

Министерство образования и науки Украины
Донбасская государственная машиностроительная академия (ДГМА)

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ПРОЧНОСТИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Методические указания
к лабораторным работам
для студентов специальности 7.05050401
«Технология и оборудование сварки»
всех форм обучения**

Утверждено
на заседании
методического совета
Протокол № 6 от 16.04.2015

Краматорск
ДГМА
2015

УДК 621.791

Специальные главы прочности сварных конструкций : методические указания к лабораторным работам для студентов специальности 7.005050401 всех форм обучения / сост. А. Ф. Власов. – Краматорск : ДГМА, 2015. – 18 с.

Методические указания содержат общие требования к проведению лабораторных работ, цель работ, краткие теоретические сведения, описание приборов и оборудования, методику выполнения работ и требования к отчету.

Составитель

А. Ф. Власов, доц.

Отв. за выпуск

Н. А. Макаренко, проф.

СОДЕРЖАНИЕ

Общие сведения	4
Лабораторная работа 1. Определение работы разрешения металла при ударном изгибе.....	5
Лабораторная работа 2. Определение сопротивляемости стали распространению хрупкой трещины	9
Лабораторная работа 3. Электрохимическая коррозия стали.....	13
Лабораторная работа 4. Влияние конструктивного оформления сварных узлов на их прочность при низких температурах	16
Список рекомендованной литературы	18

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Занятия проводятся согласно расписанию в лаборатории прочности сварных конструкций.

Студент обязан заранее изучить методическое руководство к выполнению работы и повторить лекционный материал по теме работы, чтобы быть готовым отвечать на вопросы для самопроверки.

Перед работой преподаватели контролируют готовность студентов к выполнению работы. Неподготовленные студенты к выполнению работы не допускаются.

Отчет составляется студентами сразу после выполнения работы и предъявляется преподавателю не позже, чем на следующем занятии. Студенты, не защитившие предыдущую работу без уважительной причины, не допускаются к выполнению очередной работы. Работа считается выполненной после собеседования и подписания отчета преподавателем.

Отчет по работе оформляется на 1...3 листах формата А4 и подшивается в одну тетрадь, которая хранится у студента до окончания всех работ и сдается преподавателю на зачете в конце семестра.

Число работ по курсу и количество часов, отводимое для выполнения каждой работы, назначается кафедрой (табл. 1).

Таблиц 1 – Перечень лабораторных работ по курсу СГПСК

Номер работы	Наименование работы	Часы
1	Определение работы разрушения металла при ударном изгибе	2
2	Определение сопротивляемости стали распространению хрупкой трещины	2
3	Электрохимическая коррозия стали	2
4	Влияние конструктивного оформления для сварных узлов на их прочность при низких температурах	2

При выполнении работ необходимо соблюдать следующие требования техники безопасности, которые распространяются на всех лиц, постоянно и временно работающих в лаборатории прочности :

– к работе в лаборатории допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности, с оформлением в специальном журнале, а для студентов – в групповом контрольном журнале.

– при выполнении работ, связанных с охлаждением образцов в ванне, обязательно пользоваться перчатками и специальными клещами. Загрузку и выгрузку образцов вести в присутствии преподавателя или лаборанта.

– перед установкой образца в копер с падающим грузом необходимо поднять маятник на высоту, указанную преподавателем, и вставить огра-

ничительный стержень. Перед подъемом маятника на заданную высоту стержень вынимается по указанию преподавателя.

– при выполнении работы на маятниковом копре стоять в стороне от установки, не появляться в направлении движения маятника.

– при разрыве образцов находиться по указанию преподавателя за специальным защитным щитом.

– студентам запрещается без преподавателя или лаборанта проводить испытания образцов на разрушение.

Лабораторная работа 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТЫ РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ УДАРНОМ ИЗГИБЕ

1.1 Цель работы

Исследовать влияние остроты надреза и толщины образца на величину работы разрушения при ударном изгибе на маятниковом копре.

1.2 Краткие теоретические сведения

Концентрация напряжений – главный и наиболее сильный фактор, влияющий на прочность деталей в самых различных случаях. Влияние концентраторов напряжений на работоспособность сварных конструкций велико. Вследствие концентрации напряжений текучесть металла в отдельных точках может появляться значительно раньше, чем по сечению в целом. Наибольшее отрицательное влияние концентрации напряжений оказывают на достижение предельного состояния разрушения при нагрузках: вибрационных, повторно – статических, ударных и статических.

