

## Реферат

Диссертация содержит 131 стр., 30 рисунков, 29 таблиц, и 33 источника.

Ключевые слова: искусственный дефект, образец для сдачи практического экзамена, непровар, пора, трещина, дефектоскопический материал, индикаторный след.

Объектом исследования являются образцы с искусственными дефектами, предназначенные для сдачи практического экзамена по методам неразрушающего контроля.

Цель работы – разработка и исследование методов изготовления искусственных дефектов в образцах для сдачи практического экзамена по методам неразрушающего контроля.

В процессе исследования проводился анализ нормативно технической документации, патентный поиск в области создания искусственных дефектов, разработаны и исследованы искусственные дефекты для капиллярной дефектоскопии, составлены паспорта на образцы.

## Оглавление

Введение .....	3
Глава 2. Обзор способов изготовления искусственных дефектов в неразрушающем контроле .....	5
2.1 Способы создания искусственных дефектов в образцах для ультразвуковой дефектоскопии.....	5
2.2 Способы создания искусственных дефектов в образцах для визуального и измерительного контроля.....	9
2.3 Способы создания искусственных дефектов в образцах для капиллярной дефектоскопии .....	13
2.4 Способы создания искусственных дефектов в образцах для магнитной дефектоскопии .....	18
Глава 3. Практическая реализация способов изготовления искусственных дефектов.....	28
3.1 Способ создания искусственного дефекта типа – пора.....	28
3.2 Способ создания искусственного дефекта – поверхностная трещина .....	31
Заключение .....	33
Приложение А .....	34
Приложение Б.....	52
Приложение В .....	53

## **Введение**

Одной из важнейших задач промышленности является повышение качества продукции. Важным средством решения этой задачи является активное использование неразрушающих методов контроля, как при изготовлении продукции, так и при ее эксплуатации.

Неразрушающий контроль (НК) является главным источником информации о состоянии и безопасности сварных конструкций ответственного назначения (резервуаров, магистральных нефтепроводов и газопроводов, оборудования атомных и тепловых электростанций, корпусов судов, железнодорожного транспорта, городских мостов, химических объектов).

Оценка надежности и достоверности различных систем возможна только по результатам контроля на испытательных образцах, содержащих искусственные дефекты известных размеров, формы и местоположения.

Специалисты неразрушающего контроля, обучаются и сертифицируются для умения находить, распознавать, классифицировать дефекты.

Аттестация проводится в соответствии с правилами ПБ 03-440-02 аттестация персонала в области неразрушающего контроля [16]. В зависимости от подготовки и производственного опыта специалисты аттестуются на определенный уровень квалификации. Аттестованные специалисты могут выполнять неразрушающий контроль только теми методами и тех объектов, которые указаны в их удостоверении.

Дефекты, обнаруживаемые специалистами на тестовых образцах, могут быть в виде естественных несплошностей определенного типа, которые встречаются в ходе реального производства. Когда такой образец, с размером и типом дефекта недоступен, то в таком случае используются изготовленные образцы с искусственными дефектами. Характеристики дефектов, такие как место, размер, форма, тип и ориентация дефекта в тестируемом экземпляре, могут быть определены различными методами неразрушающего контроля.

Например, в ультразвуковом контроле, это ультразвуковой сигнал, отраженный от дефекта, в капиллярном контроле – индикаторный след, в магнитопорошковом контроле – частички магнитной суспензии в местах дефектов и т.п.

Практикуясь на образцах с искусственными дефектами, специалисты НК приобретают высокую степень уверенности в своих силах, что в свою очередь, подразумевает более надежное подтверждение практических умений в дальнейшем во время обучения, сертификационных экзаменов, непосредственно на производстве.

Исходя из поставленной проблемы, целью магистерской диссертацией является исследование и разработка искусственных дефектов по методам неразрушающего контроля для аттестации специалистов на определенный уровень и квалификацию.

## **Глава 2. Обзор способов изготовления искусственных дефектов в неразрушающем контроле**

### **2.1 Способы создания искусственных дефектов в образцах для ультразвуковой дефектоскопии**

Ультразвуковой контроль (УЗК), один из основных методов неразрушающего контроля. Приобрел наибольшую популярность в контроле качества сварных соединений, по сравнению с другими методами контроля качества сварки. Кроме того, для некоторых изделий он стал обязательным.

Суть ультразвукового метода заключается в излучении в изделие и последующем принятии отраженных ультразвуковых колебаний с помощью специального оборудования и дальнейшем анализе полученных данных с целью определения наличия дефектов, а также их эквивалентного размера, формы (объемный/плоскостной), вида (точечный/протяженный), глубины залегания. Параметры выявленных дефектов определяются с помощью ультразвуковых дефектоскопов. [21]

#### **2.1.1 Способ закладки несплошности методом платика**

Платик это изделие, которое применяется для придания закладной детали проектного положения, а также проектного утопления в формируемом материале. Его размеры варьируются от 50мм до 150мм, а толщина от 5мм до 50мм. Форма основания платика может быть различной: круглой, квадратной прямоугольной, эллипсообразной. [22]

Для создания искусственного дефекта в одной из половинок свариваемых деталей в определенном месте фрезеруется плоскодонное отверстие необходимого диаметра. В данное отверстие вставляется платик рис. 1а, такого же диаметра. Платик, изготавливают из наплавленного металла желательнее из той же партии электродов, которыми должен завариваться сварной шов.

Полученный материал устанавливают на кромку детали и обваривают. Толщину платика выбирают, исходя из условия, чтобы при данной технологии сварки не произошло его проплавление. После обварки платика заваривают сварной шов. Размеры платика и будут определять размеры несплошности (в данном случае плоская несплошность типа несплавления кромок). Расстояние между дефектами выбирают по закону случайных чисел. [22] Схема закладки несплошности методом платика показана на рис.1.

