра с измерительной базой от 10 до 550 мм, точностью задания измерительной базы не менее 0,5 % от задаваемой величины, точностью не менее 0,5 % от отображаемой величины (или $\pm 2,5$ мкм).



Универсальный напольный твердомер DIGI-TESTOR 971/3000D



Предназначен для измерения твердости черных и цветных металлов, углеродных слоев и материалов с керамическими покрытиями по шкалам Роквелла, Виккерса, Бринелля с нагрузками от 30 кгс до 3000 кгс.

Производство: «Instron Wolpert Wilson Instruments», Великобритания.

Технические характеристики:

- широкий диапазон методов измерения твердости с помощью одного твердомера по Роквеллу, Виккерсу, Бринеллю нагрузками до 3000 кгс;
- цифровая система управления с тензометрическим датчиком силы;
- большой проекционный дисплей и цифровой микрометр для измерения размеров отпечатков;
- погрешность измерителя не более

1 мкм;

- возможность размещения крупных деталей: высота подъема стола 700 мм, стол 400×600 мм;
- автоматическое приложение нагрузки;
- моторизированный подъем стола;
- автоматическая фокусировка;
- габариты (высота × ширина × длина): 1125×465×929 мм;
- масса около 810 кг;
- питание 230 В 50/60 Гц.

Испытательная разрывная машина МИРИ-500К

Предназначена для статических испытаний образцов металлов и сплавов на растяжение при нормальной температуре по ГОСТ 1497, 6996, 10006, 27208, ASTM E8, DIN 50125, EN 10002, стали арматурной по СТО АСЧМ 7-93, ГОСТ 5781, ГОСТ 12004; испытаний на сжатие по ГОСТ 25.503; технологических испытаний образцов на изгиб по



ГОСТ 14019, 6996, 27208; испытаний на осадку по ГОСТ 8817; испытаний на излом по ГОСТ 5521, технологических испытаний металлических труб на бортование по ГОСТ 8693, сплющивание по ГОСТ 8695, на раздачу по ГОСТ 8694 и ГОСТ 11706, испытаний на статический изгиб (до придания образцу U-образной формы – угол загиба 180 градусов) по API 1104.

Производство: ООО «НИКЦИМ Точмашприбор», Россия.

Технические характеристики:

- максимальная нагрузка 500 кН; минимальная нагрузка 10 кН;
- отдельное нагружающее устройство на изгиб и сжатие;
- максимальная высота рабочего пространства 420/450 мм;
- рабочий ход активного захвата не менее 100 мм;
- установочный ход активного захвата не менее 300/150 мм;
- ширина рабочего пространства разрывной машины 500/340 мм;
- диапазон скоростей нагружения при испытании на растяжение 0,05...20 кН/с;
- диапазон скоростей перемещения активного захвата разрывной машины: малых перемещений 0,0025...2,5 мм/с; больших перемещений 0,025...2,5 мм/с;
- наибольшая скорость перемещения активного захвата разрывной машины без нагрузки 165 мм/мин;
- пределы допускаемой погрешности измерения: нагрузки (в диапазоне измерения) $\pm 1\%$, перемещения (в диапазоне измерения) $\pm 2\%$, деформации (от предельного диапазона) $\pm 1\%$;
- габаритные размеры разрывной машины (длина $\times$ ширина $\times$ высота) 2400 $\times$ 1900 $\times$ 2500 мм; масса 2600 кг; потребляемая мощность 5,0 кВт.

Машина для испытаний на сжатие (ПРЕСС) МИС-2000К



Предназначена для статических испытаний на сжатие стандартных образцов бетонов по ГОСТ 10180, образцов из асфальтобетонных смесей по ГОСТ 12801, огнеупорных изделий по ГОСТ 4071.1, других видов строительных материалов и горных пород. Дополнительно добавлена поперечная плита, позволяющая проводить испытания на изгиб.

Производство: ООО «НИКЦИМ Точмашприбор», Россия.