Для данного материала влияние концентратора на прочность зависит от его остроты, толщины образца и температуры испытания. Чем острее концентратор и ниже температура, тем значительнее может быть снижение прочности. Снижение прочности материала оценивается по величине работы разрушения при ударном изгибе, то есть по величине ударной вязкости:

$$КСУ (КСВ) \text{ или } a_H = \frac{A}{F},$$

где КСУ (КСВ) или a_H – ударная вязкость, Дж/см²;

A – работа удара, затраченная на разрушения, Дж (Н · м);.

F – площадь поперечного сечения образца в месте надреза до испытания, м^2 (см^2).

Процесс разрушения имеет две стадии: образование трещины и распространение трещины. Чем острее концентратор, тем больше он похож на начальную трещину, тем меньше работа, затраченная в первой стадии, тем меньше суммарная работа разрушения. Различают вязкие и хрупкие материалы. Под вязкостью понимают способность материала сопротивляться образованию и распространению трещины. Наиболее неблагоприятная ситуация возникает при острых концентраторах и хрупких материалах.

Одним из проявлений концентрации напряжений является уменьшение пластических деформаций металла перед разрушением. Измерение пластических деформаций на полосе с надрезом показывает, что распределение деформаций очень неравномерное как по поперечному сечению, так и в направлении действия нагрузки. При высокой степени концентрации напряжения к моменту наступления разрушения пластическая деформация может возникнуть лишь вблизи концентраторов, в то время как остальная часть образца будет оставаться на упругой стадии деформирования.

Распространение трещины зависит от способности металлов пластически деформироваться. Пластичность – механизм сопротивления металлов хрупкому разрушению. Установлено, что при разрушении металла затрачивается значительная энергия на протекание в нем пластических деформаций, как на стадии образования трещины, так и на стадии ее распространения.

По сечению пластической деформацией охвачена сравнительно небольшая зона. Вот почему концентраторы напряжений являются одной из основных причин появления хрупкости в металлах, которые могут разрушаться после незначительной пластической деформации. Уменьшение объема зон протекания пластической деформации означает уменьшение работы, которую необходимо затратить перед разрушением элемента. В экспериментах для этой цели выполняют острые надрезы на образцах.

Ширина зоны пластических деформаций различна у разных металлов и может представлять от сотых до нескольких десятых миллиметра.

Пластины большой толщины, а также хрупкие металлы разрушаются в условиях плоской деформации, протекающей при сохранении неизменности объема металла. Так как при этом утонение металла по толщине невозможно, то пластическая деформация в вершине трещины возникает преимущественно за счет сдвига металла в крайне ограниченных объемах.

Необходимость затрачивать энергию при разрушении, и тем большую, чем больше пластическая деформация металла, является важнейшей особенностью процесса разрушения металла.

С понижением температуры пластичность снижается, следовательно, уменьшается работа разрушения. Металлы обладают пластичностью благодаря наличию в них дислокаций, которые существуют в виде нарушений кристаллической решетки. Дислокации в металлах обеспечивают удачное сочетание упругости (при малых деформациях) с интенсивным течением (при больших деформациях).

Степень концентрации напряжений при $\rho \neq 0$ принято оценивать коэффициентом концентрации напряжений:

$$\alpha_{\sigma} = \sigma_{\text{хmax}} / \sigma_{\text{хср}},$$

где $\sigma_{\text{хmax}}$ – максимальное напряжение.

На концентрацию напряжений влияют: форма элемента, его линейные размеры (глубина надреза t , расстояние между надрезами h , радиус концентратора ρ , угол между гранями концентратора α и вид приложенной нагрузки (растяжение, изгиб, сдвиг и т.д.).

Если $h \gg t$, то изменение h при $t = \text{const}$ мало влияет на коэффициент концентрации напряжений α_{σ} . Такие надрезы называются мелкими. Коэффициент концентрации напряжений у них зависит от изменения t . Чем больше t , тем выше коэффициент концентрации напряжений, следовательно,

$$\alpha_{\sigma} \approx \sqrt{t}.$$

Если $t \gg h$, то коэффициент концентрации напряжений α_{σ} в основном зависит от изменения h и мало зависит от изменения t . Такие надрезы называются глубокими. У них чем больше h , тем выше коэффициент концентрации напряжений, то есть,

$$\alpha_{\sigma} \approx \sqrt{h}.$$

Плоская пластина нагружена в ее плоскости. При плоском напряженном состоянии в каждой точке изменяется толщина пластины. Деформация в направлении оси Z не равна 0, а напряжения на боковых гранях этого элемента отсутствуют: $\sigma_z = 0$; $\tau_{zx} = 0$; $\tau_{zy} = 0$, и мы имеем плоское напряженное состояние тела, то есть две параллельных грани бесконечно малого элемента, выделенного в любой точке тела, свободны от напряжений.