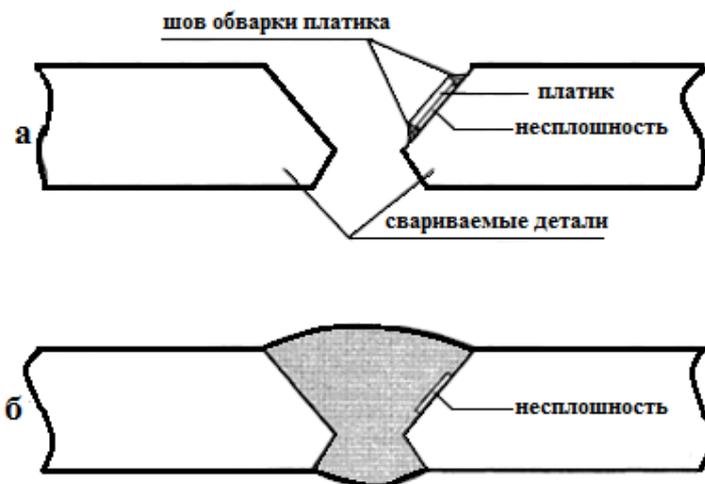


Рисунок 1 – Введение несплошностей в сварной шов методом платика:  
а – приварка платика; б – заварка сварного шва с платиком

### 2.1.2 Способ создания усталостной трещины в образце

Для создания усталостной трещины в образце необходимо с поверхности изготавливаемого образца (рис. 2, а) снять цилиндрической фрезой слой металла определенной глубины (в зависимости от требуемой глубины залегания создаваемого дефекта), оставляя в центральной части перемычки (рис. 2, б) шириной на 2 - 3 мм меньше, чем планируемая длина исходной трещины. В центре перемычек создают острый надрез глубиной 1,5 мм. В результате приложения к образцу переменных нагрузок (консольный или трехточечный изгиб) в надрезах инициируются усталостные трещины (рис. 2, в). На начальном этапе роста они развиваются как поверхностные краевые и

имеют длину, равную ширине перемычек. Под действием циклических нагрузок трещины прорастают через технологические перемычки и углубляются в тело образца. При этом их фронт начинает приобретать форму полуэллипса.

При достижении определенной длины усталостных трещин становятся больше ширины перемычек на 2 – 3 мм. (рис. 2, г). После получения трещин требуемых размеров циклическое нагружение прекращают. Завершением операции является наплавка слоя металла над созданными дефектами. [22]

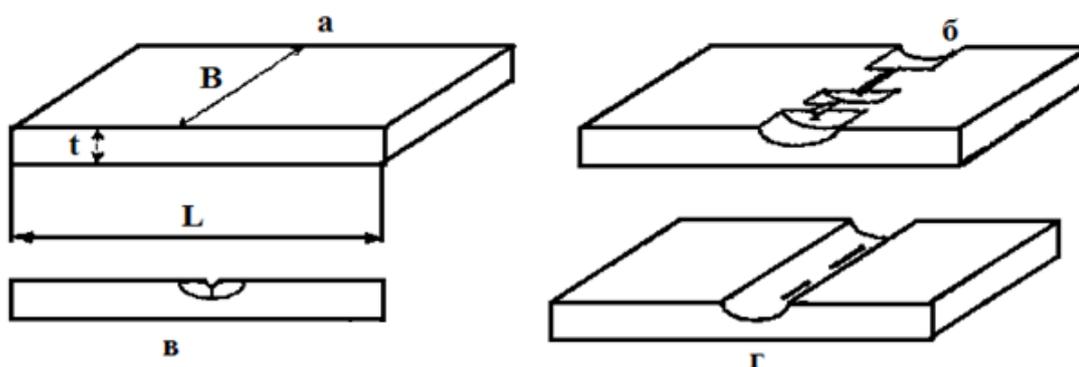


Рисунок 2 – Схема создания усталостных трещин в образце

### 2.1.3 Способ создания искусственного дефекта на наружной поверхности образца с помощью индентора с ножевым выступом

В соответствии с авторским свидетельством 1566265 [23], способ осуществляется следующим образом:

Индентор 1, с рабочим торцом, поверхность которого выполнена в виде цилиндра 2, сопряжен с основанием сфер 3 и 4 и ножевым выступом 5, расположенного вдоль цилиндра 2, образец внедряется в трубу 6, образуя впадину 7 с клинообразным углублением 8. Глубину  $t$  внедрения выбирают из условия  $1,5 < t : t_1 \leq 2$ , где  $t_1$  - высота ножевого выступа 5. При этом вокруг углубления 8, являющегося инициатором возникновения и продвижения трещины, создается зона пластической деформации с наклепом и структурными изменениями. В дальнейшем трубу 6 с таким дефектом нагружают повторно-

статической нагрузкой до возникновения трещины и разрушения трубы, при этом повышается точность, так как дефект, вызывающий трещину, аналогичен дефектам труб, наносимым тяжелой гусеничной техникой при строительстве, транспортировке и складировании труб большого диаметра. [23]

