

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

ИСПЫТАНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности 1-36 01 06
«Оборудование и технология сварочного производства»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2021

УДК 621.9.07
ББК 30.606
И79

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства» «15» апреля 2021 г., протокол № 12

Составитель канд. техн. наук, доц. А. О. Коротеев

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова

Методические рекомендации к лабораторным работам по дисциплине «Испытания сварных соединений и конструкций» предназначены для студентов специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства».

Учебно-методическое издание

ИСПЫТАНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

Ответственный за выпуск

А. О. Коротеев

Корректор

Т. А. Рыжикова

Компьютерная верстка

Е. В. Ковалевская

Подписано в печать 22.06.2021 . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 2,33 . Уч.-изд. л. 2,50 . Тираж 26 экз. Заказ № 492.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2021

Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Испытание сварных соединений на статическое растяжение и статический изгиб.....	4
2 Лабораторная работа № 2. Испытания сварного соединения на ударный изгиб при различных температурах.....	12
3 Лабораторная работа № 3. Испытания сварного соединения на излом.....	17
4 Лабораторная работа № 4. Измерение твердости различных участков сварного соединения.....	22
5 Лабораторная работа № 5. Металлографические испытания сварных соединений.....	26
6 Лабораторная работа № 6. Измерение содержания ферритной фазы в наплавленном металле шва сварного соединения.....	28
7 Лабораторная работа № 7. Испытания сварного соединения на стойкость против межкристаллитной коррозии.....	31
8 Лабораторная работа № 8. Входной контроль качества сварочных материалов.....	33
9 Правила техники безопасности при проведении лабораторных работ.....	36
10 Действия на случай возникновения загорания, пожара.....	38
11 Действия на случай других аварийных ситуаций.....	38
Список литературы.....	39

1 Лабораторная работа № 1. Испытание сварных соединений на статическое растяжение и статический изгиб

Цель работы: освоить методики проведения испытаний сварных соединений на статическое растяжение и статический изгиб; ознакомиться с основными требованиями к образцам и этапами их подготовки для проведения испытаний.

1.1 Общие теоретические сведения

Одним из главных требований, предъявляемых к сварному соединению, является обеспечение равнопрочности металла шва и основного материала. Это является необходимым условием работоспособности конструкции, т. к. в противном случае места выполнения сварных швов будут заведомо более слабыми участками и снижать работоспособность всей конструкции, делая её непригодной для эксплуатации.

Требование равнопрочности, как правило, определяется при испытаниях сварного соединения на статическое растяжение. При этом для проведения таких испытаний используются образцы, изготавливаемые из сварного соединения и включающие в себя шов, зону термического влияния и основной материал.

Различают испытания на статическое растяжение металла шва и испытания сварного соединения. Испытание металла шва производится, как правило, при оценке свойств наплавленного металла, и это необходимо в основном для проверки качества сварочных материалов, т. к. наплавленный металл по большей части состоит из присадочного материала.

Испытание сварного соединения производят для оценки не только качества металла шва, но и всех его зон. Это объясняется тем, что под воздействием термического цикла сварки в зоне термического влияния (ЗТВ), прилегающей к шву, изменяются (могут изменяться) свойства, структура и другие параметры. Эта зона характеризуется гетерогенностью свойств, и в ней в большинстве случаев могут образовываться дефекты, обусловленные диффузионными процессами и внутренними напряжениями, вызванными неравномерностью нагрева. Поэтому для анализа работоспособности сварного соединения оценка свойств должна производиться во всех его участках.

Испытания на статическое растяжение сварных соединений, как правило, выполняют по ГОСТ 6996–66 либо по СТБ ЕН 895–2002 на разрывных машинах (рисунок 1.1).

Геометрические параметры образца для проведения испытаний зависят от ряда условий. В ТНПА существует достаточно большое количество типов образцов. Выбор того или иного типа обусловлен геометрией сварного соединения, толщиной свариваемых элементов. В случае испытания сварного соединения труб значение имеет их диаметр и т. д.

Образцы для испытаний вырезают поперек сварного соединения из проб, вырезанных непосредственно из контролируемой конструкции, или из контрольных сварных соединений так, чтобы после механической обработки шов располагался посередине его рабочей части. Пробы, вырезанные из готовой конструкции и (или) специально изготовленного контрольного соединения, должны маркироваться. Маркировка пробы должна выполняться так, чтобы после вырезки можно было установить её точное местоположение в контролируемой сварной конструкции. При наличии требований в стандарте, технических условиях на продукцию или в контракте на образцах указывается направление обработки (прокатки, штамповки, экструзии). Маркировка каждого испытываемого образца при этом выполняется так, чтобы после вырезки можно было однозначно определить его положение в пробе или контрольном соединении. Образцы следует маркировать вне рабочей части образца.

Вырезка образцов может осуществляться различными способами. Вместе с тем, механическая и термическая резка, используемая при вырезке образцов, не должна изменять механические и химические свойства образцов. Резка образцов из стали на ножницах при толщине основного металла более 8 мм недопустима.

При использовании термической резки или другого способа, приводящего к изменению свойств металла на поверхности реза, вырезка должна проводиться на расстоянии не менее 8 мм от рабочей части образца.

Как правило, толщина образцов a должна равняться толщине основного металла вблизи шва [7]. Если стандартом или техническими условиями на продукцию предусмотрены испытания металла толщиной более 30 мм, допускается вместо одного образца, толщина которого равна толщине соединения, вырезать несколько образцов так, чтобы они охватывали всю толщину соединения [7]. При использовании нескольких образцов следует указывать их местоположение по толщине сварного соединения.



Рисунок 1.1 – Внешний вид разрывной машины для проведения испытаний на статическое растяжение

Толщина образца по всей длине его рабочей части L_c и на участке перехода от рабочей к захватной части, осуществляемой по дуге окружности радиусом r , должна быть постоянной. Форма и размеры образца должны соответствовать данным, приведенным в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Размеры образцов для проведения испытаний

Наименование параметра		Условное обозначение	Размер образца стыкового соединения
Общая длина		L_t	Размер устанавливается в зависимости от конструкции испытательной машины
Ширина захватной части		b_1	$b + 12$
Ширина захватной части	Пластины	b	12 мм для $a \leq 2$ мм 25 мм для $a > 2$ мм
	Трубы	b	6 мм для $D \leq 50$ мм 12 мм для $50 < D \leq 168,3$ мм 25 мм для $D > 168,3$ мм
Длина рабочей части		L_c^{**}	Не менее $L_s^* + 60$ мм
Радиус захватной части		r	Не менее 25 мм
<p><i>Примечание</i> – * – для контактной сварки, сварки давлением, лазерной и электронно-лучевой сварки (процессы 2, 4, 751 и 76 по ГОСТ 29297), $L_s = 0$; ** – для некоторых других металлических материалов (например, Al, Cu и их сплавы) $L_c = L_s + 100$</p>			

Для образцов, вырезанных из труб, допускается правка захватной части. Правка и возможное изменение толщины металла не должны распространяться на рабочую часть образца L_c и на участок перехода от рабочей к захватной части, осуществляемой по дуге окружности радиусом r .

Окончательная обработка наружной поверхности образцов должна производиться на металлорежущих станках или шлифованием с соблюдением мер, исключающих поверхностное упрочнение металла или его чрезмерный нагрев.

В пределах длины рабочей части образца L_c наружная поверхность не должна иметь поперечных продольной оси образца царапин, трещин и рисок (чистота обработки поверхности указывается в контракте, стандарте или технических условиях на продукцию). Исключение составляют подрезы, разрешенные стандартом, техническими условиями на продукцию или условиями контракта.

Выпуклость сварного шва с обеих сторон образца должна быть удалена механическим способом до уровня основного металла, если стандартом, техническими условиями на продукцию или условиями контракта не

установлены другие требования. Выпуклость корня сварного шва внутри труб малого диаметра допускается не удалять.

Метод испытаний заключается в следующем: образец нагружают постепенно и непрерывно в направлении, перпендикулярном к оси сварного шва вплоть до разрушения. Обязательным условием проведения испытаний является плавность возрастания нагрузки на образец.

Временное сопротивление при растяжении R_m должно подсчитываться как отношение максимальной нагрузки F_m , которую выдержал образец во время испытаний, к исходной площади поперечного сечения образца в его рабочей части. Результаты испытаний выражаются в ньютонах на квадратный миллиметр (Н/мм²) или в мегапаскалях (МПа).

После разрушения определяется место разрыва образца. При необходимости допускается травление боковой поверхности образца. При осмотре поверхности образца в месте разрыва необходимо выявить дефекты, отрицательно повлиявшие на прочность сварного шва. Данные о наличии дефектов, их количестве и типе заносятся в протокол испытаний. При наличии флокенов («рыбий глаз») как дефекты рассматриваются только их центральные участки.

Испытание сварного соединения на статический изгиб является неотъемлемой частью процедуры оценки его механических свойств и работоспособности. Такой вид испытаний, как правило, необходим при оценке пластических свойств сварного соединения, т. к. при испытаниях главной характеристикой является угол загиба, который выдерживает образец без появления недопустимых видимых дефектов.

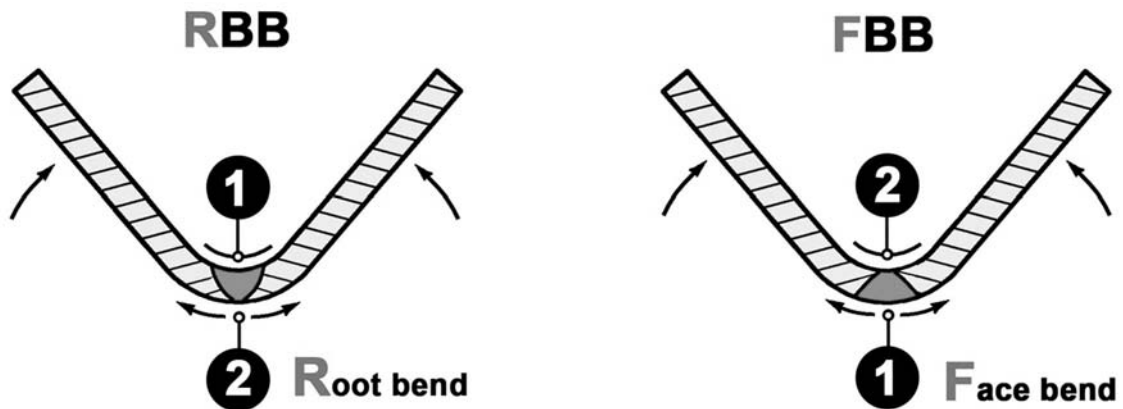
Как правило, испытания на статический изгиб проводят в комплексе с испытаниями на статическое растяжение. Но в то же время существуют случаи, например при аттестации сварщиков, когда такой вид испытаний является наиболее информативным и им ограничиваются при проведении разрушающего контроля.