Технические характеристики:

- наибольшая предельная нагрузка 2000 кН;
- наименьшая предельная нагрузка 20 кН;
- высота рабочего пространства не менее 610 мм;
- ширина рабочего про-

странства не менее 530 мм;

- размеры опорных плит 320×320 мм;
- размер поперечной дополнительной плиты на изгиб 320×1000 мм;
- диапазон скоростей нагружения 2,0...100 кН/с;
- наибольшая скорость перемещения поршня рабочего цилиндра без нагрузки 35 мм/мин;
- пределы допускаемой относительной погрешности силоизмерителя при прямом ходе (нагружении) ± 1 % от измеряемой нагрузки силоизмерителя;
- пределы допускаемой относительной погрешности системы регулирования скорости нагружения ± 5 % от заданной скорости нагружения;
- габаритные размеры (длина × ширина × высота) 1720×1830×2300 мм;
- масса не более 3200 кг;
- потребляемая мощность 2,6 кВт.

Искровой эмиссионный спектрометр PDA-7000

Предназначен для определения химического состава и контроля качества металлов.

Производство: Корпорация Shimadzu, Япония.

Технические характеристики:

- спектрометр – термостатированный вакуумный полихроматор Пашена–Рунге, 0,6 м;
- высокочувствительное определение азота в стали с пределом обнаружения 2 ppm;
- экспрессное определение C, P, S в различных матрицах на уровне ppm;
- коррекция на неомогенность пробы методом внутреннего стандарта;
- автоматическая очистка противоэлектрода путём изменения полярности разряда и применения механической щётки;
- анализ распределения импульсов (PDA), спектроскопия временного разрешения (TRS);
- анализ распределения импульсов (PDA), спектроскопия временного разрешения (TRS);
- матричная и межэлементная коррекция, программы для калибровки, рекалибровки и обработки анализов, сохранения и воспроизведения результатов с графическим представлением, калибровки фабричные и по индивидуальному заказу пользователя;
- автоматическая очистка противоэлектрода путём изменения полярности разряда и применения механической щётки;
- матричная и межэлементная коррекция, программы для калибровки, рекалибровки и обработки анализов, сохранения и воспроизведения результатов с графическим представлением, калибровки фабричные и по индивидуальному заказу пользователя;
- голографическая решетка 2400 штр/мм;
- диапазон длин волн 121–589 нм;
- обратная линейная дисперсия 0,69 нм/мм, первый порядок;
- число каналов до 64;



- источник искры – униполярная система разряда с микропроцессорным контролем и высокоэнергетическим предразрядом, автоматическая очистка электрода, продувка аргоном;
- блок регистрации данных – метод анализа распределения импульсов, программы для калибровки и обработки анализов, сохранения, воспроизведения и распечатки результатов с графическим представлением, преобразование данных в формат Excel;
- габаритные размеры (длина × ширина × высота) 1460(1940)×500××1200 мм;
- масса 500 кг.

Универсальная испытательная машина AG-300kNX

Предназначена для контроля качества любых материалов (металлов, керамики, пластики, каучука, продуктов питания, фармацевтических препаратов и пленки), а также для исследования и разработки новых материалов при растяжении, сжатии, изгибе и отслаивании при комнатной, повышенной и пониженной температурах.

Производство: Корпорация Shimadzu, Япония.

Технические характеристики:

Универсальная напольная электро-механическая испытательная машина на растяжение, сжатие и изгиб:

- максимальная нагрузка 300 кН;
- диапазон измерения от 600 Н до 300 кН без смены тензодатчика с точностью усилия не хуже $\pm 1\%$ от значения усилия (в интервале от 1/1 до 1/500 номинальной мощности тензодатчика);
- диапазон скорости траверсы 0,0005...500 мм/мин, произвольная не ступенчатая установка;
- максимальная скорость возврата не менее 600 мм/мин;
- точность скорости траверсы не хуже $\pm 0,1\%$;
- разрешение положения траверсы не хуже 0,0104 мкм;
- жесткость рамы не хуже 400 кН/мм;
- максимальное расстояние между захватами при растяжении не менее 1350 мм;
- общее рабочее пространство не менее 2190 мм;
- эффективная ширина рабочего пространства не менее 595 мм;
- захваты механические клиновидного или другого типа с максимальным усилием 300 кН для работы в температурном диапазоне от 0 до +120 °C;
- захваты механические клиновидного или другого типа с максимальным усилием не менее 100 кН для работы в температурном диапазоне от минус 180 до +300 °C; максимальное расстояние между зажимами 20...160 мм в термокамере, максимальный ход траверсы в термокамере 140 мм.