Если тело равномерно нагружено по всей длине, то в результате противодействия соседних слоёв изменение толщины невозможно, поэтому каждый слой деформируется в условиях, где он как бы зажат между двумя абсолютно твердыми поверхностями, принудительно обеспечивающими условия неизменяемости толщины слоя $\Delta\delta = 0$. При этом перемещение во всех точках тела происходит только в параллельных плоскостях. Это и есть плоская деформация.

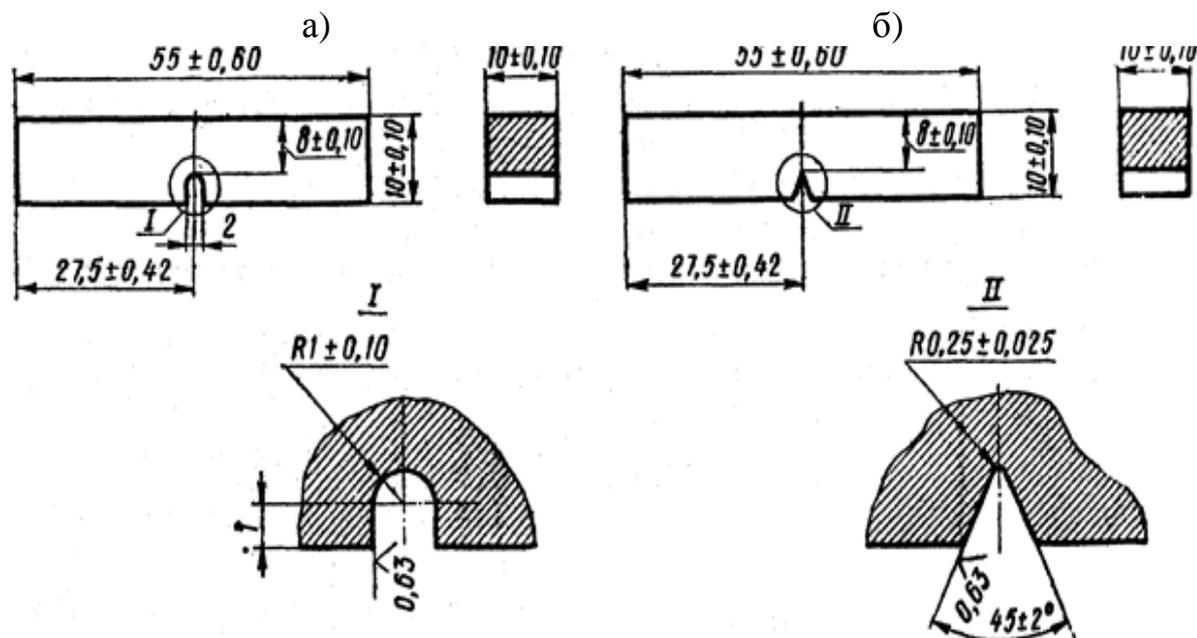
1.3 Приборы, оборудование и материалы

1 Маятниковый копер КМ-30

2 Образцы из стали Ст.3 или другой с разной формой надреза.

1.4 Порядок выполнения работы

1 Определить ударную вязкость двух серий образцов: с острым надрезом типа Шарпи (рис. 1.1, а) и надрезом типа Менаже (рис. 1.1, б).



а – тип Шарпи; б – тип Менаже

Рисунок 1.1 – Образцы, применяемые для испытаний

В каждой серии испытываются шесть образцов: три – из стали Ст.3 и три – из стали У7А или им подобных.

2 Построить график зависимости a_n от T , $^{\circ}C$, и толщины для разных типов образцов и разных марок сталей.

3 Сделать выводы.

1.5 Содержание отчета

Отчет должен содержать: цель работы, эскиз маятникового копра, эскизы образцов, таблицу испытаний (табл. 1.1), график зависимости a_n от T и от толщины образца.

Таблица 1.1 – Таблица испытаний

Сталь	Тип образца	Ударная вязкость, Дж/см ²		
		Толщина образцов, мм		
		5x10	10x10	10x15
Ст. 3	А			
	Б			

1.6 Вопросы для самопроверки

- 1 Что такое концентрация напряжений?
- 2 Что такое коэффициент концентрации напряжений, как он зависит от параметров концентратора?
- 3 Что называется плоской деформацией и плоским напряженным состоянием?
- 4 Что называется глубоким и мелким надрезом?
- 5 Что такое вязкость?
- 6 Что понимается под вязкостью и хрупкостью материалов?
- 7 Почему металлы пластичны? Какова роль дислокаций?