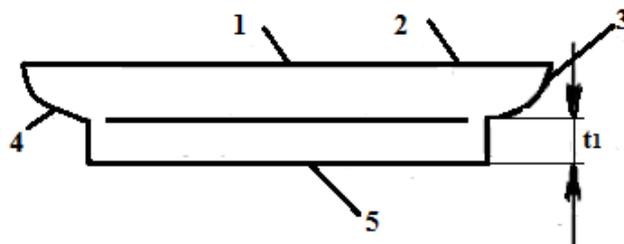


Рис 3 – Индентор – вид сбоку

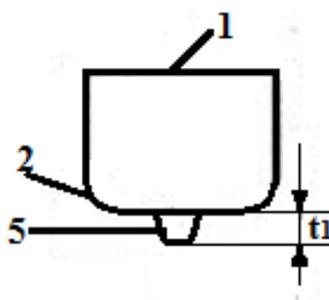


Рисунок 4 – Индентор – вид спереди

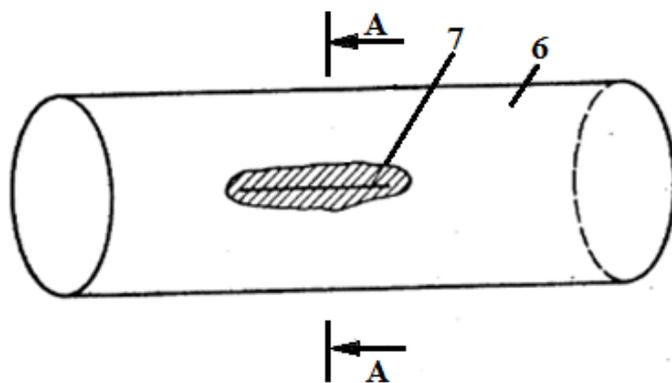


Рисунок 5 – Дефект на трубе

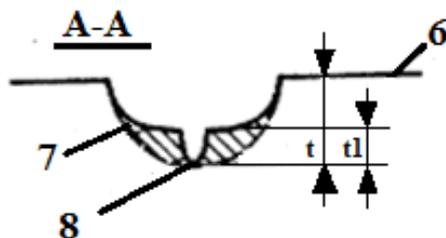


Рисунок 6 – Сечение трубы с дефектом А-А

## **2.2 Способы создания искусственных дефектов в образцах для визуального и измерительного контроля**

Визуальный и измерительный контроль (ВИК) – это один из методов неразрушающего контроля оптического вида. Он основан на получении первичной информации о контролируемом объекте при визуальном наблюдении или с помощью оптических приборов и средств измерений. [1]

Внешним осмотром проверяют качество подготовки и сборки заготовок под сварку, качество выполнения швов в процессе сварки и качество готовых сварных соединений. Как правило, внешним осмотром контролируют все сварные изделия независимо от применения других видов контроля. Визуальный контроль во многих случаях достаточно информативен и является наиболее дешевым и оперативным методом контроля.

Визуальный метод контроля, производится невооруженным глазом или с использованием увеличительных луп до 7×. Позволяет обнаруживать несплошности, отклонения размера и формы от заданных более 0,1 мм при использовании приборов с увеличением до 10×. В сомнительных случаях и при техническом диагностировании допускается применение луп с увеличением до 20×. [1, 5]

Перед проведением визуального контроля поверхность в зоне контроля должна быть очищена от ржавчины, окалина, грязи, краски, масла, брызг металла, и других загрязнений, препятствующих осмотру.

ВИК проводят при помощи измерителей и приборов:

- лупы измерительные;
- штангенциркули;
- линейки измерительные металлические;
- угломеры;
- угольники;
- щупы;
- шаблоны и др.

Визуальный контроль выполняется до проведения других методов контроля. Дефекты, обнаруженные при визуальном контроле, должны быть устранены до проведения контроля другими методами. [1, 4]

### **2.2.1 Способ создания искусственного дефекта типа – кратер**

Возбуждение сварочной дуги производится путем касания торцом электрода поверхности свариваемого изделия с быстрым последующим отводом торца электрода от поверхности изделия. При этом если зазор не слишком велик, происходит мгновенное появление тока и установление столба дуги. При слишком большой скорости сварки, наплавленные валики получаются узкими, с малой выпуклостью, с крупными чешуйками.

Для создания дефекта в сварном шве необходимо медленно перемещать электрод по сварному шву валика, но при этом контролировать подачу тока, для того чтобы не произошло проплавление сварного шва. При слишком медленной скорости перемещения электрода сварной валик имеет слишком большую выпуклость, шов получается неровный по форме, с наплывами по краям.

В конце свариваемой детали необходимо резко оборвать сварочную дугу, вместе, где погасла дуга образуется глубокий кратер рис.7. Кратер может служить показателем глубины проплавления, являющийся концентратором напряжений и зоной с повышенным содержанием вредных примесей. [24]



Рисунок 7 – Дефект сварного шва типа – кратер

### 2.2.2 Способы создания искусственного дефекта типа - подрез

Для создания искусственного дефекта необходимо в свариваемом материале возбудить дугу, растянуть ее и некоторое время удерживать на одном месте для прогрева основного металла. Затем постепенно уменьшать длину дугового промежутка, пока не образуется сварочная ванна соответствующего размера. Она должна хорошо сплавиться с основным металлом до того момента, когда начнется поступательное движение электрода в направлении сварки. В процессе сварки необходимо увеличить силу сварочного тока и перемещать электрод вдоль оси шва с небольшими колебаниями, определяя скорость сварки по формированию валика. Подрез образуется в уменьшении сечения шва и возникновении очага концентрации напряжения рис.8. Устраняют подрезы наплавкой тонкого шва по линии подреза. [8, 9]

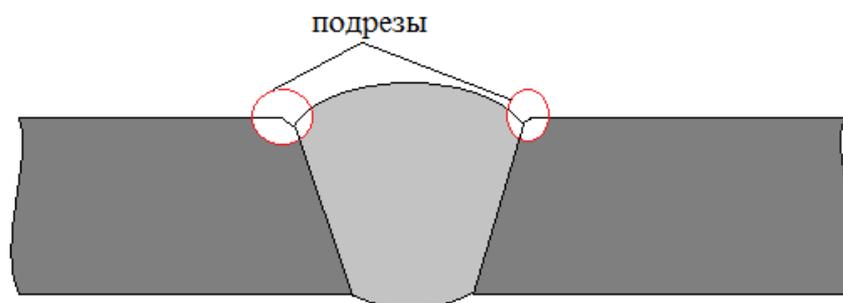


Рисунок 8 – Подрезы сварного шва

### 2.2.3 Способы создания искусственного дефекта типа - непровар

Непровар в корне шва можно получить из-за уменьшения тока, что, приводит к уменьшению глубины провара основного металла. В процессе сварки электрод по сварному шву перемещают медленно, увеличивая напряжения дуги, и изменяют форму шва. Уменьшение скорости сварки может привести к затеканию металла сварочной ванны перед дугой. При этом металл сварочной ванны не сплавляется с холодным основным металлом рис.9. К этому дефекту так же относят незаполнение сечения шва рис.10. Дефект