Температурная камера:

- диапазон от минус 180 до +320 °С, управление через персональный компьютер;
- внутренние габариты камеры 382×382×600 мм;
- внешние габариты камеры 770×1400×1670 мм;
- температурный диапазон от минус 180 до +320 °С;
- охлаждение жидким азотом;
- нагревание: приблизительно 40 мин (до +320 °С);
- охлаждение: приблизительно 30 мин (до минимальной температуры);
- температурное распределение (пустая камера): в пределах $\pm 1,5$ °С в центре камеры ± 110 мм.

Видеоэкстензометр:

- две ССD-камеры с приспособлением для крепления видеоэкстензометра к испытательной машине;
- поле зрения камеры: от 27 до 500 мм (в зависимости от установленной линзы); максимальный диапазон – 2/3 от поля зрения камер;
- измерительная база – любая в пределах поля зрения камер;
- точность измерения при комнатной температуре:
 - при поле зрения камеры 60 мм (линзы f75, f50, f25, f16) ± 3 мкм или 1 % от измеряемой величины (JIS/ISO Class1);
 - при поле зрения камеры от 60 до 120 мм (линзы f75, f50, f25, f16) ± 6 мкм или 1 % от измеряемой величины (JIS/ISO Class2);
 - при поле зрения камеры более 120 мм (линзы f75, f50, f25, f16) поле зрения (2×10^4) или 1 % от измеряемой величины;
 - полный диапазон (линза f 6.5) поле зрения (1×10^4) или 1 % от измеряемой величины;
- точность измерения в температурной камере:
 - при поле зрения камеры 30 мм и менее (линзы f75, f50, f25, f16) ± 6 мкм или 2% от измеряемой величины (JIS/ISO Class2);
 - при поле зрения камеры более 30 мм (линзы f75, f50, f25, f16) поле зрения (5×10^3) или 2 % от измеряемой величины;
 - полный диапазон (линза f 6,5) поле зрения ($2,5 \times 10^3$) или 2 % от измеряемой величины.

Трансформаторы:

- для термокамеры – мощностью 3 кВА;
- для испытательной машины – понижающий 380/220 мощностью 7,5 кВА.

Испытательная машина (пульсатор) HB-250

Предназначена для динамического и квазистатического нагружения с плавным, статическим, нарастающим или сменным протеканием посредством гидравлического привода при испытаниях образцов или конструкций из металлов, пластмасс, керамики, дерева и других материалов на растяжение, сжатие, изгиб, а также для определения параметров трещиностойкости образцов из металлов.

Производство: фирма «Zwick GmbH & Co.KG», Германия.

Технические характеристики:

- диапазон измерений силы сжатия от 10 до 250 кН;
- диапазон измерений силы растяжения от 10 до 250 кН;
- диапазон перемещения подвижной траверсы 1200 мм;
- частота проведения испытаний от 0,1 до 40 Гц (возможно при модернизации гидростанции до 200 Гц);
- ход поршня 100 мм;
- пределы допускаемого относительного размаха показаний $\pm 0,5\%$;
- пределы допускаемого относительного гистерезиса $\pm 0,75\%$;
- пределы допускаемого относительного отклонения нулевых показаний $\pm 0,05\%$;
- габаритные размеры (ширина $\times$ длина $\times$ высота) 1530 $\times$ 1800 $\times$ 3749 мм;
- масса 7650 кг;
- потребляемая мощность 45,7 кВА;
- питание от сети переменного тока: напряжение от 187 до 242 В; частота от 49 до 51 Гц;
- гидростанция: давление в системе 280 бар; объемный расход максимальный 60 л/мин; объем масляного резервуара 235 л; охлаждение воздушное;
- наличие шумоизолирующей камеры для гидростанции;
- захваты гидравлические.



ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторная работа № 1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АРМАТУРЫ

1. Изучение положений и требований ГОСТ 5781–82 «Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия» и ГОСТ Р 52544–2006 «Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. Технические условия».
2. Изучение положений и требований ГОСТ 12004–81 «Сталь арматурная. Методы испытаний на растяжение», ГОСТ 14019–2003 «Материалы металлические. Методы испытания на изгиб».
3. Изготовление одного образца арматуры для испытаний на растяжение и одного образца для испытаний на однократный изгиб.
4. Ознакомление с методом испытаний арматуры на растяжение для испытательной машины МИРИ-500К. Подготовка испытательной машины для проведения экспериментов по определению механических свойств при растяжении.
5. Определение геометрических параметров образца арматуры и подготовка образцов к испытаниям.
7. Проведение испытаний на растяжение.
8. Ознакомление с методом испытаний арматуры на однократный изгиб для испытательной машины МИРИ-500К. Подготовка испытательной машины для проведения экспериментов по определению механических свойств при изгибе.
9. Проведение испытаний на однократный изгиб.
10. Составление протокола испытаний по результатам экспериментов.

Лабораторная работа № 2

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ СТЫКОВЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

1. Изучение положений и требований ГОСТ 10922–2012 «Арматурные и закладные изделия сварные, соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Общие технические условия».
2. Создание компьютерного метода испытаний стыковых сварных соединений на растяжение на машине INSTRON SATEC 1200KN-J3D или AG-300kNX (Shimadzu) или ознакомление с методом испытаний.
3. Подготовка испытательной машины для проведения экспериментов по определению механических свойств стыкового сварного соединения.
4. Подготовка одного образца стыкового сварного соединения с учетом требований ГОСТ 10922 и возможностей испытательной машины.
5. Определение геометрических параметров арматурных стержней сварного соединения.
6. Проведение испытаний.
7. Составление протокола испытаний по результатам экспериментов.

Лабораторная работа № 3

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ КРЕСТООБРАЗНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА РАЗУПРОЧНЕНИЕ СВАРКОЙ АРМАТУРНОЙ СТАЛИ

1. Изучение положений и требований ГОСТ 10922–2012 «Арматурные и закладные изделия сварные, соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Общие технические условия».
2. Создание компьютерного метода испытаний крестообразных соединений на разупрочнение сваркой арматурной стали на машине AG-300kNX (Shimadzu) или ознакомление с методом испытаний.
3. Подготовка испытательной машины для проведения экспериментов по определению механических свойств крестообразного сварного соединения.

4. Изготовление двух образцов крестообразных сварных соединений из арматурных каркасов.

5. Определение геометрических параметров арматурных стержней.

6. Проведение испытаний.

7. Составление протокола испытаний по результатам экспериментов.

Лабораторная работа № 4

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ СТЫКОВЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ

1. Изучение положений и требований ГОСТ 10922–2012 «Арматурные и закладные изделия сварные, соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Общие технические условия».

2. Создание компьютерного метода испытаний механических соединений арматурных стержней на машине INSTRON SATEC 1200KN-J3D (или ознакомление с методом испытаний).

3. Определение типа механического соединения арматурных стержней и ознакомление с требованиями технических условий на их изготовление.

4. Подготовка испытательной машины для проведения экспериментов по определению механических свойств стыкового механического соединения и дополнительного оборудования (индикаторов часового типа и приспособлений для их установки).

5. Изготовление (подготовка) одного образца стыкового механического соединения с учетом требований ГОСТ 10922 и возможностей испытательной машины.

6. Определение геометрических параметров арматурных стержней механического соединения.

7. Проведение испытаний.

8. Составление протокола испытаний по результатам экспериментов.