Лабораторная работа 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ СТАЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЮ ХРУПКОЙ ТРЕЩИНЫ

2.1 Цель работы

Исследовать сопротивляемость стали распространению хрупкой трещины, определить критическую температуру по методике DWTT.

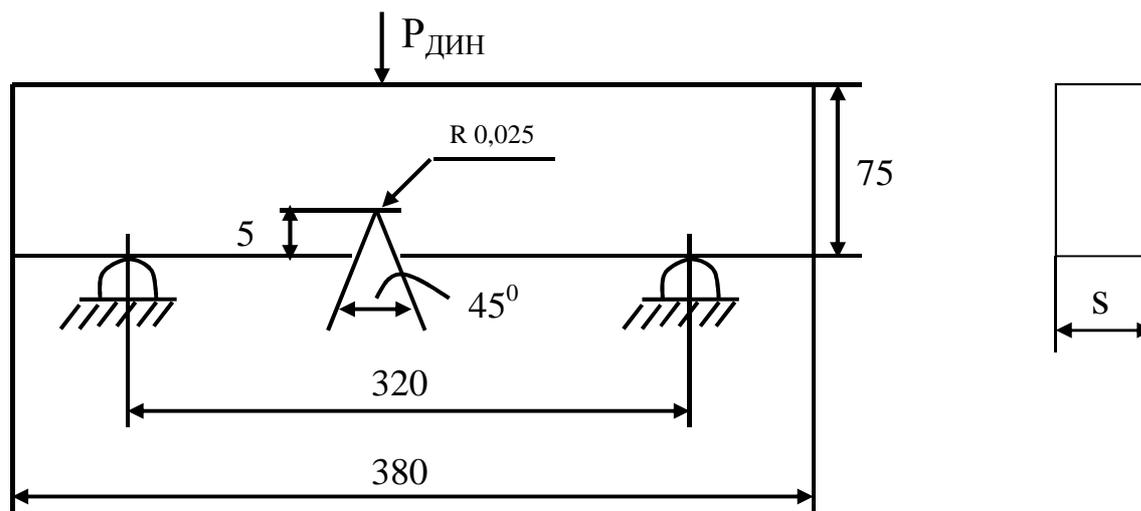
2.2 Краткие теоретические сведения

Характерной особенностью хрупких разрушений сварных конструкций являются низкие номинальные напряжения, при которых они происходят. Как правило, трещина зарождается у концентратора напряжений, образуемого конструктивной формой сварного соединения или каким-

нибудь дефектом, и распространяется далее с большой скоростью по зоне термического влияния или основному металлу.

Склонность стали к распространению хрупкой трещины оценивается по переходной (критической) температуре, то есть температуре, при которой распространение хрупкой трещины при любой величине напряжений становится невозможным.

Для определения переходной температуры широко используют методику ДВТТ, основанную на испытании ударным изгибом образцов с надрезом, выполненным методом прессования (рис. 2.1). Испытания образцов производят при различных температурах.



S – толщина листа

Рисунок 2.1 – Схема и образец для испытания

Установлено, что температура, при которой в изломе имеется 50 % вязкой составляющей, является переходной (рис. 2.2). Образцы оцениваются по процентному отношению площади вязкого излома ко всей поверхности излома.

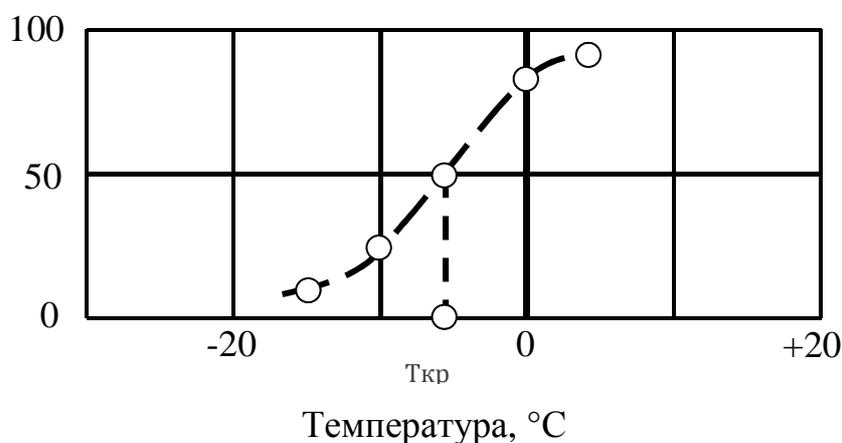
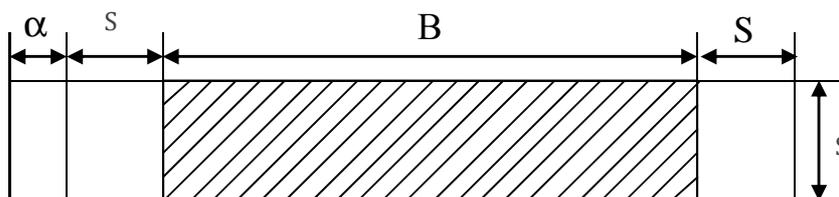