возникает из-за заниженного сварочного тока, неправильной подготовки кромок, излишне высокой скорости сварки, наличия на кромках свариваемых деталей посторонних веществ (окалины, ржавчины, шлака) и загрязнений. При исправлении нужно вырезать зону непровара и заварить её.

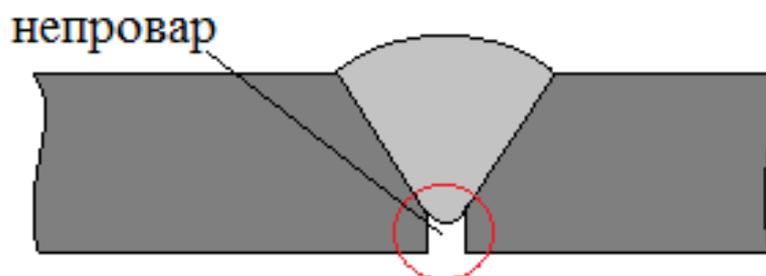


Рисунок 9 – Непровар в корне шва

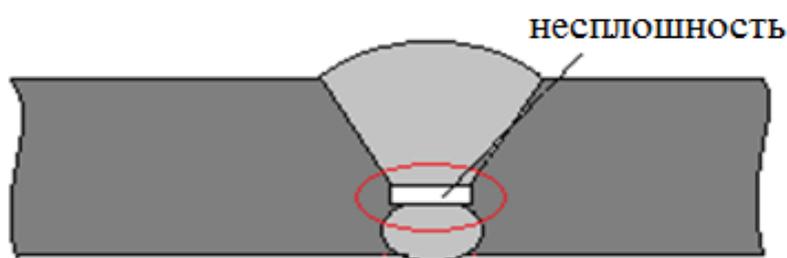


Рисунок 10 – Незаполнение сечения шва

## 2.3 Способы создания искусственных дефектов в образцах для капиллярной дефектоскопии

Капиллярная дефектоскопия – является одним из основных методов неразрушающего контроля и предназначена для обнаружения поверхностных и сквозных дефектов в объектах контроля, определения их расположения, протяженности и их ориентации на поверхности. В соответствии с техническими требованиями в большинстве случаев необходимо выявлять настолько малые дефекты, что заметить их при визуальном осмотре невооруженным глазом практически невозможно. В таких случаях наиболее применим - капиллярный метод контроля. [3]

Капиллярная дефектоскопия позволяет контролировать объекты любых размеров и форм, изготовленные из различных материалов: черных и цветных металлов, сплавов, пластмасс, стекла, керамики и т.п. Капиллярный контроль широко востребован при дефектоскопии сварных швов.

При проведении контроля пенетрант наносится на контролируемую поверхность и благодаря своим особым качествам под действием капиллярных сил проникает в мельчайшие дефекты, имеющие выход на поверхность объекта контроля. Проявитель, который наносится на поверхность объекта контроля после удаления пенетранта, через некоторое время растворяет краситель, который остается внутри дефекта и за счет диффузии вытягивает оставшийся пенетрант на поверхность объекта контроля как показано на рис.11. [3, 4]

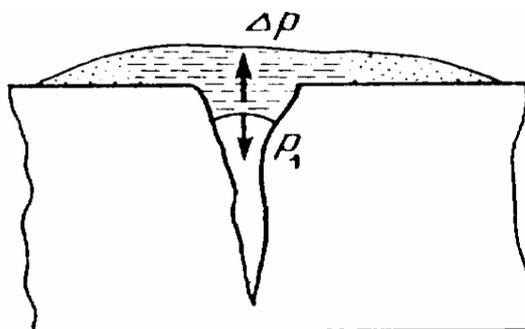


Рисунок 11 – Схема проявления индикаторных следов дефектов

Индикаторные следы в виде линий указывают на трещины или царапины, отдельные точки – на поры.

Индикаторные рисунки, образующиеся при взаимодействии пенетранта и проявителя, либо обладают способностью люминесцировать при воздействии ультрафиолетового излучения, либо имеют цветовую окраску вследствие избирательного поглощения (отражения) части падающих на них световых лучей. Линии индикаторных рисунков имеют ширину от 0,05 до 0,3 мм и высокий яркостный и цветовой контраст с фоном, поэтому рисунок дефекта обнаружить значительно легче, чем сам дефект. Причем обнаружение его тем проще, чем шире индикаторная линия и выше ее контраст с фоном. Индикаторные следы в виде линий указывают на трещины или царапины, отдельные точки – на поры. [4].

### **2.3.1 Способ создания микротрещины путем изгиба азотированного образца**

Согласно авторскому свидетельству №266331 [8] способ изготовления образца для капиллярной дефектоскопии заключается в том что, образец изготавливают в виде пластины определенных размеров и нагружают, создавая в нем зоны концентрации напряжений, вызывающих появление трещин рис. 12. С целью стабилизации глубины получаемых трещин, эталон азотируют на определенную глубину и изгибают его на матрице с помощью пуансона, вызывая появление трещин в азотированном слое.