Лабораторная работа № 5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АРМАТУРНЫХ СЕМИПРОВОЛОЧНЫХ КАНАТОВ

1. Изучение положений и требований ГОСТ Р 53772–2010 «Канаты стальные арматурные семипроволочные стабилизированные. Технические условия».
2. Создание компьютерного метода испытаний арматурных канатов на растяжение с определением модуля упругости для машины INSTRON SATEC 1200KN-J3D (или ознакомление с методом испытаний).
3. Подготовка испытательной машины для проведения экспериментов по определению механических свойств семипроволочных канатов.
4. Изготовление двух образцов арматурного каната.
5. Определение геометрических параметров образцов каната.
6. Подготовка образцов каната к испытаниям.
7. Проведение испытаний.
8. Составление протокола испытаний по результатам экспериментов.

Лабораторная работа № 6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБРАЗЦОВ, ОТОБРАННЫХ ИЗ ПРОКАТА. ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ

1. Изучение положений и требований ГОСТ 535–2005 «Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия».
2. Изучение положений и требований ГОСТ 1497–84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение».
3. Ознакомление с методом испытаний цилиндрических или плоских образцов на растяжение для испытательной машины МИРИ-500К. Подготовка испытательной машины для проведения экспериментов по определению механических свойств при растяжении.
4. Определение геометрических параметров образца и подготовка образца к испытаниям.
5. Проведение испытаний на растяжение и анализ полученных результатов.
6. Составление протокола испытаний по результатам экспериментов.

Лабораторная работа № 7

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБРАЗЦОВ, ОТОБРАННЫХ ИЗ ПРОКАТА. ИСПЫТАНИЯ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ

1. Изучение положений и требований ГОСТ 535–2005 «Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия».
2. Изучение положений и требований ГОСТ 9454–78 «Металлы. Метод испытаний на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах».
3. Ознакомление с методом испытаний образцов на ударный изгиб для на копре SI-1М. Подготовка копра для проведения экспериментов по определению ударной вязкости.
4. Изготовление надреза в образце и определение геометрических параметров образца.
5. Проведение испытаний на определение ударной вязкости и анализ полученных результатов.
6. Составление протокола испытаний по результатам экспериментов.

Лабораторная работа № 8

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБРАЗЦОВ, ОТОБРАННЫХ ИЗ ПРОКАТА. ИСПЫТАНИЯ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ

1. Изучение положений и требований ГОСТ 9012–59 «Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю».
2. Изучение положений и требований ГОСТ 9013–59 «Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу».
3. Изучение положений и требований ГОСТ 2999–75 «Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу».
4. Ознакомление с различными методами испытаний (по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу) образцов на определение твердости на универсальном твердомере DIGI-TESTOR 971/3000D.

5. Подготовка твердомера для испытаний по методу Бринелля и выполнение испытания.

6. Подготовка твердомера для испытаний по методу Роквелла и выполнение испытания.

7. Составление протокола испытаний по результатам экспериментов и сравнение полученных результатов с использованием соответствующих таблиц.

Лабораторная работа № 9

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ СТЫКОВЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

1. Изучение положений и требований ГОСТ 14782–2012 «Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые».

2. Расчет параметров ультразвукового контроля сварных стыков для заданных параметров неразрушающего контроля.

3. Настройка ультразвукового дефектоскопа для проведения контроля.

4. Анализ и выбор настроечного образца.

5. Проведение контроля.

6. Определение координат и условных размеров выявленных дефектов.

7. Составление отчета.

Лабораторная работа № 10

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СТЫКОВ АРМАТУРЫ

1. Изучение положений и требований ГОСТ 23858–79(95) «Соединения сварные стыковые и тавровые арматуры железобетонных конструкций. Ультразвуковые методы контроля качества. Правила приемки».

2. Расчет параметров ультразвукового контроля сварных стыков арматуры в зависимости от типа сварного соединения арматуры.

3. Настройка ультразвукового дефектоскопа для проведения контроля.

4. Проведение контроля.
5. Оценка качества сварных стыковых соединений стержней арматуры.
6. Составление отчета.