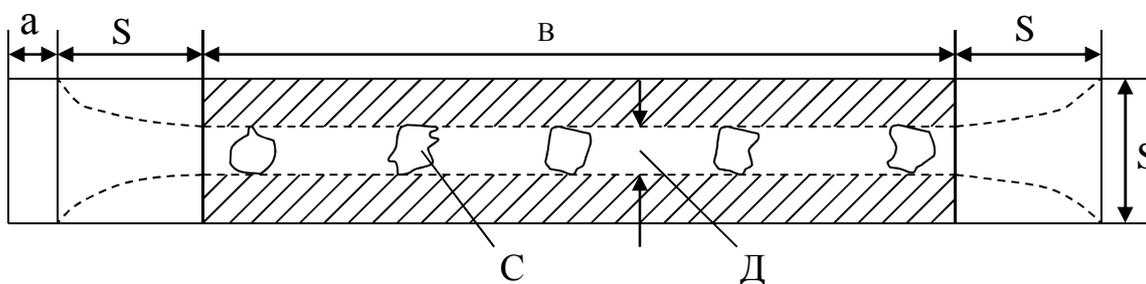
Рисунок 2.2 – График зависимости наличия вязкого волокна в образцах при разных температурах их испытания

Из оценки поверхности излома исключаются вязкие области, прилегающие ко дну надреза, и к «затылку» образца (место удара), равные толщине образца (рис. 2.3).



α – глубина надреза; S – толщина образца; B – оцениваемая площадь
Рисунок 2.3 – Поверхность разрушения, рассматриваемая при определении площади вязкого излома

Иногда встречаются образцы с изломом, показанным на рис. 2.4.



C – участки с хрупким изломом;
 D – ширина вязкохрупкой зоны, условно принимаемой за хрупкую
Рисунок 2.4 – Определение волокнистости излома при вязкохрупком разрушении

На образцах с изломом такого типа разрушения трещина может останавливаться и по очереди начинать движение, поэтому в средней части трещины образца участки вязкого и хрупкого изломов чередуются.

При оценке разрушения образцов с таким типом излома вязкие участки, расположенные в промежутках между хрупкими, не учитываются при определении волокнистости излома, и вся средняя часть с чередующимся изломом условно считается хрупкой.

2.3 Приборы, оборудование и материалы

- 1 Копер с падающим грузом
- 2 Образцы
- 3 Ванна с керосином для охлаждения образцов
- 4 Сухая углекислота
- 5 Термометр

2.4 Порядок выполнения работы

- 1 Охладить образцы в ванне (не менее 15 мин.).
- 2 Установить образец на опоры (время от извлечения образца из ванны до его разрушения не более 10 с).
- 3 Включить привод подъема груза и разрушить образец.
- 4 Построить график и сделать выводы.

2.5 Содержание отчета

Отчет должен содержать: цель работы, эскиз копра и образцов, таблицу испытаний (табл. 2.1) и график зависимости процентов вязкого волокна в изломе от температуры, вывод.

Таблица 2.1 – Таблица испытаний

Сталь	Вязкое волокно, %			
	Температура образца, °С			
	T ₁ =	T ₂ =	T ₃ =	T ₄ =

3.6 Вопросы для самопроверки

- 1 Что определяет сопротивляемость стали распространению хрупкой трещины?
- 2 Что такое критическая (переходная) температура распространения хрупкой трещины, от чего она зависит?
- 3 Какова зависимость критической температуры от содержания вязкого волокна?
- 4 Классификация сталей по сопротивляемости распространению хрупкой трещины.
- 5 Способы предупреждения хрупких разрушений.
- 6 Основные критерии выбора стали по хладостойкости.