При испытаниях на статический изгиб возможно выявление дефектов, трудно контролируемых неразрушающими методами контроля. Это, например, несплавления по кромке сварного соединения и межваликовые несплавления, дефекты металлургического происхождения, связанные с ошибкой в выборе присадочного материала либо нарушениями технологического процесса сварки, определяющего тепловложение в основной металл.

Сущность испытания заключается в том, что образец, вырезаемый из контрольного сварного соединения поперек сварного шва или вдоль продольной оси сварного шва, подвергается под воздействием плавно возрастающей нагрузки пластической деформации. При этом одна из поверхностей (лицевая или корень шва) или одно из поперечных сечений сварного соединения подвергается растяжению. При отсутствии в стандарте, технических условиях на продукцию или в контракте других указаний испытания проводят при температуре помещения (23 ± 5) °С. Как правило, основными ТНПА на рассматриваемый метод являются ГОСТ 6996–66 либо СТБ ЕН 910–2002.

Для испытания на изгиб поперек сварного шва образец вырезается из контрольного сварного соединения или из готовой части сварной конструкции так, чтобы после механической обработки образца ось шва располагалась посередине длины образца.

Толщина образца a для испытания на изгиб лицевой поверхности (FBB) (рисунок 1.2) и корня (RBB) сварного шва (рисунок 1.3) должна быть равна толщине основного металла [8]. Если стандартом или другими техническими условиями на продукцию предусмотрены испытания металла толщиной более 30 мм, допускается вместо одного образца, толщина которого равна полной толщине соединения, испытывать несколько образцов при условии, что толщина каждого из них не менее 30 мм и что они охватывают всю толщину соединения. При использовании нескольких образцов следует указывать их месторасположение по толщине сварного соединения.



1 – лицевая поверхность шва;
2 – поверхность со стороны корня шва
(испытывает растяжение)

Рисунок 1.2 – Изгиб корня шва

1 – лицевая поверхность шва
(испытывает растяжение); 2 – поверхность
со стороны корня шва

Рисунок 1.3 – Изгиб лицевой
поверхности шва

Ширина образца b для испытания на изгиб боковой поверхности шва (SBB) должна быть равна толщине основного металла [8]. Образец должен иметь минимальную толщину a , равную $(10 \pm 0,5)$ мм, и удовлетворять условию $b \geq 1,5 a$.

Отношение толщины образца a и диаметра оправки d должно соответствовать требованиям стандарта или технических условий на продукцию.

При испытании соединения, толщина которого превышает 40 мм, необходимо взять несколько образцов с шириной b от 20 до 40 мм с указанием местоположения вырезки образцов по толщине сварного соединения.

Толщина образцов определяется их типом.

Ширина образцов b , вырезанных поперек стыкового шва, для проведения испытаний на изгиб лицевой поверхности (FBB) и корня (RBB) шва определяется по таблице 1.2. Для труб с наружным диаметром D , превышающим толщину стенки трубы в 25 раз, требования к вырезке образцов предъявляются такие же, как и для пластин.

Таблица 1.2 – Ширина b образцов для проведения испытаний на изгиб лицевой поверхности (FBB) и корня (RBB) шва

Тип соединения	Материал	Ширина образца b , мм
Листовые материалы	Сталь	$1,5a$ (но не менее 20 мм)
	Алюминий, медь и их сплавы	$2a$ (но не менее 20 мм)
Трубы		$t + 0,1D$ (но не менее 8 мм) для $D \leq 50$ мм
		$t + 0,05 D$ (но не менее 8 мм и не более 40 мм) для $D > 50$ мм

Ширина образцов для испытания на изгиб боковой поверхности шва (SBB) должна быть равной толщине основного металла сварного соединения.

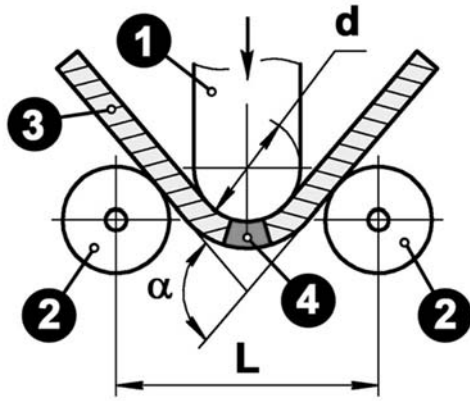
Кромки образца, попадающие при испытании в растянутую зону, должны быть закруглены механическим способом по радиусу r , равному $0,2 a$, но не более 3 мм.

Окончательная обработка наружной поверхности образцов должна производиться на металлорежущих станках или шлифованием с соблюдением мер, исключаяющих поверхностное упрочнение металла или его чрезмерный нагрев. В пределах длины образца наружная поверхность образца не должна иметь поперечных царапин, трещин и рисок (чистота обработки поверхности указывается в контракте, стандарте или других технических условиях). Исключения составляют подрезы, разрешенные стандартом или техническими условиями.

Выпуклость сварного шва с обеих сторон должна быть зачищена механическим способом заподлицо с основным металлом, если стандартом или техническими условиями на продукцию либо условиями контракта не установлены другие требования. Выпуклость корня сварного шва внутри труб малого диаметра допустима при условии её расположения противоположно гибочной оправке.

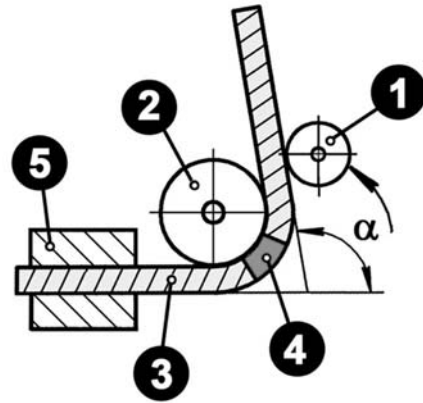
Перед началом проведения испытаний на изгиб наружную поверхность образца, испытывающую растяжение, подвергают легкому травлению для выявления зоны сплавления (или линии сплавления).

Существует два основных способа испытаний на изгиб: с использованием оправки (рисунок 1.4) и с использованием ролика (рисунок 1.5). Наибольшее распространение получила схема с использованием гибочной оправки.



1 – ролик (оправка) с подвижной осью;
2 – стационарно закрепленный ролик;
3 – испытываемый образец сварного соединения; 4 – сварной шов; 5 – жесткое закрепление образца

Рисунок 1.4 – Схема проведения испытаний на статический изгиб с использованием оправки (трехточечный изгиб)



1 – ролик с подвижной осью;
2 – стационарно закрепленный ролик;
3 – испытываемый образец сварного соединения; 4 – сварной шов; 5 – жесткое закрепление образца

Рисунок 1.5 – Схема проведения испытаний на статический изгиб с использованием ролика

Для проведения испытаний на изгиб продольной оси сварного шва образец устанавливают на двух опорных роликах с расположением сварного шва по центру между ними.

Образец медленно и непрерывно деформируется путем приложения концентрированной нагрузки по оси шва перпендикулярно поверхности образца (трехточечный изгиб). Обязательным условием проведения испытаний является плавность возрастания нагрузки на образец.

Расстояние между опорными роликами должно находиться в пределах $d + 2a \leq l \leq d + 3a$.



Рисунок 1.6 – Внешний вид образцов после проведения испытаний на изгиб ($\alpha = 180^\circ$)

Испытание считается законченным, когда угол изгиба достигает величины, установленной нормативной документацией на контролируемое изделие. Внешний вид образцов после испытаний представлен на рисунке 1.6.

После проведения испытаний на изгиб необходимо проверить наружные и боковые поверхности образца. Оценка результатов испытаний на статический изгиб должна проводиться в соответствии с требованиями стандарта или технических условий на продукцию.

При отсутствии в стандарте или технических условиях на продукцию иных требований дефекты (трещины) длиной менее 3 мм на кромках образца считать не влияющими на результаты испытаний.

1.2 Оборудование, приборы и материалы

- 1 Разрывная машина РГМ 1000М1 (МУП 50).
- 2 Штангенциркуль, линейка.
- 3 Образцы для проведения испытаний.

1.3 Порядок проведения работы

1 Испытания на статическое растяжение.

1.1 Подготовить оборудование к проведению испытаний. Изучить конструкцию разрывной машины, принцип её работы и порядок проведения испытаний.

1.2 Проанализировать выданные образцы. Сделать выводы о качестве подготовки. Для выполнения лабораторной работы выдается два образца, вырезанных из сварного соединения поперек оси шва. Измерить геометрические параметры образцов. Определить площадь поперечного сечения в предполагаемом месте разрыва при испытаниях.

1.3 Полученные результаты занести в отчет.

1.4 После испытаний определить место и характер разрушения. Проанализировать полученные результаты, сравнить их с характеристиками присадочных сварочных материалов и основного металла. Сделать соответствующие выводы и занести информацию в отчет.

1.5 Проанализировать диаграмму растяжения. Отметить на ней характерные участки. Определить по диаграмме значение предела текучести (условного предела текучести в случае отсутствия выраженной площадки текучести на диаграмме).

2 Испытания на статический изгиб.

2.1 Подготовить оборудование к проведению испытаний. Изучить конструкцию разрывной машины, принцип её работы и порядок проведения испытаний.

2.2 Проанализировать выданные образцы. Сделать выводы о качестве подготовки. Для выполнения лабораторной работы выдается два образца, вырезанных из сварного соединения поперек оси шва.

2.3 Измерить геометрические параметры образцов. Полученные результаты занести в отчет.

2.4 После испытаний исследовать образцы. Сделать выводы о качестве сварного соединения и результатах испытаний. Занести информацию в отчет.

1.4 Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Оборудование и материалы.
- 3 Таблица с геометрическими параметрами образцов.
- 4 Схема проведения испытаний на статическое растяжение.
- 5 Значения временного сопротивления разрыву.
- 6 Схема проведения испытаний на статический изгиб.
- 7 Результаты испытаний на статический изгиб.
- 8 Выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Какова методика и порядок проведения испытаний сварного соединения на статическое растяжение?
- 2 Что характеризует значение временного сопротивления разрыв? Как оно определяется?
- 3 Как производится подготовка к испытаниям и каковы требования к образцам для испытаний?
- 4 Каковы методика и порядок проведения испытаний сварного соединения на статический изгиб?
- 5 По каким критериям производится оценка качества сварного соединения по результатам испытаний на изгиб?