Недостатком способа является то, что он не обеспечивает необходимой точности изготовления эталонов, так как непостоянство возникающих в образце напряжений вызывает переменную глубину раскрытия в эталоне трещин по их длине; неопределенную плотность распределения трещин на единицу поверхности эталона; кроме того, изгиб эталона в процессе его нагружения приводит к его искривлению (так как он приобретает некоторую

остаточную деформацию), что в свою очередь, приводит к произвольному изменению ширины раскрытия трещин по длине.

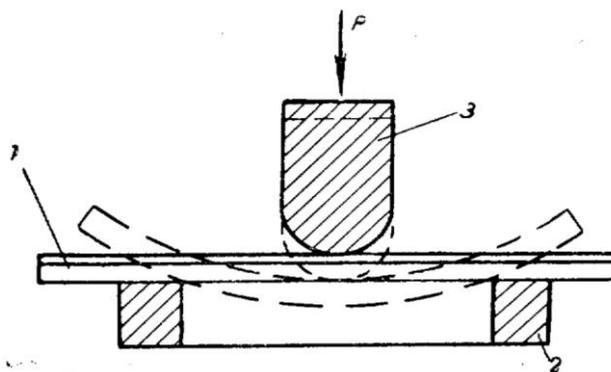


Рисунок 12 – Образец, с дефектами, полученными при изгибе азотированного образца

Образец 1, выполненный в виде пластины, азотируют на определенную глубину и помещают на матрицу 2. Прикладывая к пуансону 3 усилие P, деформируют пластину, вызывая появление в азотированном слое микротрещин рис. 13 [7,8].

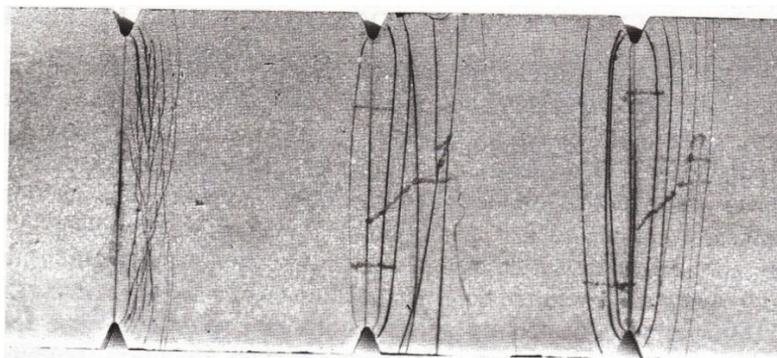


Рисунок 13 – пластина с трещинами, полученными путем изгиба

### 2.3.2 Способ создания искусственной трещины в образце

В соответствии с авторским свидетельством 1539026 [13], для создания искусственного дефекта заготавливается пластина из азотируемой стали с размерами  $50 \times 50 \times 3$ , поверхности которой шлифуется так, чтобы параметр шероховатости поверхности составлял  $Ra = 3..4$  мкм. В середине сверлят проходное отверстие диаметром 5 мм, рис.7. После этого пластина азотируется

(глубина азотирования до 0,7 мм), очищается от окалины мелкой шлифовальной бумагой и кладется на стальное кольцо (внутренний диаметр 30 мм, высота 25 мм, наружный диаметр около 60 мм). На противоположной стороне 20-миллиметровый стальной шар вдавливается с помощью испытательной машины в отверстие с силой около 3 кН, пока треск не укажет на образование трещин в зоне растяжения. Трещины измеряют под микроскопом. Путем повторного надавливания на переднюю или обратную сторону плитки можно управлять раскрытием трещин. Ширина трещин определяется с помощью растрового сканирующего электронного микроскопа при необходимом увеличении. Глубина трещин определяется по поперечным шлифам [8,9].

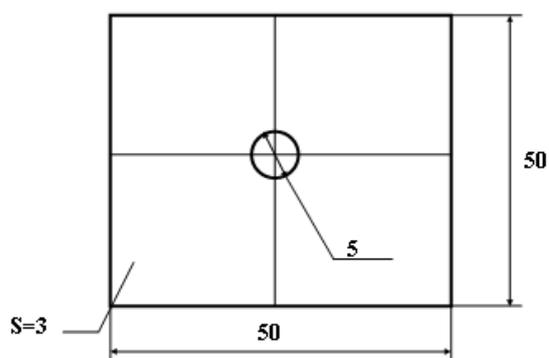


Рисунок – 14 Образец, с дефектами, полученными при изгибе азотированного образца

### 2. 3.3 Способ создания искусственного дефекта типа – пора

Для создания искусственных дефектов в образцах использовался участок трубопровода, на котором выполнена разделка под сварку рис. 15. Полученное углубление (паз), заваривается аргодуговой сваркой с добавлением в сварной шов кусочков медного провода. В процессе сварки происходит несплавление металла и образуются поверхностные дефекты.

Для выявления полученных дефектов, на образцах проводится капиллярная дефектоскопия.

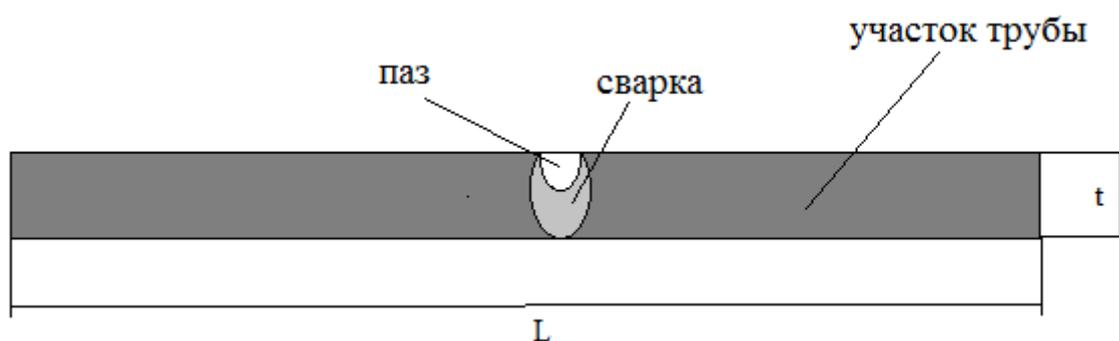


Рисунок 15 – Участок трубы с пазом

### 2.3.4 Способ создания микротрещины путем закалки образца

Для создания микротрещины был взят, корпус высокоскоростного подшипника (кольцевой формы), изготовленный из штамповой стали с габаритными размерами внешнего диаметра 45 мм, внутреннего диаметра 30 мм, толщины 13 мм. Корпус подшипника был подвергнут аустенитизации при температуре 800 °С., с выдержкой в 30 минут, а затем медленно и равномерно охлажден в масле. После закалки образец подвергается шлифованию и проводится капиллярный контроль образца рис.16 [10].