Лабораторная работа № 11

ПОСТРОЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОСВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА – ПРОЧНОСТЬ

1. Изучение положений и требований ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».
2. Ознакомление с методом испытаний бетона на сжатие для испытательной машины МИС-2000К ИЛИ МС-500, подготовка испытательной машины для проведения экспериментов.
3. Определение геометрических параметров трех образцов бетона и подготовка их к испытаниям.
4. Изучение положений и требований ГОСТ 22690–88 «Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля».
5. Изучение инструкции по эксплуатации склерометра (ОМШ-1 или молотка Шмидта).
6. Определение «косвенной характеристики» прочности при помощи склерометра.
7. Проведение испытаний на сжатие и определение кубиковой прочности бетона.
8. Построение градуировочной зависимости.

Лабораторная работа № 12

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ БЕТОНА ПО ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ

1. Изучение положений и требований ГОСТ 12730.5–84 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости».
2. Ознакомление с устройством «Агама-2Р» для определения воздухопроницаемости бетона.

3. Подготовка двух образцов к испытаниям.
4. Проведение испытаний на растяжение.
5. Проведение испытаний на определение воздухопроницаемости и определение марки бетона по водонепроницаемости.
6. Составление протокола испытаний по результатам экспериментов.

Библиографический список

1. Механическая лаборатория им. проф. Н. А. Белелюбского. Страницы 155-летней истории / С. В. Елизаров, Ю. П. Каптелин, А. В. Бенин. – СПб. : ПГУПС, 2009. – 75 с.
2. Механическая лаборатория им. проф. Н. А. Белелюбского (к 200-летию Петербургского государственного университета путей сообщения) / С. В. Елизаров, Ю. П. Каптелин, А. В. Бенин // *Alma mater* (Вестник высшей школы). – 2009. – № 9. – С. 58–64.
3. Ясинский Ф. С. // Известия собрания инженеров путей сообщения. – 1892. – С. 95.
4. Арматура железобетонных конструкций / С. А. Мадатян. – М. : Воентехлит, 2000. – 256 с.
5. ТУ 4842-196-46854090–2005. Соединения арматуры механические "LENTON" производства фирмы "ERICO". Технические условия. – М. : НИИЖБ, 2005. – 28 с.
6. ТУ 0908-001-99187742–2010. Механические соединения арматуры CONCON. Технические условия.
7. Производство высокопрочной арматуры / И. А. Юхвец. – М. : Металлургия, 1973. – 264 с.
8. Kehl G. L., *The Principles of Metallographic Laboratory Practice*. – 3rd Ed., McGraw-Hill Book Co., 1949, p. 229.
9. Rockwell H. M., Rockwell S. P. Hardness-Tester, US Patent 1 294 171, Feb 1919.
10. Smith R. L., Sandland G. E. An Accurate Method of Determining the Hardness of Metals, with Particular Reference to Those of a High Degree of Hardness // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*. – 1922. Vol. I. – PP. 623–641.
11. Методы акустического контроля металлов / Алешин Н. П. – М. : Машиностроение, 1989.
12. Ультразвуковой контроль сварных соединений / Щербинский В. Г., Алешин Н. П. – М. : Стройиздат, 1989.
13. Теория и практика ультразвукового контроля / Ермолов И. Н. – М. : Машиностроение, 1981. – 240 с.
14. Контроль качества сварных конструкций / Волченко В. Н. – М. : Машиностроение, 1986.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие. Профессор Н. А. Белелюбский и «золотой век» Механической лаборатории	3
1 Арматура железобетонных конструкций	7
1.1 Классификация и маркировка	7
1.2 Определение химического состава арматурной стали	8
1.3 Испытания на растяжение	10
1.4 Испытания на изгиб в холодном состоянии и изгиб с последующим разгибом	20
2 Сварные соединения арматурных и закладных изделий для железобетонных конструкций	23
2.1 Сварные арматурные изделия	26
2.2 Основные методы контроля сварных соединений	29
3 Механические соединения арматуры для железобетонных конструкций	33
4 Стальные арматурные семипроволочные канаты	38
5 Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества	44
5.1 Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки	45
5.2 Общие технические требования к механическим свойствам	45
5.3 Отбор проб и образцов для механических испытаний	47
5.4 Испытания на растяжение	49
5.5 Испытания на ударный изгиб (определение ударной вязкости)	61
5.6 Определение твердости	70
6 Методы определения и нормирование показателей качества сварных соединений	80
6.1 Система формирования качества промышленной продукции сварочного производства	82
6.2 Классификация дефектов	83
6.3 Требования, предъявляемые к выполнению сварочных работ	90
7 Визуально-измерительный контроль сварных соединений строительных металлоконструкций	94
8 Ультразвуковой контроль сварных соединений строительных металлоконструкций	102
8.1 Подготовка к ультразвуковому контролю сварных соединений	106
8.2 Параметры ультразвукового контроля стыковых сварных швов	109