2 Лабораторная работа № 2. Испытания сварного соединения на ударный изгиб при различных температурах

Цель работы: освоить методику проведения испытаний сварных соединений на ударный изгиб; ознакомиться с основными требованиями к образцам и этапами их подготовки для проведения испытаний.

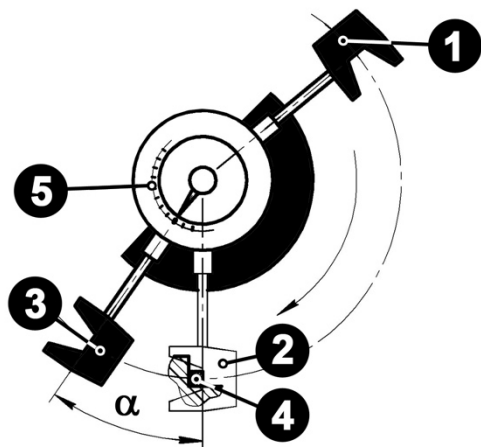
2.1 Общие теоретические сведения

В процессе эксплуатации сварные соединения нередко воспринимают воздействие ударных нагрузок. При этом одним из требований к таким соединениям является способность металла шва и зоны термического влияния воспринимать эти нагрузки без разрушения.

Для оценки способности металла сварного соединения переносить ударные нагрузки и выявления склонностей к хрупкому разрушению используют динамические испытания. Особенностью таких испытаний является большая скорость приложения нагрузки и деформирования образца (по сравнению со статическими испытаниями). Наиболее распространенным из них является испытание на ударный изгиб, при котором определяется величина ударной вязкости металла шва и зоны термического влияния.

Ударная вязкость характеризует отношение энергии удара (Дж), необходимой для разрушения образца, к площади поперечного сечения в месте воздействия ударной нагрузки и его разрушения (рабочее сечение образца) (см²). Таким образом, единицей измерения является Дж/см².

Энергия удара КС определяется по показаниям испытательного оборудования. Для проведения испытаний используется маятниковый копер, специальное оборудование, представляющее собой испытательную установку в виде маятника (рисунок 2.1). Как правило, такое оборудование используется совместно с установкой для охлаждения образцов.



1 – начальное положение маятника;
2 – положение маятника в момент разрушения образца; 3 – конечное положение маятника;
4 – испытываемый образец; 5 – шкала; α – угол отклонения маятника от вертикального (нижнего) положения

Рисунок 2.1 – Схема проведения испытаний на ударный изгиб

наиболее информативным является показатель ударной вязкости. Это обусловлено тем, что при испытаниях размеры рабочего сечения образца могут быть различными.

Для того чтобы при испытаниях разрушение образца происходило в требуемом сечении, на его поверхности выполняется специальная канавка – концентратор напряжений. Её форма может быть различной в зависимости от требований ТНПА, но наиболее распространенными при испытаниях сварных соединений является V-образная и U-образная.

Канавка создает концентрацию напряжений у своего основания и провоцирует развитие разрушения по рабочему сечению образца. Так как испытания динамические, то к такой канавке предъявляются высокие требования точности изготовления и шероховатости в основании. При этом тип концентратора (V или U) оказывает существенное влияние на значение энергии

Такой маятник совершает круговое движение. Испытываемый образец находится в нижней части его траектории, в том месте, где потенциальная энергия, запасенная маятником в верхней точке (исходном положении), полностью переходит в кинетическую энергию его движения. Маятник в процессе движения разрушает образец и, как правило, еще некоторое время продолжает движение, отклоняясь от вертикали на некоторый угол. То есть часть своей энергии он затрачивает на разрушение образца и часть энергии у него еще остается, и это значение фиксируется. Таким образом, можно вычислить энергию, необходимую для разрушения образца. Её еще называют энергией удара. Иногда, в некоторых ТНПА, это значение регламентировано, но

удара, необходимой для разрушения образца и указывается в обозначении ударной вязкости.

В образцах Шарпи U-образный надрез наносится посередине длины. Он имеет ширину и глубину 2 мм и радиус закругления 1 мм. Образцы с V-образным концентратором имеют те же габариты и отличаются только геометрией надреза. V-образный выполняется с углом при вершине 45° и радиусом закругления в основании надреза 0,25 мм. Третий тип образцов, предусмотренный ГОСТ 9454–78, имеет T-образный концентратор (надрез с усталостной трещиной), однако он используется редко.

Образцы с V-образным концентратором (образцы Менаже) являются основными и используются при контроле металлических материалов для ответственных конструкций (летательных аппаратов, транспортных средств и т. д.). Образцы Шарпи с U-образным надрезом рекомендуется применять при выборе и приемочном контроле металлов и сплавов до установления норм на образцы с V-образным концентратором. Образцы с надрезом и трещиной предназначены для испытания материалов, работающих в особо ответственных конструкциях, где сопротивление развитию трещины имеет первостепенное значение.

При обозначении ударной вязкости *KC* в ее обозначение вводится третья буква, указывающая вид надреза – KCU, KCV, KCT.

Параметром KCV оценивается пригодность материалов для сосудов давления, трубопроводов и других конструкций повышенной надежности. Параметр KCT характеризует работу развития трещины при ударном изгибе и оценивает способность материала тормозить начавшееся разрушение. Он учитывается при выборе металлов и сплавов для конструкций особо ответственного назначения (летательные аппараты, роторы турбин и т. п.)

При проведении испытаний образец размещается в испытательном оборудовании таким образом, чтобы маятник наносил удар в поверхность, находящуюся с обратной стороны от поверхности с концентратором (при воздействии динамической нагрузки поверхность с канавкой воспринимает растягивающие деформации. При этом образец должен полностью разрушиться. Только в таком случае можно зафиксировать значение энергии удара. Если же маятник остановился в контакте с образцом, отдав ему всю свою энергию, деформировав его, но не разрушив, невозможно оценить, сколько еще необходимо энергии до полного разрушения.

Величина ударной вязкости очень сильно зависит от температуры. По мере понижения температуры ударная вязкость образцов из одного и того же материала уменьшается. У некоторых материалов существует температурный интервал, в котором удельная ударная вязкость резко меняет свое значение. Этот интервал называется температурным интервалом хрупкости. Чем больше смещен температурный интервал хрупкости в сторону низких температур, тем материал менее чувствителен к воздействию температуры при ударных нагрузках и тем более он надежен в работе.

Как правило, выделяют два характера разрушения – вязкий и хрупкий. Хрупко разрушаются такие материалы, как стекло, высокоуглеродистые стали,

чугуны. При этом разрушение происходит без видимых пластических деформаций, резко, по всему сечению образца. Вязкое разрушение сопровождается видимыми пластическими деформациями и характерно для таких материалов, как низкоуглеродистые стали, алюминий и др.

Пластическая деформация поглощает энергию удара, в результате чего для того, чтобы разрушить такие материалы, требуется существенно большее её количество, что повышает значение ударной вязкости.

Склонность стали к хрупкому разрушению возрастает при повышенном содержании фосфора, концентрирующегося по границам зерен, при крупнозернистой структуре, при наличии карбидов по границам зерен, полосчатости, т. е. под влиянием целого ряда внутренних структурных факторов.

Одно из важнейших достоинств ударных испытаний как метода оценки состояния металла – повышенная чувствительность. Кроме того, в отличие от испытаний сварного соединения на статическое растяжение или статический изгиб, при испытаниях на ударный изгиб дается количественная оценка механических свойств в исследуемом сечении, что позволяет оценить его качество.

Наиболее простым из методов практического массового контроля является метод ударных испытаний при 20 °С на маятниковых копрах. На результатах определения ударной вязкости сказывается и скорость маятника в момент удара.

Однако широкое применение нашли испытания при пониженных температурах. При проведении таких испытаний делается серия опытов на ударный изгиб при постепенно понижающейся температуре до перехода металла в хрупкое состояние, причем температура резкого уменьшения ударной вязкости служит мерой качества металла. Чем ниже эта температура – «критическая температура хрупкости», тем выше сопротивление металла хрупкому разрушению.

Применение такого типа испытаний целесообразно только для типично хладноломких материалов с ОЦК-решеткой (Fe- α , Zn и сплавы на их основе), которые дают резкий переход в хрупкое состояние. Многие легированные стали, особенно содержащие Ni, при понижении температуры дают постепенное понижение вязкости, и поэтому для них определение даже «критического интервала хрупкости» становится затруднительным. Некоторые сплавы, например, Al + 4 % Mg, остаются вязкими и разрушаются путем среза даже при жестких условиях (при одновременном действии удара, надреза и низкой температуры), поэтому для таких материалов применение ударных испытаний как сериальных, так и при 20 ° нецелесообразно.

Нецелесообразно применять ударные испытания и для чугунов, литых алюминиевых и магниевых сплавов, т. к. сопротивление отрыву этих материалов достигается уже при статических нагрузках.

Таким образом, испытания на ударный изгиб являются одним из наиболее чувствительных методов контроля, чутко реагирующих на небольшие изменения состояния металла. Ударные испытания являются ценным, а иногда

необходимым дополнением к статическим испытаниям гладких образцов, главным образом для низко- и среднеуглеродистых сталей.

2.2 Оборудование, приборы и материалы

- 1 Копер маятниковый ИО5003-0,3.
- 2 Криостат термостат жидкостный.
- 3 Штангенциркуль, линейка.
- 4 Перчатки, щипцы.
- 5 Образцы для проведения испытаний.

2.3 Порядок проведения работы

1 Подготовить оборудование к проведению испытаний. Проверить наличие давления в пневмосистеме.

Проверить исправность маятника путем пробного холостого пуска. Для этого маятниковый копер устанавливается в рабочее положение, и выполняется его пуск. Стрелка индикатора должна показать значение 0 Дж.

Подготовить криостат к работе. При проведении лабораторной работы образцы охлаждаются до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. В связи с этим на криостате необходимо задать температуру $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2 Проанализировать выданные образцы. Сделать выводы о качестве подготовки. Для выполнения лабораторной работы выдается два комплекта образцов по шесть штук в каждом (по три образца для каждой температуры испытаний). Первый комплект образцов изготовлен из наплавленного металла шва сварного соединения, второй – из зоны термического влияния с концентратором по линии сплавления. Все образцы имеют V-образный концентратор.