Рисунок 16 – Микротрещина в образце полученная путем тепловой обработки

## **2.4 Способы создания искусственных дефектов в образцах для магнитной дефектоскопии**

Магнитный неразрушающий контроль – метод контроля, в основе которого лежит способность выявления различных магнитных полей рассеяния, возникающих над местом образования дефектов при локальном намагничивании. Индикаторным веществом является порошок с ферромагнитными свойствами или магнитная суспензия. По способу получения первичной информации разделяют на несколько методов магнитного контроля: магнитопорошковый, магнитографический, феррозондовый, эффект Холла, индукционный, пондеромоторный, магниторезисторный. [2]

Наиболее распространенным методом магнитной дефектоскопии является магнитопорошковый метод. При использовании метода магнитопорошковой дефектоскопии (МПД) на намагниченную деталь наносится магнитный порошок или магнитная суспензия, представляющая собой мелкодисперсную смесь магнитных частиц в жидкости. Частицы ферромагнитного порошка, попавшие в зону действия магнитного поля рассеяния, притягиваются и оседают на поверхности вблизи мест расположения несплошностей. Ширина полосы, по которой происходит оседание магнитного порошка, может значительно превышать реальную ширину дефекта. Вследствие этого даже очень узкие трещины можно зафиксировать невооруженным глазом. Регистрация полученных индикаторных рисунков проводится визуально или с помощью устройств обработки изображения. [2]

Магнитопорошковый метод позволяет обнаруживать дефекты:

- производственно-технологические – образующиеся вследствие нарушения или применения устаревшей технологии изготовления деталей и узлов, использования неисправного инструмента, некачественных материалов, либо вследствие низкого уровня квалификации специалистов.

- Эксплуатационные – образующиеся вследствие нарушений установленных правил эксплуатации технических изделий, длительной эксплуатации, сроков и правил выполнения регламентных работ.

#### **2.4.1 Способ создания поверхностного и подповерхностного дефекта**

Согласно авторскому свидетельству [25], для создания искусственных дефектов используется металлическая пластина из ферромагнитного материала толщиной  $H$ . В пластине выполняется отверстие 1 с диаметром  $d$  под втулку 2. Во втулке выполняется сквозное отверстие 3 на глубине  $t$  диаметром  $d_1$  причем  $d_1$  от  $0,1 H$ . Сопряжение между пластиной 1 и втулкой 2 образует поверхностный дефект 4, а отверстие во втулке образует подповерхностный дефект 3 на глубине  $t$ . В дальнейшем поверхность образца шлифуют. Параметр шероховатости  $Ra$  2.5 мкм по ГОСТ 2789-73 [14]. Стрелками 5 и 6 показывается возможное направление магнитных потоков при намагничивании образца. Схема образца с искусственными дефектами представлена на рис. 17.

Образец с искусственными дефектами работает следующим образом. При намагничивании в направлении 5 образуются отложения магнитного порошка в виде двух полумесяцев на поверхностном дефекте 4, а отверстие 3 во втулке 2 образует отложение порошка в виде линии с меньшей контрастностью (контрастность отложения зависит от глубины залегания  $t$ ). При намагничивании в направлении 6 также образуются отложения порошка в виде двух полумесяцев на поверхностном дефекте 4, но отложение порошка от подповерхностного дефекта 3 не образуется, поскольку направление магнитного поля совпадает с направлением дефекта.

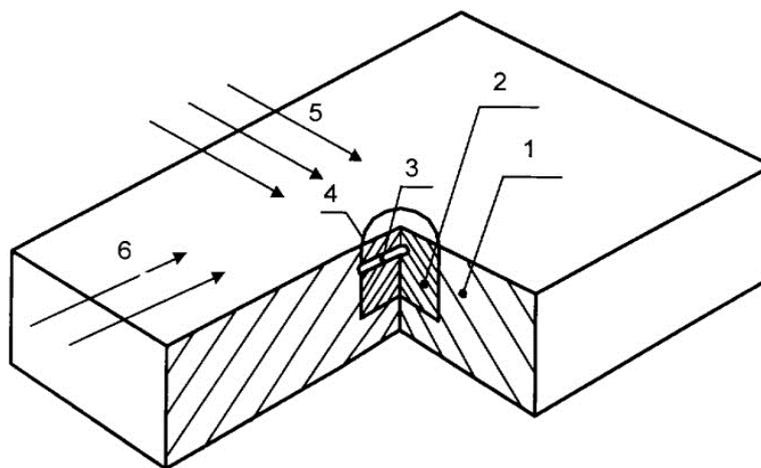


Рисунок 17 – Общий вид образца с искусственными дефектами [25]