8.3	Параметры ультразвукового контроля тавровых сварных швов с полным проплавлением корня шва	109
8.4	Проведение контроля	110
8.5	Оценка качества	113
8.6	Ультразвуковой контроль сварных стыковых и тавровых соединений арматуры железобетонных конструкций	115
9	Бетон. Определение прочности бетона по контрольным образцам	127
9.1	Основные положения	127
9.2	Требования к контрольным образцам, их изготовлению, твердению и хранению	129
9.3	Подготовка образцов к испытаниям	133
9.4	Проведение испытаний. Общие требования	135
9.5	Испытания на сжатие	136
9.6	Испытание на растяжение при изгибе	139
9.7	Испытания на растяжение при раскалывании	140
9.8	Испытание на осевое растяжение	141
9.9	Обработка и оценка результатов	142
9.10	Определение призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона	144
9.11	Истираемость бетона	149
10	Бетон. Определение марок бетона по водонепроницаемости и морозостойкости	153
10.1	Определение водонепроницаемости бетона по методу мокрого пятна	153
10.2	Ускоренный метод определения водонепроницаемости бетона по его воздухопроницаемости	155
10.3	Определение марки бетона по морозостойкости	158
10.4	Базовые методы определения морозостойкости	161
10.5	Ускоренные методы определения морозостойкости	167
11	Бетоны. Определение прочности бетона неразрушающими методами	168
11.1	Прямые методы неразрушающего контроля. Метод отрыва со скалыванием	169
11.2	Косвенные методы испытания. Метод упругого отскока	172
11.3	Определение местоположения арматуры в железобетонных конструкциях	179
11.4	Метод пластической деформации	180
11.5	Метод ударного импульса	181
11.6	Ультразвуковые методы контроля	182
11.7	Применение ультразвукового метода для поиска дефектов. Определение глубины трещины	186

12 Бетон. Определение прочности по образцам, отобранным из конструкций	189
12.1 Требования к образцам	189
12.2 Требования к отбору образцов	190
12.3 Требования к изготовлению и хранению образцов	191
12.4 Обработка результатов	194
<i>Приложение 1. Список использованных стандартов</i>	<i>197</i>
<i>Приложение 2. Современное испытательное оборудование, находящееся в ИЛ «Механическая лаборатория им. проф. Н.А. Белелюбского»</i>	<i>202</i>
<i>Приложение 3. Лабораторный практикум</i>	<i>216</i>
Библиографический список	224

Учебное издание

Бенин Андрей Владимирович
Лейкин Алексей Павлович
Николаев Сергей Викторович

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

Учебное пособие

Редактор и корректор *Н. В. Фролова*
Компьютерная верстка *А. В. Никифорова*

Подписано в печать с оригинал-макета 26.05.2015.
Формат 60×84 1/16. Бумага для множ. апп. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 14,25. Тираж 250 экз.

Заказ

ФГБОУ ВПО ПГУПС. 190031, СПб., Московский пр., 9.
Типография ФГБОУ ВПО ПГУПС. 190031, СПб., Московский пр., 9.