3 Произвести клеймение образцов и измерить геометрические характеристики их рабочих сечений. Измеряется высота рабочего сечения образца и его толщина. Это необходимо для определения площади поперечного сечения образца и дальнейшего расчета его ударной вязкости.

4 Загрузить образцы в криостат.

5 После выдержки образцов при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 10...15 мин провести испытания первых шести образцов (три образца из наплавленного металла шва сварного соединения, три образца из зоны термического влияния). При проведении испытаний необходимо доставать по одному образцу из криостата и размещать в маятниковом копере с минимальными затратами времени (до 10 с). Это является необходимым условием обеспечения объективности получаемых результатов, так как температура образца на воздухе начинает повышаться.

Полученные результаты занести в отчет.

6 После испытаний первых шести образцов (три из наплавленного металла шва, три из зоны термического влияния) необходимо настроить криостат на температуру $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

7 После выдержки образцов при температуре $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 10...15 мин повторить действия п. 5.

8 Проанализировать полученные результаты. Рассчитать значения ударной вязкости.

9 Проанализировать поверхности разрушения образцов. Сделать выводы о характере излома. Построить графические зависимости значений ударной вязкости от температуры.

2.4 Содержание отчета

1 Цель работы.

2 Оборудование и материалы.

3 Таблица с геометрическими параметрами образцов, температурой их испытаний и значениями ударной вязкости.

4 Графические зависимости ударной вязкости от температуры.

5 Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Каков принцип работы маятникового копра?

2 Что характеризует значение ударной вязкости? Как оно определяется?

3 Как производится подготовка и какие требования предъявляются к образцам для испытаний?

4 Каков порядок проведения серии испытаний?

3 Лабораторная работа № 3. Испытания сварного соединения на излом

Цель работы: освоить методику проведения испытаний сварных соединений на излом; ознакомиться с основными требованиями к образцам и этапами их подготовки для проведения испытаний.

3.1 Общие теоретические сведения

Испытания на излом по металлу шва является одним из видов механических испытаний, относящихся к разрушающим методам контроля сварных соединений.

Такое испытание производится для оценки наличия в сварном соединении, в частности в наплавленном металле шва, различных внутренних дефектов, таких как трещины, поры, непровары, несплавления, твердые включения.

Дефекты обнаруживаются после разрушения образцов путем исследования поверхности излома.

Поломка образца при проведении испытаний достигается приложением изгибающей или растягивающей нагрузки. При этом нагрузка может прикладываться статически или динамически, в зависимости от условий проведения испытаний, типа образца, его геометрических параметров, марки материала и других факторов.

Для обеспечения разрушения по требуемой плоскости на образце изготавливается специальная канавка или надрез. Этот надрез является концентратором напряжений. Его форма и размеры могут меняться в зависимости от геометрии сварного соединения и особенностей проведения испытаний. Основным требованием к такому надрезу является обеспечение скорейшего разрушения образца.

Испытание проводится при комнатной температуре, если нет других требований.

Основным стандартом, определяющим методику проведения испытаний и требования к образцам, является СТБ ЕН 1320–2003 *Испытание металла сварного соединения на излом*.

Для проведения испытаний из пробы или контрольного сварного соединения вырезают образцы. Их геометрические параметры и количество должно отвечать требованиям контракта, стандарта или технических условий на продукцию. Испытания на излом проводятся для стыковых и угловых сварных соединений. Геометрические параметры контрольного сварного соединения выбираются главным образом с учетом необходимой контролируемой длины соединения и в целом соответствуют геометрическим параметрам контрольного соединения для испытания технологического процесса сварки. Как правило, пробы или контрольные соединения должны вырезаться поперечно сварному шву на приблизительно равные по длине образцы. Продольная ось симметрии образца должна совпадать с продольной осью сварного шва. Для сварных соединений труб из пробы или контрольного сварного соединения вырезают как минимум два образца, если нет других требований в контракте, стандарте или технических условиях на продукцию.

При испытании на излом приложением изгибающей нагрузки количество образцов, в которых растяжению подвергалась лицевая поверхность шва, должно быть равно количеству образцов, для которых растяжению подвергается корень шва. Если диаметр трубы слишком мал для вырезки необходимого количества образцов, свариваются и вырезаются дополнительные пробы или контрольные сварные соединения.

Маркировка образцов должна выполняться так, чтобы после вырезки можно было однозначно определить его точное положение в сварном изделии или контрольном соединении. Если образцы вырезались из пробы, вырезанной из готовой конструкции, каждая проба должна быть промаркирована.

Механическая или термическая резка, используемая при вырезке образцов, не должна изменять их механические и химические свойства. Для вырезки

образцов из стали должны применяться механические способы резки или термическая резка. Для вырезки образцов из других металлов должны применяться только механические способы резки.

Как правило, начальные и конечные участки сварного шва длиной 25 мм удаляются и не используются при испытаниях, за исключением случаев, когда требуется информация о качестве сварного соединения в начале и конце шва (например, дефекты в начале и конце шва).

Для достижения излома по металлу шва сварных соединений пластин или труб прибегают к одной или нескольким вспомогательным операциям:

- удаление выпуклости сварного шва;
- нанесение надрезов на торцах сварного соединения (боковой надрез);
- нанесение надреза на выпуклости сварного шва (продольный надрез).

В зависимости от пластичности металла шва могут наноситься прямоугольные, скругленные или остроугольные надрезы. На металлы с высокой пластичностью (алюминий и медь) рекомендуется наносить остроугольные надрезы.

Глубина надреза должны быть достаточной для обеспечения условий разрушения сварного соединения по металлу шва. При отсутствии требований к размерам и форме надреза в контракте, стандарте или технических условиях на продукцию должны быть соблюдены следующие условия:

- при нанесении боковых надрезов рабочая длина образца L_f должны составлять не менее 70 % исходной длины образца W или общая рабочая длина L_f должна составлять не менее 60 % длины пробы или контрольного сварного соединения;

- при нанесении продольных надрезов рабочая толщина образца a_f должна составлять не менее 80 % толщины образца t .

Испытание на излом может быть выполнено посредством:

- приложения динамической нагрузки, например с помощью молотка (рисунок 3.1);

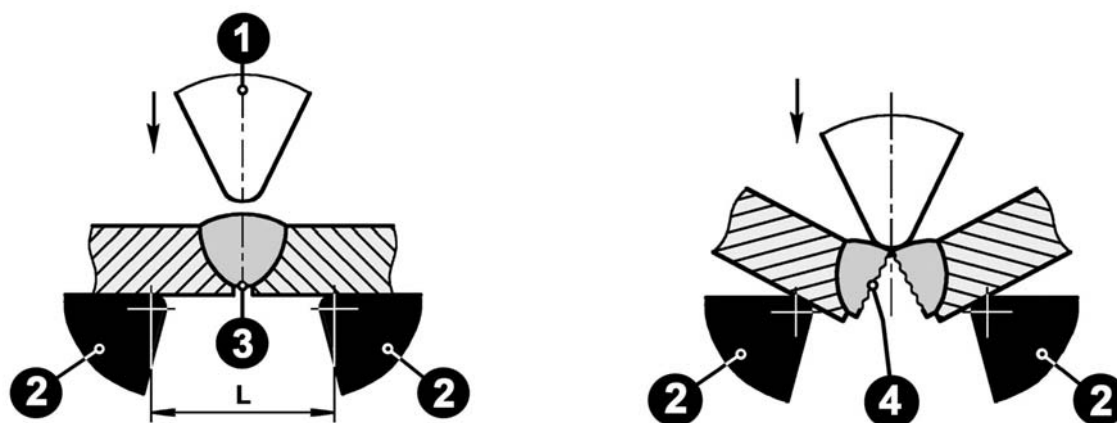
- приложением изгибающего усилия в тисках, гибочной машине или цеховом прессе;

- приложением растягивающего усилия.

Для деформируемых материалов целесообразно, чтобы расстояние между надрезом и щеками тисков было минимальным.

Для некоторых металлов целесообразно проводить испытание при пониженных температурах для обеспечения условий скорейшего разрушения по металлу шва.

Для излома сварных соединений малых толщин может потребоваться многократный перегиб в одну или другую сторону от исходного положения образца. Наступление излома по металлу шва зависит от пластичности металла. Испытание на излом проводится посредством приложения усилия к образцу, закрепленному с одного конца в тисках вблизи надреза. Если излом не наступает, следует образец привести в исходное положение и повторить приложение изгибающей нагрузки.



1 – ударный инструмент; 2 – опорные поверхности; 3 – концентратор; 4 – поверхность излома

Рисунок 3.1 – Схема проведения испытаний на ударный изгиб

Изгибающую нагрузку допускается заменить приложением растягивающей нагрузки. Приложение ударной нагрузки с помощью молотка для металлов малых толщин при испытании на излом не рекомендуется.

Для излома сварных соединений больших толщин применяют, как правило, ударные нагрузки с помощью молотка. При использовании гибочной машины диаметр гибочной оправки выбирают таким, чтобы излом наступал без прибегания к двойному перегибу образца.

Приложение изгибающей нагрузки может быть перпендикулярным или поперечным сварному шву. Минимальная толщина образца для алюминия 8 мм.

Способы испытания на излом угловых швов подобны способам испытаний стыковых швов за исключением способа с применением растягивающего усилия.

Для деформируемых металлов, таких как аустенитные стали, алюминий, медь, никель и их сплавы, может возникнуть необходимость в ограничении толщины образца и ширины прохода, увеличении ширины надреза, уменьшении радиуса надреза, увеличении точности и силы удара для достижения излома по металлу шва.

Для деформируемых металлов, таких как ферритные стали, может быть необходимо переохлаждение образца.

После разрушения следует проконтролировать визуально поверхность образца в месте излома в соответствии с требованиями СТБ ЕН 970. Для обнаружения и идентификации дефектов на поверхности излома допускается использовать увеличительную лупу (до пятикратного увеличения).

Данные о поверхности излома, наличии выявленных дефектов, их количестве и виде должны заноситься в протокол испытаний. В протоколе должно быть отмечено, что качество сварных соединений оценивается в соответствии с требованиями ЕН 25817 или ЕН 30042. Уровень качества

сварных соединений задается в контракте, стандарте или технических условиях на продукцию.

Протокол испытаний должен содержать:

- ссылку на настоящий стандарт;
- обозначение пробы или контрольного сварного соединения, из которого вырезан образец;
- условное обозначение параметров образца в соответствии с таблицей.

3.2 Оборудование, приборы и материалы

1 Справочная литература.