Лабораторная работа 3 ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ СТАЛИ

3.1 Цель работы

Установить коррозию металла в растворе кислоты (коррозию) по выделению водорода на межкристаллитные участки.

3.2 Краткие теоретические сведения

Большинство изделий из металла в той или иной мере соприкасается с электролитами, то есть водными растворами солей, кислот и щелочей, обладающими свойством проводить электрический ток.

Соприкосновение металлов с электролитами происходит не только при непосредственном погружении в раствор электролитов, но и в атмосферных условиях. На поверхности металла, находящегося в атмосфере, образуется тонкая пленка воды, в которой растворяются газы, находящиеся в атмосфере. Таким образом, создаются условия для соприкосновения металла с электролитом. Многие металлические изделия находятся непосредственно в соприкосновении с электролитами: опоры мостов, корпус кораблей, конструкции химической аппаратуры.

Электрохимическая коррозия напоминает работу гальванических элементов, ибо любой технический металл неоднороден и содержит в своем составе те или иные включения. При этом обычно участки металла являются анодами, а включения – катодами. Анодные участки растворяются (корродируют), а на катодных выделяется водород.

Если на поверхность железа нанести слой раствора соляной кислоты, то будет протекать следующий процесс (рис. 3.1). Молекулы соляной кислоты в растворе воды диссоциируют: $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$. На анодном участке атом железа отдает электрон и переходит в раствор в виде иона: $\text{Fe} - \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^+ + \text{e}^-$, и на поверхности анода образуется отрицательный заряд.

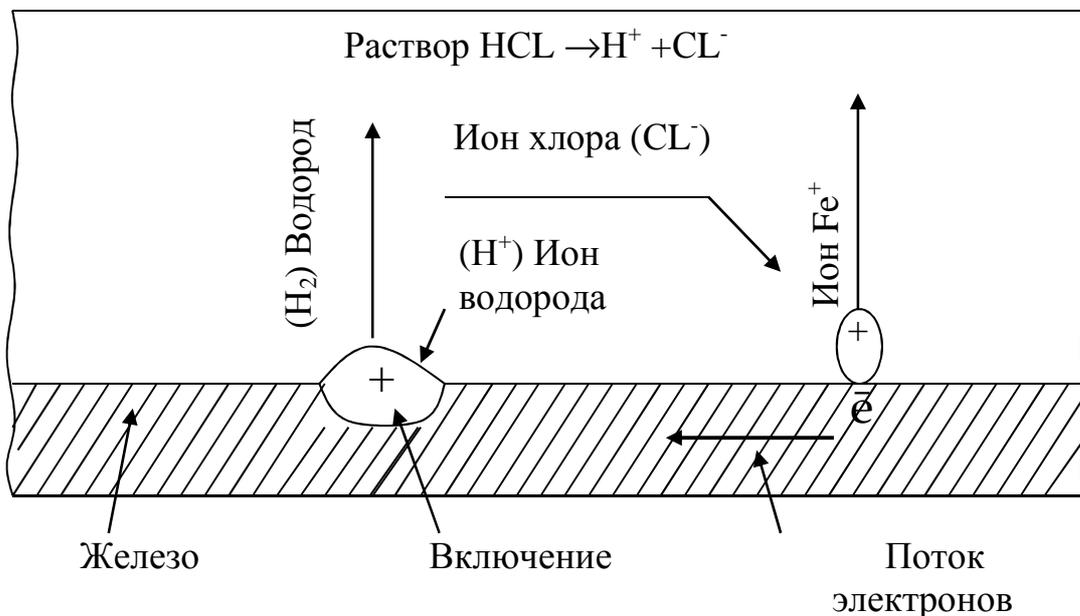
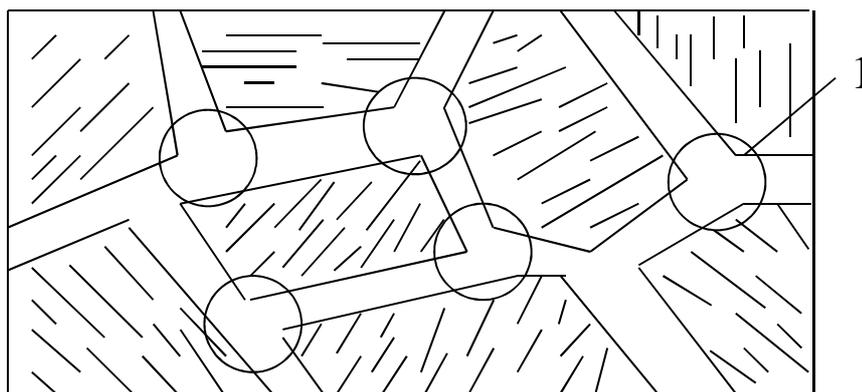


Рисунок 3.1 – Схема коррозии железа в слое раствора соляной кислоты

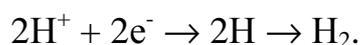
Пузырьки водорода на межкристаллитных участках хорошо видны под микроскопом (рис. 3.2).