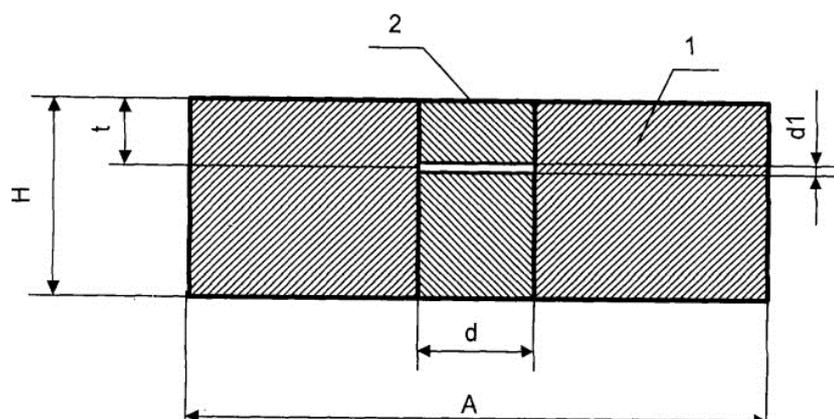


Рисунок 18 – Поперечное сечение образца со сквозным отверстием [25]

Целью создания искусственных дефектов является, расширение возможностей использования данного образца за счет одновременного определения чувствительности магнитных дефектоскопов к поверхностным и подповерхностным дефектам.

#### 2.4.2 Способ создания трещин в образце методом шлифования

Заготовку образца изготавливают из стали У10А по ГОСТ 1435-90 [15] в виде цилиндра длиной 250 ... 300 мм, диаметров 25 мм. Закачивают до твердости 60 ... 63 НКС, затем цилиндрическую поверхность заготовки

шлифуют. На цилиндрическую поверхность электролитическим способом наносят слой хрома толщиной 0,25 ... 0,30 мм (по технологии пористого хромирования).

Цилиндрическую поверхность заготовки шлифуют на глубину 0,1 мм твердым абразивным кругом без охлаждения при поперечной подаче 0,03 ... 0,05 мм на один двойной ход и продольной подаче 1 ... 3 м / мин. При этом в хромовом покрытии и стальной основе заготовки образуются трещины. Далее заготовку подвергают отпуску при температуре 160 ... 180 °С. С поверхности полученного образца электролитическим способом удаляют слой хрома, после чего заготовку разрезают вдоль оси на две части. При этом получают два образца со шлифованными трещинами. [2]

На поверхности образцов выбирают зоны с трещинами, ширина которых близка к минимальным размерам трещин, которые предполагается обнаруживать на контролируемом образце. Примерный размер зон 15 × 40 мм. Ширину трещин в зонах измеряют на металлографическом или измерительном микроскопе.

Полученный образец маркируют и подвергают магнитопорошковому контролю. Индикаторный рисунок выявленных трещин фотографируют либо изготавливают дефектограмму образца. На рисунке 19 приведен образец с шлифовочными трещинами. [2]

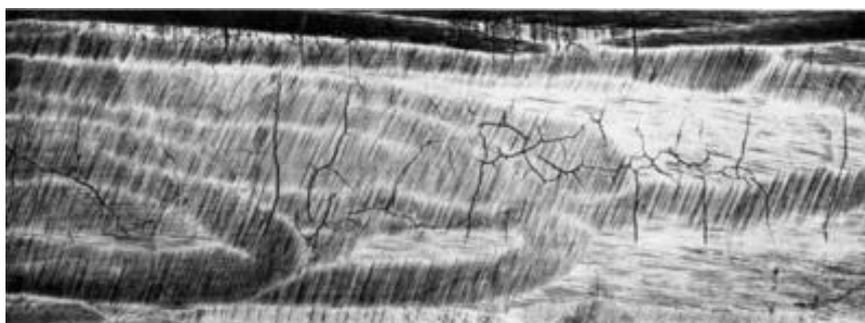


Рисунок 19 – Шлифовочные трещины выявленные магнитопорошковым методом контроля

### 2.4.3 Способ создания искусственных трещин в штамповой стали методом теплового воздействия

Штамповая сталь относится к особому типу высокопрочных сталей, которая производится в основном для инструментов и деталей машин. Штамповая сталь или инструментальная сталь называется так потому, что она изготавливается литьем в форму, а затем закаляется. Такие стали используют в изготовлении обычных инструментов - отверток и гаечных ключей, а также для деталей машин. Добавление углерода и укрепляющих элементов делает ее крайне негибкой.

#### *Термическая обработка:*

Термическая обработка – это процесс, через который проходит сталь для придания необходимых свойств, таких как твердость, прочность и износостойкость. Основными этапами термической обработки для инструментальных сталей являются аустенитизация, закалка и отпуск.

- Аустенитизация – это фаза, в которой молекулы в стали устанавливаются в необходимом порядке. В этом процессе обжигаемая сталь, называемая феррит, нагревается до температуры аустенитизации, выдерживается в течении необходимого времени и преобразуется в аустенит. Кристаллическая решетка стали расширяется, что позволяет углероду и другим элементам встраиваться в нее.

- Закалка — это относительно быстрое охлаждение стали, до температуры ниже критической. Металл должен охлаждаться достаточно быстро. Замороженные элементы обеспечат сталь необходимыми свойствами, такими как твердость и износостойкость. Распространённые методы закалки включают воду, масло, воздух, соляной раствор и вакуум. После закалки, инструмент остается хрупким, поэтому необходимо перед использованием произвести отпуск.

- Отпуск – это процесс повторного нагрева инструмента, после его термической обработки. У этого нагрева множество функций. Это метод

достижения необходимой твердости у инструмента, устранение стресса от закалки, а также превращение оставшегося аустенита в мартенсит.

Способ создания искусственного дефекта в штамповых сталях описан в следующем абзаце.