2 Технические нормативные правовые акты и методики проведения испытаний.

3 Образцы сварных соединений из различных сталей для проведения испытаний.

4 Необходимые инструменты.

3.3 Порядок проведения работы

1 Подготовить сварное соединение для испытания на излом.

2 Согласно ТНПА выбрать наиболее рациональную схему нанесения надреза и приложения нагрузки.

3 Провести испытание приложения ударной нагрузки до разрушения образца.

4 Проанализировать поверхность излома. Сделать выводы о наличии внутренних дефектов соединения и о его качестве.

3.4 Содержание отчета

1 Цели и задачи работы.

2 Используемое оборудование и материалы.

3 Характеристика испытываемых сварных соединений (тип соединения, марка материала и т. п.).

4 Схема проведения испытаний.

5 Результаты испытаний. Выводы.

Контрольные вопросы

1 Сущность метода испытаний на излом.

2 Порядок проведения испытаний.

3 Основные нормативные документы.

4 Выявляемые дефекты и причины их возникновения.

4 Лабораторная работа № 4. Измерение твердости различных участков сварного соединения

Цель работы: освоить методику и изучить основные ТНПА в области измерения твердости различных участков сварного соединения.

4.1 Общие теоретические сведения

Твердость – свойство материала оказывать сопротивление упругой и пластической деформации или разрушению при внедрении в его поверхностный слой другого, более твердого и не получающего остаточной деформации тела – индентора.

Способы определения твердости в зависимости от временного характера приложения нагрузки и измерения сопротивления вдавливанию индентора подразделяют на статические, динамические и кинетические. Наиболее распространенными являются статические методы, при которых нагрузку к индентору прикладывают плавно и постепенно, а время выдержки под нагрузкой регламентируется стандартами на соответствующие методы.

При динамических методах определения твердости индентор действует на образец с определенной кинетической энергией, затрачиваемой на упругую деформацию и/или формирование отпечатка. Динамическую твердость часто называют твердостью материала при ударе. Следует отметить, что в отличие от статических методов твердость при ударе характеризует сопротивление внедрению не только на поверхности образца, но и в некотором объеме материала.

Кинетические методы определения твердости основываются на непрерывной регистрации процесса вдавливания индентора с записью диаграммы «нагрузка на индентор – глубина внедрения индентора». Особенность такого подхода заключается в регистрации всей кинетики процесса упругопластического деформирования материала при вдавливании индентора, а не только конечного результата испытаний, как при других методах испытаний.

По принципу приложения нагрузки способы определения твердости можно подразделить на способы вдавливания, отскока, царапания и резания.

Способы вдавливания являются наиболее распространенными. Твердость в этом случае определяется как сопротивление, которое оказывает испытываемое тело внедрению более твердого индентора и отражает преимущественно сопротивление поверхностных слоев материала пластической деформации. Способы отскока основаны на измерении твердости по высоте отскока бойка, падающего на испытываемую поверхность. Твердость при этом отражает преимущественно сопротивление упругой деформации. Измерение твердости способом отскока широко применяют для контроля качества прокатных валков, больших изделий и конструкций с использованием переносных приборов.

Способами царапания и резания твердость определяется как сопротивление материала царапанию и резанию соответственно. Способ царапания разрабо-

тал Моос в начале XIX в.; им была предложена шкала твердости минералов по способности одного наносить царапины на поверхности другого. Эта десятибалльная шкала (от талька № 1 до алмаза № 10) используется в минералогии, а также для оценки твердости технической керамики и монокристаллов.

При определении твердости всеми методами (кроме микротвердости) измеряют интегральное значение твердости материала (усредненное для всех структурных составляющих). Поэтому получающийся после снятия нагрузки отпечаток должен быть по размеру значительно больше размеров зерен и других структурных составляющих тестируемого материала.

Значения твердости нельзя однозначно переводить в значения других механических свойств материала, однако определение твердости является эффективным способом сравнения друг с другом однотипных материалов и контроля их качества.

Измерение твердости сварных соединений выступает одним из видов механических испытаний, проводящихся главным образом при разработке и аттестации технологических процессов сварки материалов, склонных к образованию под воздействием термического цикла упрочняющих или разупрочняющих структур. Это, как правило, либо стали с повышенной прочностью, либо теплостойкие стали, предназначенные для изготовления трубопроводов пара и горячей воды (Сталь 15X5М, 12X1МФ и др.).

Предпочтительным способом является измерение твердости по Виккерсу. Этот способ позволяет исследовать различные участки сварного соединения с достаточной точностью.

Твердость по Виккерсу измеряют путем вдавливания в образец (изделие) алмазного наконечника в форме правильной четырехгранной пирамиды под действием нагрузки P в течение времени выдержки τ . После снятия нагрузки измеряют диагонали оставшегося на поверхности материала отпечатка – d_1 , d_2 и вычисляют их среднее арифметическое значение d в миллиметрах.

Значения твердости по Виккерсу при стандартных нагрузках в зависимости от длины диагонали d мм даны в соответствующих таблицах.

При испытаниях применяют следующие нагрузки P , кгс: 1; 2; 2,5; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 100.

Число твердости по Виккерсу обозначают цифрами, характеризующими величину твердости со стоящим после них символом HV (например, 200 HV). Иногда после символа HV указывают нагрузку и время выдержки, например: 200 HV 10/40 – твердость по Виккерсу, полученная при нагрузке $P = 10$ кгс и времени выдержки под нагрузкой $\tau = 40$ с.

Точного перевода чисел твердости по Виккерсу в числа твердости, полученные другими методами, или на механические свойства при растяжении не существует. Таких переводов (за исключением частных случаев) следует избегать.

При сопоставлении значений твердости, полученных разными методами, между собой и с механическими свойствами материалов необходимо помнить, что приводимые в литературных источниках таблицы или зависимости для такого сопоставительного перевода являются чисто эмпирическими. Физического смысла такой перевод лишен, т. к. при вдавливании различных по форме и размерам инденторов и с разной нагрузкой твердость определяется при совершенно различных напряженных состояниях материала.

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

Для проведения испытаний подготавливается соответствующий образец, представляющий собой макрошлиф поперечного сечения шва. Процедура травления на макроструктуру является необходимой для визуализации зоны термического влияния и очертаний границ проплавления основного металла.

Позиционирование образца осуществляется в большинстве случаев с помощью предметного столика.

В лабораторной работе используется твердомер AFFRI-URBV-VRS (рисунок 4.1). В настоящее время также существуют также твердомеры, позволяющие в автоматическом режиме производить измерения с перемещением индентора по заданной траектории и измерением твердости последовательно в различных участках сварного соединения. Это существенно снижает трудоемкость проведения испытаний.

Как правило, измерение производится в трех характерных зонах: наплавленный металл шва, зона термического влияния (участок, подвергшийся влиянию термического цикла сварки) и основной металл. На каждом из участков производится не менее трех измерений твердости, с определенным расстоянием между отдельными отпечатками. Схемы расположения отпечатков приводятся в соответствующих ТНПА.



1 – панель управления; 2 – оптическая система для измерения размеров отпечатка; 3 – предметный столик для позиционирования образца

Рисунок 4.1 – Схема проведения испытаний на ударный изгиб

4.2 Оборудование, приборы и материалы

- 1 Справочная литература.
- 2 Технические нормативные правовые акты и методики проведения измерений.
- 3 Твердомер (AFFRI-URBV-VRS).
- 4 Образцы сварных соединений из различных сталей для проведения испытаний.
- 5 Необходимые инструменты.

4.3 Порядок проведения работы

- 1 Изучить образцы для проведения испытаний. Определить тип сварного соединения. Проанализировать возможные изменения механических свойств при сварке рассматриваемого образца под воздействием термического цикла с учетом марки материала.
- 2 Согласно ТНПА выбрать схему расположения отпечатков и зарисовать её в отчете.
- 3 Изучить принцип работы твердомера и порядок его настройки для проведения испытаний.
- 4 Провести измерения согласно выбранной схеме.
- 5 Построить графики распределения твердости (зависимость значения твердости от координаты расположения отпечатка).
- 6 Сделать соответствующие выводы.

4.4 Содержание отчета

- 1 Цели и задачи работы.
- 2 Используемое оборудование и материалы.
- 3 Характеристика испытываемых сварных соединений (тип соединения, марка материала и т. п.).
- 4 Схема расположения отпечатков измерения твердости.
- 5 Таблица результатов измерений.
- 6 Графики распределения значений.
- 7 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Что называется твердостью материала?
- 2 Дать определение твердости по Виккерсу.
- 3 В каких случаях следует применять метод измерения твердости?

5 Лабораторная работа № 5. Металлографические испытания сварных соединений

Цель работы: освоить методику проведения металлографических испытаний сварных соединений; ознакомиться с порядком проведения макрометаллографических исследований; изучить требования к образцам и реактивам для травления.

5.1 Общие теоретические сведения

Металлографические исследования являются одним из методов разрушающего контроля и входят в перечень обязательных видов испытаний для аттестации технологического процесса сварки. Целью проведения таких испытаний является анализ характера проплавления основного металла и наличие внутренних дефектов, исследование структуры сварного соединения в различных его участках и т. д.

Различают макрокопические и микрокопические испытания. Макрокопическое испытание – оценка макроструктуры на макрошлифах осмотром невооруженным глазом или при незначительном увеличении, с травлением или без него. Микрокопическое испытание – оценка микроструктуры на микрошлифах под микроскопом с увеличением 50...500 крат, с травлением или без него.

Испытание проводится, как правило, на поперечных сечениях швов.

Требования к структуре сварного соединения, нормы по допустимым дефектам и перечень недопустимых должны быть приведены в технических условиях или стандарте на продукцию.

Отбор образцов производят, как правило, перпендикулярно оси сварного шва (шлиф в плоскости поперечного сечения). Образец включает металл шва и зону термического влияния по обе стороны шва. Допускается вырезка и в других плоскостях. Место отбора, ориентация и количество образцов должны быть указаны в технических условиях или стандарте на продукцию и (или) специальных требованиях или особых соглашениях.

Для проведения испытаний должна быть представлена следующая информация:

- сведения об основном и присадочном металле;
- состояние поверхности контролируемого сечения;
- способы травления;
- время травления;
- дополнительные меры безопасности;
- любые дополнительные требования;
- объект испытаний

Подготовка образцов в зависимости от цели испытания производится холодным механическим способом: резанием, торцеванием, шлифованием, полированием, травлением. Контролируемое сечение не должно подвергаться негативному влиянию этих процессов обработки.