1 – пузырьки водорода

Рисунок 3.2 – Выделение водорода на межкристаллитных участках

Избыточные электроны, образовавшиеся на растворяющихся металлических участках, перетекают на различные включения и межкристаллитные участки, которые не растворяются, то есть катодные участки. На катодные участки притягиваются ионы водорода, здесь они соединяются с избыточными электронами и превращаются в атом водорода. Атомы соединяются в молекулы, которые образуют пузырьки газа и выделяются из раствора:



Если к раствору кислоты прилить несколько капель раствора красной кровяной соли, он окрасится в синий цвет, что указывает на растворение железа.

3.3 Приборы, оборудование и материалы

- 1 Микроскоп МИМ – 7
- 2 Образцы
- 3 Раствор соляной кислоты, азотная кислота, раствор красной кровяной соли, спирт

3.4 Порядок выполнения работы

- 1 Образец отшлифовать, протравить азотной кислотой и протереть спиртом для снятия пленки окислов.
- 2 Поместить образец под микроскоп и зарисовать структуру.
- 3 Смочить образец тонким слоем соляной кислоты, поместить под микроскоп, зарисовать место выделения пузырьков водорода.
- 4 Добавить к раствору несколько капель красной кровяной соли – посинение раствора покажет растворение железа.

3.5 Содержание отчета

Отчет должен содержать: цель работы, схему процесса электрохимической коррозии в кислоте, эскизы структуры металла и мест выделения водорода, выводы.

3.6 Вопросы для самопроверки

- 1 Что такое электрохимическая коррозия?
- 2 Основные процессы при электрохимической коррозии.
- 3 Механизм образования гальванических пар в металлах.
- 4 Меры борьбы с электрохимической коррозией.

Лабораторная работа 4

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО ОФОРМЛЕНИЯ СВАРНЫХ УЗЛОВ НА ИХ ПРОЧНОСТЬ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

4.1 Цель работы

Определить величину номинальных разрушающих напряжений при низких температурах для сварных образцов, имеющих разное конструктивное оформление, и сравнить их прочность.

4.2 Краткие теоретические сведения

В институте электросварки им. Е. О. Патона для определения работоспособности сталей при низких температурах используют образец Г.В. Жемчужникова (рис. 4.1).

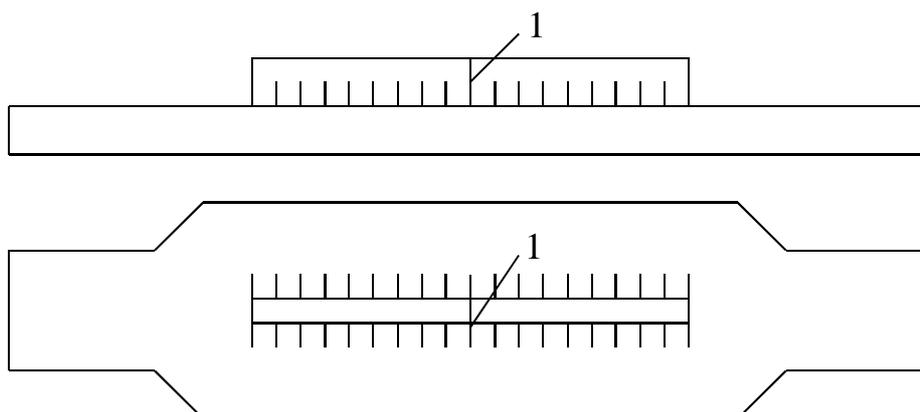


Рисунок 4.1 – Образец Г. В. Жемчужникова для определения работоспособности сталей при низких температурах

Продольные угловые швы создают поле растягивающих остаточных напряжений, достигающих по величине предела текучести стали и совпадающих по напряжению с рабочими напряжениями. Узкая щель 1 между торцами составного ребра, пересекаемая швами, является резким концентратором рабочих напряжений и вызывает при выполнении угловых швов деформационное старение стали в зоне его расположения.