Требования к состоянию поверхности зависят от:

- вида предполагаемого испытания (макроскопическое или микроскопическое);
- марки основного металла;
- предполагаемой документации.

Для травления обычно используются следующие способы:

- травление погружением в реактив;
- травление протиркой контролируемого сечения реактивом;
- электролитическое травление.

Типичные составы реактивов для различных основных металлов, металлов наплавки, целей и видов испытаний приведены в CEN CR 12361. В соответствии с целью испытаний выбирают состав реактива, температуру и время травления, которые меняются в зависимости от марки металла и вида испытаний. Для схожих сварных соединений допускается использовать различные реактивы.

В обозначении испытания необходимо указать:

- ссылку на стандарт, описывающий методику испытаний;
- вид испытания (макроскопическое или микроскопическое);
- не травлено или травлено;
- объект испытаний (металл шва и (или) основной металл);
- сварное соединение (основной металл слева, основной металл справа и металл шва);
- реактив (номер таблицы CN CR 12361);

Обозначение может быть полным или кратким.

Примеры макрошлифов образцов, полученных наплавкой с различными значениями параметров режима

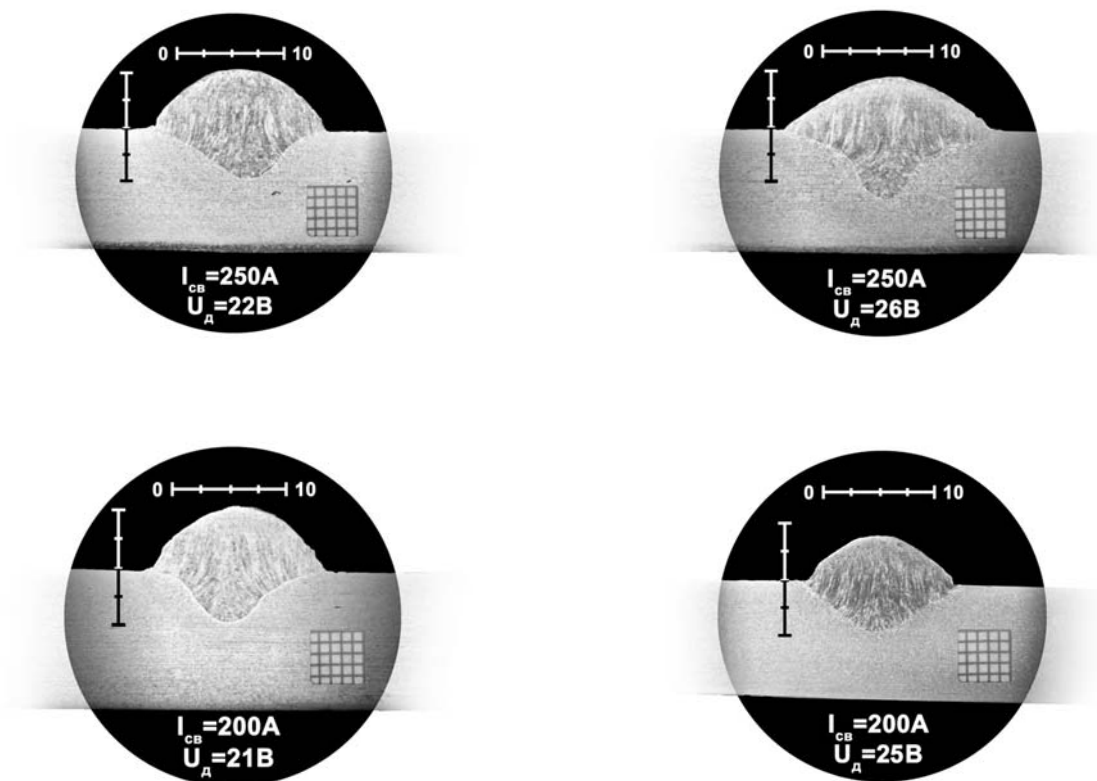


Рисунок 5.1 – Макрошлифы образцов, полученных наплавкой с различными значениями параметров режима

5.2 Оборудование, приборы и материалы

- 1 Реактивы для травления.
- 2 Штангенциркуль, линейка.
- 3 Образцы для проведения испытаний.

5.3 Порядок проведения работы

1 Проанализировать выданные образцы сварных соединений. Определить место вырезки образца для проведения макрометаллографических исследований.

2 Осуществить вырезку и подготовку образца к травлению.

3 Подобрать необходимый реактив для травления и время выдержки. Травление производить методом протирки или окунанием поверхности образца в реактив.

4 Проанализировать макрошлиф сварного соединения. Сделать выводы о качестве. В случае наличия дефектов определить их размеры и классификационные признаки.

5.4 Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Оборудование и материалы. Реактив для травления.
- 3 Время и способ травления.
- 4 Эскиз сварного соединения.
- 5 Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Каковы методика и порядок проведения металлографических испытаний сварного соединения?

2 Как производится подготовка и какие требования к образцам для испытаний?

3 По каким критериям производится оценка качества сварного соединения по результатам испытаний?

6 Лабораторная работа № 6. Измерение содержания ферритной фазы в наплавленном металле шва сварного соединения

Цель работы: освоить методику измерения содержания ферритной фазы в наплавленном металле шва сварного соединения.

6.1 Общие теоретические сведения

Структура хромоникелевых сталей, содержащих хром (8 %...25 %), никель (8 %...15 %), молибден (< 4 %), а также, в небольших количествах, другие элементы, может быть как из аустенитной стали, так и содержать некоторое количество ферритной фазы, даже при условии, что содержание отдельных

элементов находится в пределах химического состава. Контроль ферритной фазы важно осуществлять во время выполнения различных технологических операций, актуальнее всего – во время сварки.

Хорошо известно, что присутствие ферритной фазы меняет технологические и эксплуатационные свойства стали и изделий из нее. Например, при отсутствии ферритной фазы или при малом ее содержании обнаружена склонность к образованию горячих трещин в сварных швах. При более высоких показателях ферритной фазы наблюдается тенденция к снижению пластичности и ударной вязкости после выдержки при повышенных температурах (600 °С...800 °С) и к снижению коррозионной стойкости в некоторых агрессивных средах.

Присутствие ферритной фазы может ухудшать рабочие свойства стали в области криогенных температур, но положительно влиять на них в условиях коррозии под напряжением.

Особенности определения ферритной фазы.

Особенность воздействия ферритной фазы заключается в том, что сравнительно малые изменения ее содержания (в некоторых случаях в пределах нескольких процентов и даже долей процента) могут вызвать существенное изменение свойств стали. Требования к содержанию ферритной фазы в данном случае более строгие, чем к химическому составу стали. Так, согласно ГОСТ 2246, содержание ферритной фазы должно быть строго в пределах 2 %...6 % в сварочной проволоке марок Св-08Х16Н8М2 и Св-08Х18Н8Г2Б и 3 %...8 % в проводе марки Св-04Х19Н11М3, но при этом допускается повышение содержания хрома свыше нормы, предусмотренное настоящим стандартом, для достижения необходимого уровня содержания ферритной фазы. Строгие требования предъявляются и к методам контроля, поскольку небольшая неточность при определении содержания ферритной фазы может послужить причиной ложного заключения при оценке качества материалов. Соблюдением заданного содержания ферритной фазы обеспечивается необходимый уровень технологического и эксплуатационного свойства стали.

Регламентирование и контроль содержания ферритной фазы в хромоникелевых сталях аустенитного и аустенитно-ферритного классов является составной частью мероприятий по обеспечению качества изделий во многих отраслях промышленности в Украине и за рубежом.

Феррит и аустенит обладают совершенно разными физическими свойствами. Феррит магнитен, аустенит немагнитен.

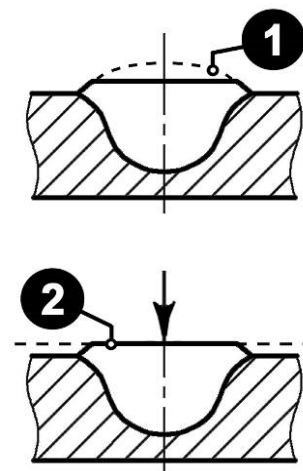
Эта разница магнитных свойств очень важна в вопросе определения содержания ферритной фазы аустенитного сварочного металла, т. к. именно магнитные методы часто используются для измерения содержания ферритной фазы. Ферритометр – прибор, часто применяемый для локального измерения содержания ферритной фазы в металле сварных швов магнитным методом, т. к. его контактный датчик достаточно мал, чтобы его можно было использовать на небольшом участке сварочного металла.

В лабораторной работе для измерения ферритной фазы используется вихретоковый многофункциональный прибор МВП-2, имеющий специальный контактный датчик (рисунок 6.1, а).

а)



б)



1 – зона выпуклости наплавленного металла, подлежащая фрезеровке; 2 – площадка для размещения контактного датчика и измерения ферритной фазы в наплавленном металле

Рисунок 6.1 – Многофункциональный вихретоковый прибор МВП-2 для измерения ферритной фазы (а) и схема подготовки образца (б)

Для удобства измерений и создания на поверхности наплавки плоской площадки поверхность валика частично сфрезеровывается (рисунок 6.1, б). Измерение проводится непосредственно на образце в десяти точках без изготовления специальных проб.

6.2 Оборудование, приборы и материалы

- 1 Многофункциональный вихретоковый прибор МВП-2.
- 2 Штангенциркуль, линейка.
- 3 Образцы для проведения испытаний.

6.3 Порядок проведения работы

- 1 Подготовить оборудование и материалы к проведению испытаний. Подготовить образцы для выполнения измерений ферритной фазы.
- 2 Произвести измерения и занести данные в отчет.
- 3 Сделать выводы.

6.4 Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Оборудование и материалы.
- 3 Характеристика сварных соединений, подлежащих испытанию.

4 Схема проведения испытаний. Результаты измерений.

5 Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Каковы методика и порядок проведения испытаний по измерению ферритной фазы?

2 Для каких сварных соединений проводится измерение ферритной фазы?

3 Основные нормативные документы.

7 Лабораторная работа № 7. Испытания сварного соединения на стойкость против межкристаллитной коррозии

Цель работы: освоить методику проведения испытания сварного соединения на стойкость против межкристаллитной коррозии.