Суммарное влияние концентрации рабочих напряжений, растягивающих остаточных напряжений и охрупчивания стали вследствие деформационного старения резко снижают прочность такого образца при низких температурах. В практике еще очень часто встречаются сварные узлы, которые являются разновидностью рассмотренного выше образца. Все ава-

рии сварных узлов при низких температурах имели место на подобных конструкциях, где сварные швы перекрывали узкую щель [2].

При выполнении настоящей работы могут быть использованы образцы, приведенные на рис. 4.2.

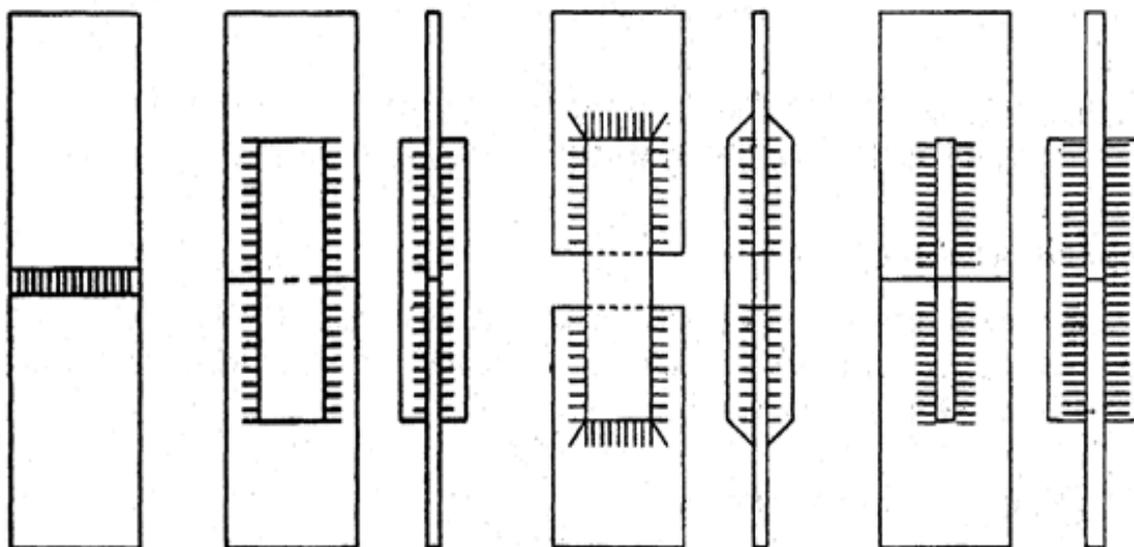


Рисунок 4.2 – Образцы для испытания при низких температурах

4.3 Приборы, оборудование и материалы

- 1 Разрывная установка
- 2 Образцы
- 3 Сухой лед и керосин
- 4 Термометр

4.4 Порядок выполнения работы

1 Закрепить образец в захватах установки, выбрать зазоры в осевых соединениях с помощью домкрата.

2 Обернуть сварное соединение образца стекловатой и полить ее керосином, охлажденным сухим льдом. Следить за температурой образца по термометру.

3 При достижении температуры, указанной преподавателем, нагрузить образец до разрушения, определить величину номинальных (средних) разрушающих напряжений.

4.5 Содержание отчета

Отчет должен содержать: цель работы, эскизы установки и образцов, расчет величины разрушающих напряжений, вывод.

4.6 Вопросы для самопроверки

- 1 Что такое вязкое, хрупкое и квазихрупкое разрушение стали?
- 2 Факторы, вызывающие хрупкие разрушения стали.
- 3 Конструктивные формы сварных соединений узлов, имеющие склонность к хрупким разрушениям.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Николаев Г. А. Сварные конструкции / Г. А. Николаев, С. А. Куркин, В. А. Винокуров. – М. : Высш. школа, 1981. – 625 с.
- 2 Емельянов О. А. Ремонт металлоконструкций электросваркой / О. А. Емельянов, Г. В. Жемчужников, Э. В. Котенко.– Донецк : Донбасс, 1976. – 78 с.

Навчальне видання

СПЕЦІАЛЬНІ ГЛАВИ МІЦНОСТІ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Методичні вказівки
до лабораторних робіт
для студентів спеціальності 7.05050401
«Технології та устаткування зварювання»
усіх форм навчання

(Російською мовою)

Укладач **ВЛАСОВ Анатолій Федорович**

За авторським редагуванням

Комп'ютерне верстання **О. М. Болкова**

134/2014. Формат 60 × 84/16. Ум. друк. арк. 1,16.
Обл.-вид. арк. 0,8. Тираж пр. Зам. №

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №1633 від 24.12.2003