7.1 Общие теоретические сведения

Коррозией называют химическое разрушение металлов под действием различных жидкостей и газов. Испытания состоят в погружении на определенное время в коррозионную среду (обычно растворы кислот, солей и пр.) образцов, вырезанных из сварных соединений, и последующей оценки характера, и степени разрушения металла швов. Коррозионную стойкость определяют следующими общими методами:

– профилографическим, основанным на измерении глубины разъедания металла шва во всех его зонах с помощью прибора-профилометра. Глубина коррозии за единицу времени не должна превышать допустимой величины для данной марки стали. Видоизменением данного метода является снятие профилограмм путем получения отпечатков со сварного соединения при помощи различных легко формирующихся материалов (пластмасс, парафина и др.), которые затем разрезаются по плоскостям, перпендикулярным к оси шва. Изготовленные таким образом профили оттисков проектируются в увеличенном виде на экран для изучения характера коррозии и измерения ее глубины;

– весовыми методами определяют потерю в весе сварного образца и такого же по размерам образца из основного металла после выдержки в активной среде (также учитываются результаты внешнего осмотра. Качество шва удовлетворительно, если наплавленный металл и зона термического влияния разрушаются не сильнее основного металла) и потерю в весе за единицу времени с единицы площади поверхности образцов, вырезанных целиком из основного и из наплавленного металла.

В сварных соединениях из аустенитных сталей может иметь место межкристаллитная коррозия, связанная с разрушением выпавших карбидов хрома по границам зерен металла, нагревавшегося в интервале температур 500 °С...900 °С. При этом прочность сцепления отдельных зерен металла

заметно снижается. Склонность сталей к этому специфическому виду коррозии определяют:

– испытанием на загиб стандартного образца по ГОСТ после выдержки в активной среде. Угол загиба тем меньший, чем сильнее шов подвержен коррозии. Например, нормальный угол загиба образца для стали IX18H9T равен 90° после 1 ч травления при температуре $70^\circ\text{C} \dots 78^\circ\text{C}$ в растворе, состоящем из 3 % плавиковой кислоты, 10 % азотной кислоты и 87 % воды (или растворе из 10 % азотной кислоты, 3 % фтористого натрия и 87 % воды);

– методом анодной поляризации, предусматривающим электролитическое травление небольшого участка поверхности сварного соединения, включающего зону термического влияния, а также частично основной и наплавленный металл, и последующее макроисследование. Электролит – 0,1-процентный раствор агар-агара в 50-процентной серной кислоте – заливается в свинцовую воронку, установленную на резиновое уплотняющее кольцо, которое ограничивает контролируемую поверхность металла. Травление производится путем пропускания через электролит постоянного тока $0,9 \dots 1$ А в течение $3 \dots 5$ мин таким образом, что испытуемый металл служит анодом, а воронка – катодом. Браковочными признаками при осмотре макрошлифа является наличие темных точек, трещин или сетки на более светлом фоне. Гладкая блестящая белая поверхность указывает на высокую коррозионную стойкость металла;

– методом измерения и сравнения электросопротивлений сварного образца в исходном состоянии и после испытаний, заключающихся в 2-часовой выдержке при температуре 650°C и последующем $10 \dots 15$ -часовом пребывании в кипящем реагенте (растворе из медного купороса, серной и азотной кислот). Уменьшение коррозионной стойкости связано с заметным увеличением сопротивления. Коррозионные испытания применяются при контроле качества швов химической и котельной аппаратуры.

Одно из опасных разрушений металла – межкристаллитная коррозия (МКК), т. е. появление ржавчины вдоль границ кристаллов (зерен). Визуально этот процесс невозможно определить, металл же при этом теряет прочность и пластичность.

Обычно межкристаллитная коррозия возникает в месте сварного шва или в ситуации, когда неправильно проводится термообработка металла. При неверно выбранном термическом режиме границы зерен остаются активными, а сами зерна пассивными. В результате содержание хрома на границах уменьшается, что способствует образованию ржавчины.

В зависимости от химического состава специалисты лаборатории выбирают наиболее подходящий анализ для выявления коррозии. Наиболее распространены следующие.

АМУ – образцы металла выдерживаются в растворе серноокислой меди и серной кислоты в присутствии металлической меди.

АМУФ – этот анализ можно назвать ускоренным вариантом предыдущего исследования. Но в нем обязательно не только присутствия меди, но и иона фтора.

ВУ – анализ проводится в серной кислоте в присутствии окисного сернокислого железа.

ДУ – образцы испытывают на стойкость к коррозии, в 65-процентном растворе азотной кислоты.

В растворе образец находится определенный промежуток времени. Затем его вынимают, загибают и рассматривают при помощи лупы или микроскопа. Если будут обнаружены трещины на заготовках, то металл признается неустойчивым к межкристаллитной коррозии.

7.2 Оборудование, приборы и материалы

- 1 Оборудование для проведения испытаний.
- 2 Химическая посуда и реактивы.
- 3 Образцы для проведения испытаний.

7.3 Порядок проведения работы

- 1 Подготовить образцы для проведения испытаний.
- 2 Провести испытания.
- 3 Сделать выводы.

7.4 Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Оборудование и материалы.
- 3 Характеристика сварных соединений, подлежащих испытанию.
- 4 Выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Механизм образования межкристаллитной коррозии.
- 2 Для каких сварных соединений проводится испытание на стойкость против межкристаллитной коррозии?
- 3 Основные нормативные документы.

8 Лабораторная работа № 8. Входной контроль качества сварочных материалов

Цель работы: освоить методику проведения испытания сварочно-технологических свойств покрытых электродов для ручной дуговой сварки.

8.1 Общие теоретические сведения

Сварочно-технологические свойства электродов проверяют путем сварки в потолочном положении (для электродов диаметром более 4 мм разрешается производить сварку в нижнем положении) таврового соединения двух

«погонов», вырезанных из труб (по образующей), либо двух пластин размером 180×140 мм (рисунок 8.1), либо путем сварки в неповоротном положении вертикального стыка труб (ось трубы в горизонтальной плоскости) при длине каждой трубной «катушки» не менее 120 мм.

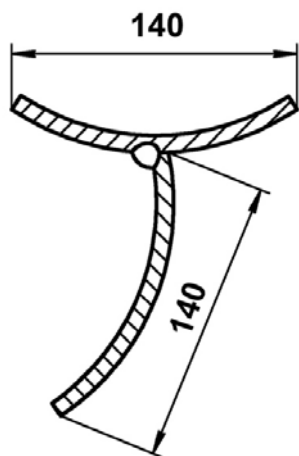


Рисунок 8.1 – Схема сварки таврового соединения пластин (погонов из труб) для определения технологических свойств электродов

Сварку таврового соединения пластин («погонов») следует выполнять в один слой.

Сварку контрольного соединения следует выполнять с подогревом, если он предусмотрен технологической документацией для сварки производственных соединений, для которых будут использованы электроды, либо для марки и толщины стали, из которой изготовлены контрольные соединения. Толщину пластин («погонов») контрольного таврового соединения и катет шва следует выбирать в зависимости от диаметра электрода по таблице 8.1.

Кромки труб контрольного стыкового соединения должны быть обработаны по типу ТР-2 согласно РД 34 15.027-93. Перед сборкой под сварку кромки и прилегающие к ним поверхности деталей контрольного соединения должны быть зачищены от ржавчины, окалина и загрязнений на ширине не менее 20 мм. Сборку соединения под сварку необходимо производить на прихватках, которые выполняются ручной дуговой сваркой с применением контролируемых электродов.

Таблица 8.1 – Толщина пластин и катет шва таврового контрольного соединения

Диаметр электрода, мм	До 2 вкл.	Св. 2 до 3 вкл.	Св. 3 до 4 вкл.	Св. 4 мм
Толщина пластины, погона, мм	3...5	6...10	10...16	14...20
Катет шва, мм	2...3	4...5	6...8	8...10

Пластины, «погоны» и трубные «катушки» для проверки сварочно-технологических свойств электродов должны быть изготовлены из стали той марки, для которой будут использованы проверяемые электроды.

Сварочно-технологические свойства электродов, предназначенных для сварки труб поверхностей нагрева котлов, следует проверять путем сварки не менее трех контрольных (пробных) стыков труб соответствующего размера и марки стали. Проверку сварочно-технологических свойств электродов производить путем сварки вертикального стыка труб диаметром 133...159 мм с толщиной стенки 10...18 мм. При этом разрешается сваривать либо потолочный участок соединения, либо весь стык.

После сварки контрольное соединение подвергают визуальному контролю поверхности шва и излома шва после его разрушения. Для облегчения разрушения образца рекомендуется по шву со стороны усиления сделать надрез глубиной 1,5...2,0 мм. Стыковое соединение труб контролируют для определения сплошности шва одним из следующих способов:

– визуально после проточки на токарном станке со снятием слоя металла глубиной до 0,5 мм; контроль выполняется после снятия каждого слоя металла по всей длине соединения;

– радиографическим способом.

Сварочно-технологические свойства электродов должны удовлетворять требованиям ГОСТ 9466. Основные из этих требований следующие:

а) дуга легко зажигается и стабильно горит;

б) покрытие плавится равномерно, без чрезмерного разбрызгивания, отваливания кусков и образования «козырька», препятствующих нормальному плавлению электрода во всех пространственных положениях;

в) образующийся при сварке шлак обеспечивает правильное формирование шва и легко удаляется после охлаждения;

г) в металле шва и наплавленном металле нет трещин и надрывов, а размеры пор и включений не превышают допустимые величины. По результатам проверки сварочно-технологических свойств оформляется акт.

В случае неудовлетворения требований производится определение размера «козырька» и прочности покрытия. Для определения размера «козырька» и прочности покрытия отбирают 10–12 электродов из 5–6 пачек и производят их расплавление в вертикальном положении при угле наклона электрода к шву 50...60°. Размер «козырька» измеряется от конца стержня электрода до наиболее удаленной части оплавленного покрытия. Размер «козырька» не должен превышать 4 мм, при большем размере «козырька» электроды бракуются. Прочность покрытия определяют визуальным контролем покрытия электродов после их свободного падения плашмя на гладкую стальную плиту толщиной 14 мм с высоты: 1 м для электродов диаметром менее 4 мм и 0,5 м для электродов диаметром 4 мм и более.

Покрытие не должно разрушаться. Допускаются частичные откалывания покрытия общей протяженностью не более 5 % длины покрытой части электрода.

При неудовлетворительных сварочно-технологических свойствах производится повторная их проверка после повторной прокали. Если при повторной проверке сварочно-технологических свойств получены неудовлетворительные результаты, то данная партия электродов бракуется, на нее оформляется акт-рекламация, который направляется заводу-изготовителю.

8.2 Оборудование, приборы и материалы

1 Разрывная машина РГМ 1000М1 (МУП 50).

2 Штангенциркуль, линейка.

3 Образцы для проведения испытаний.

- 4 Комплект электродов.
- 5 Комплект спецодежды для сварки.

8.3 Порядок проведения работы

1 Подготовить оборудование и материалы к проведению испытаний. Подготовить образцы для выполнения контрольного сварного соединения. Зачистить кромки свариваемых деталей. Подготовить сварочные электроды.

2 Произвести сварку образцов. При выполнении сварного соединения оценить стабильность горения дуги, качественно определить разбрызгивание при сварке, оценить характер отделения шлаковой корки с поверхности наплавленного металла шва.

3 Провести визуально измерительный контроль сварного соединения. Выявить и классифицировать дефекты (в случае их наличия).

4 Провести испытания сварного соединения на излом. Оценить поверхность излома. Сделать выводы о качестве электродов по результатам испытаний.

8.4 Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Оборудование и материалы.
- 3 Характеристики испытываемых электродов.
- 4 Оценка стабильности горения дуги.
- 5 Обнаруженные дефекты.
- 6 Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Каковы методика и порядок проведения испытаний сварочно-технологических свойств покрытых электродов для ручной дуговой сварки?

2 Какова методика испытаний сварного соединения на излом?

3 Какие критерии используются для оценки качества и стабильности горения дуги?

9 Правила техники безопасности при проведении лабораторных работ

Организация лабораторных экспериментов должна проводиться в соответствии с ССБТ ГОСТ 12.4.113–82 *Работы учебные лабораторные. Общие требования безопасности.*

При проведении лабораторных экспериментов должно быть устранено или доведено до безопасных значений величин действие опасных и вредных производственных факторов по ГОСТ 12.0.003–74.

Оборудование, применяемое в учебных лабораториях, должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.003–74 и ГОСТ 12.2.049–80.

Температура поверхности оборудования и технологических трубопроводов, к которым возможны прикосновения людей при проведении лабораторных экспериментов, не должна превышать 45 °С. Системы вентиляции и отопления в лабораторном помещении должны обеспечивать параметры микроклимата в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005–76.

Предельно допустимая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны лаборатории не должна превышать значений, указанных в ГОСТ 12.1.005–76.

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука в децибелах на рабочих местах в лаборатории должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.003–76, относящимся к помещениям лабораторий для проведения экспериментальных работ.

Предельно допустимые напряжённость электрической и магнитной составляющих и плотность тока энергии электромагнитного поля радиочастот на рабочих местах в лаборатории должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.012–78.

Уровень ионизирующих излучений на рабочих местах в лаборатории по мощности поглощенной дозы не должен превышать $5 \cdot 10^{-4}$ Гр/год. Допустимый уровень вибрации на рабочих местах в лаборатории должен соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.012–78. Защитные системы (зануление, защитное заземление, защитное отключение, выравнивание потенциала, двойная изоляция, малое напряжение) и мероприятия по защите от поражения электрическим током в лабораториях должны обеспечивать напряжение прикосновения не выше 42 В в помещениях без повышенной опасности и с повышенной опасностью, 12 В в особо опасных помещениях.

Питание лабораторного электрооборудования должно осуществляться от сети напряжением не более 380 В при частоте 50 Гц. В электроустановках должны быть предусмотрены разделительный трансформатор и защитно-отключающее устройство.

Сопротивление изоляции, токоведущих частей электроустановок до первого аппарата максимальной токовой защиты должно быть не менее 0,5 МОм, а сопротивление между заземляющим болтом и каждой доступной прикосновению металлической нетоковедущей частью изделия, которая может оказаться под напряжением, – не более 0,1 Ом.

Требования к размещению оборудования и рабочих мест.

Размещение оборудования в помещении лаборатории должно обеспечивать удобство выполнения всех видов исследований и работ.

Планировка помещения лаборатории должна обеспечивать освещение рабочих мест исследователей естественным светом.

Размещение средств отображения информации должно обеспечивать свободное восприятие общей сигнальной информации в интерьере лаборатории.

Геометрические размеры зоны досягаемости моторного поля на рабочих местах в лаборатории определяются требованиями ГОСТ 12.2.032–78 (для положения сидя) и ГОСТ 12.2.033–78 (для положения стоя).

Геометрические размеры оптимальной зоны информационного поля для размещения общих средств отображения информации в лаборатории должны быть: площадь зоны – 4,5 м²; высота верхней границы зоны от пола – 2,5 м; ширина зоны – 3,0 м; высота нижней границы зоны от пола – 1,0 м.

10 Действия на случай возникновения загорания, пожара

Каждый обнаруживший пожар или загорание, обязан:

- немедленно обесточить помещение;
- немедленно сообщить о пожаре по телефону 101;
- немедленно сообщить о пожаре администрации;
- приступить к тушению очага пожара имеющимися на рабочем месте средствами пожаротушения (огнетушитель, кошма, песок и т. д.);
- при тушении электроустановок огнетушителями не подходить ближе одного метра до очага горения;
- при применении углекислотных огнетушителей не брать голую рукой за растроб;
- тушение вертикальных конструкций производить сверху вниз.

Студент, находящийся в лаборатории, при получении сообщения об эвакуации обязан:

- немедленно прекратить занятие;
- быстро и без паники в сопровождении преподавателя, проводящего занятие, покинуть здание и переместиться в безопасное место, пройти переключку у данного преподавателя и ждать последующих указаний;
- сохранять выдержку и хладнокровие, не допускать паники.

Студент, оставшийся во время пожара в лаборатории, обязан:

- прежде чем открыть дверь лаборатории, потрогать ее руками. Если она нагрелась, не открывать ее, иначе огонь проникнет в помещение;
- при возможности, покинуть помещение через окно; оказавшись на верхнем этаже, заткнуть щели подручными средствами, чтобы дым не проникнул в помещение лаборатории;
- сообщить о своем местонахождении (по телефону или привлекая внимание с помощью рук и криков о помощи).

11 Действия на случай других аварийных ситуаций

При возникновении в рабочей зоне проведения лабораторной работы опасных условий труда (появление запаха гари и дыма, повышенное тепловыделение от оборудования, повышенный уровень шума при его работе, неисправность заземления, загорание материалов и оборудования, прекращение подачи электроэнергии, появление запаха газа и т. п.) необходимо немедленно

прекратить работу, выключить оборудование, сообщить о происшествии преподавателю.

При несчастном случае необходимо быстро принять меры по предотвращению воздействия травмирующих факторов на потерпевшего, оказанию первой помощи пострадавшему, вызову на место происшествия медицинских работников или доставке потерпевшего в организацию здравоохранения. Сообщить о происшествии ответственному лицу за безопасное производство работ, обеспечить до начала расследования сохранность обстановки, если это не представляет опасности для жизни и здоровья людей.

При поражении электрическим током необходимо освободить пострадавшего от действия тока (выключить рубильник, перерубить провод, оттянуть или отбросить его сухой палкой, шестом). Не прикасаться к пострадавшему, пока он находится под действием тока. Доврачебную помощь оказывать сразу после прекращения воздействия электрического тока. Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, то немедленно приступить к массажу сердца и искусственному дыханию до прибытия врача. Одновременно с этим применяется нашатырный спирт, растирание и согревание.

Список литературы

1 **Куликов, В. П.** Технология сварки плавлением и термической резки: учебник / В. П. Куликов. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2016. – 463 с. : ил.

2 Технология сварки плавлением и термической резки металлов: учебное пособие / В. А. Фролов [и др.]; под ред. В. А. Фролова. – Москва: Альфа-М; ИНФРА-М, 2011. – 448 с. : ил.

3 **Виноградов, В. М.** Основы сварочного производства: учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. М. Виноградов, А. А. Черепакхин, Н. Ф. Шпунькин. – Москва: Академия, 2008. – 272 с.

4 Оборудование и основы технологии сварки металлов плавлением и давлением: учебное пособие / Под. Ред. Г. Г. Чернышева и Д. М. Шашина. – Санкт-Петербург: Лань, 2013. – 464 с. : ил.

5 **СТБ ЕН 875–2002.** Испытание металла сварного соединения на ударный изгиб. Требования к образцам и оформлению результатов. – Минск: Госстандарт, 2002. – 12 с.

6 **СТБ ЕН 10045-1–2003.** Металлы. Испытание на ударный изгиб по Шарпи. Ч 1: Метод испытания. – Минск: Госстандарт, 2003. – 12 с.

7 **СТБ ЕН 895–2002.** Испытание металла сварного соединения на растяжение на образцах, вырезанных поперек шва. – Минск: Госстандарт, 2002. – 16 с.

8 **СТБ ЕН 910–2002.** Испытание металла сварного соединения на статический изгиб. – Минск: Госстандарт, 2002. – 24 с.

9 **СТБ ЕН 1320–2003.** Испытание металла сварного соединения на излом. – Минск: Госстандарт, 2003. – 20 с.

10 СТБ ИСО 6506-1-2007. Материалы металлические. Испытание на твердость по Бринеллю. Ч 1: Метод испытания. – Минск: Госстандарт, 2007. – 20 с.

11 СТБ ИСО 6507-1-2007. Материалы металлические. Испытание на твердость по Виккерсу. Ч 1: Метод испытания. – Минск: Госстандарт, 2007. – 24 с.

12 СТБ ЕН 1321-2004. Испытания макроскопические и микроскопические металла сварного соединения. – Минск: Госстандарт, 2004, – 12 с.

13 СТБ ISO 6520-1-2009. Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов по геометрическим параметрам в металлических материалах. Ч. 1: Сварка плавлением. – Минск: Госстандарт, 2009. – 44 с.

14 СТБ ISO 6520-2-2009. Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов по геометрическим параметрам в металлических материалах. Ч. 2: Сварка с применением давления. – Минск: Госстандарт, 2009. – 20 с.

15 СТБ ЕН 970-2003. Контроль неразрушающий сварных соединений. Визуальный метод. – Минск: Госстандарт, 2003. – 16 с.

16 СТБ ISO 5817-2009. Сварка. Соединения стали, никеля, титана и их сплавов, выполненные сваркой плавлением (кроме лучевой сварки). Уровни качества шва в зависимости от дефектов. – Минск: Госстандарт, 2009. – 32 с.

17 СТБ ИСО 9015-1-2003. Испытание на твердость металла сварного соединения. Ч. 1: Определение твердости различных участков сварного соединения, выполненного дуговой сваркой. – Минск: Госстандарт, 2003. – 22 с.