Для создания поверхностных трещин в образце необходимо взять лист стали с размерами 100×50×10 мм, подвергнуть аустенитизации при температуре 800°С с выдержкой 30 минут. Во время аустенитизации могут сформироваться вмятины или трещины, если сталь сжимать или ронять. После процесса аустенитизации сталь необходимо неравномерно охладить при помощи масла или воды. Неравномерное остывание ведет к разности силы закалки и внутреннему стрессу, что в свою очередь ведет к трещинам. В дальнейшем полученный образец подвергают шлифованию для получения тонких трещин. Из-за магнитной природы инструментальная сталь подходит как для капиллярной дефектоскопии, так и для магнитопорошкового метода контроля.

#### **2.4.4 Способ создания дефекта в нахлесточном сварном соединении**

Согласно авторскому свидетельству 1809377 [26], образец состоит из нижней 1 и верхней 2 планки, а также имитатора сварного шва 3 в виде прямой трехгранной призмы 3. Выполнен из двух металлических планок, которые укладываются друг на друга внахлест, имитатор сварного шва представляет собой прямую трехгранную призму с основанием в виде прямоугольного равнобедренного треугольника, катет которого равен толщине верхней планки. Призма выполнена из стали, идентичной по химическому составу реальному сварному шву, дефект типа непровар выполнен со стороны прямого двухгранного угла призмы. Грани призмы шлифуют и со стороны прямого двухгранного угла перпендикулярно противоположащей поверхности фрезеруется канавка шириной 0,5 мм, глубиной 1,8 мм. Укладывают составные части образца, как показано на рис.20. [26]

Кроме того, призма может быть выполнена полой из термопластичного материала и имеет дефект 4 типа непровар, полость заполнена магнитным порошком 6, а поверхность большей грани призмы выполнена с неровностями 7, идентичными неровностям поверхности реального сварного шва.

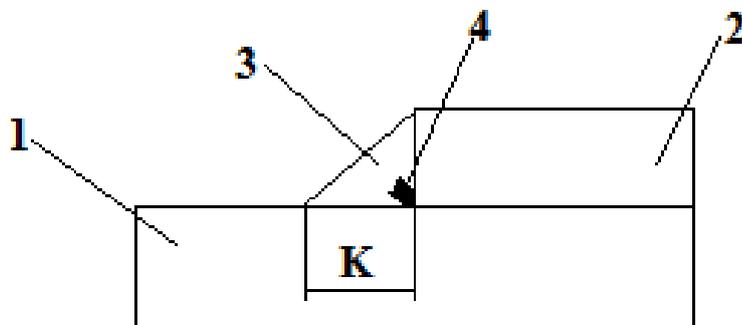


Рисунок 20 – Сечение образца в нахлесточном сварном соединении  
1,2 – пластины, 3 – трехгранная призма, 4 – непровар,

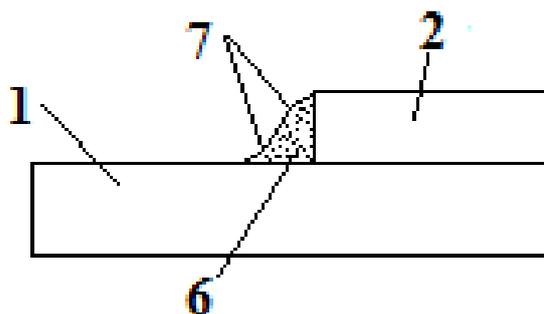


Рисунок 21 – Сечение образца в нахлесточном сварном соединении  
1,2 – пластины, 7 – неровности сварного шва, 6 – магнитный порошок

Данный способ относится к области магнитной дефектоскопии и может быть использован для контроля нахлесточных сварных соединений.

Целью изобретения является повышение достоверности магнитного контроля нахлесточных сварных соединений.

#### 2.4.5 Способ создания искусственного дефекта электроэрозионным методом

Согласно авторскому свидетельству 1810805 [27], образец содержит основу произвольной формы, например пластины 1 с круглым отверстием, в которое запрессована вставка 2 заподлицо с рабочей поверхностью основы. Пластина 1 и вставка 2 выполнены из одной и той же стали, которые находятся в одинаковом термическом состоянии. На стороне вставки, выходящей на рабочую поверхность основы, выполнены две взаимно перпендикулярные прорези шириной  $T$  и глубиной  $L$ . Выполнение двух взаимно перпендикулярных прорезей позволяет с помощью одного стандартного образца проверять выявляемость дефектов различного направления, если они расположены под углом  $(90\pm 30)^\circ$  относительно направления намагничивания.

Часть вставки 2, содержащая прорези, имеет диаметр  $D1$  больше диаметра  $D2$  круглого отверстия в пластине 1 и остальной части вставки. Длина 1 части вставки диаметром  $D1$ , составляет  $(0.5-0,7)L$ . После того, как вставка 2 запрессовывается в круглое отверстие пластины 1, на вставке образуется выходящий на рабочую поверхность основы искусственный дефект в виде двух взаимно перпендикулярных прорезей, ширина раскрытия которых определяется по формуле 4

$$t = T - (D1 - D2) \quad (4)$$

где  $(D1 - D2) \leq T$

Таким образом на рабочей поверхности образца создается искусственный дефект, имеющий заданную ширину раскрытия  $t$ , которая меньше ширины  $T$  прорезей на вставке, выполненных электроэрозионным способом до запрессовки ее в отверстие на пластине 1. Ширина искусственного дефекта на поверхности образца определяется превышением диаметра  $D1$  вставки 2 относительно диаметра  $D2$  отверстия на пластине 1 при обязательном выполнении условия  $D1 - D2 \leq T$ . Чем больше диаметр  $D1$  отличается от диаметра  $D2$ , тем меньше ширина раскрытия искусственного дефекта вставки

2, запрессованной в отверстие пластины 1. Минимальное значение ширины раскрытия дефекта, практически равное нулю, получается при равенстве  $D1 - D2 = T$ . Для деформации части вставки 2, длина  $l$  части вставки рис.22, имеющей диаметр  $D1$ , должна быть меньше глубины прорезей  $L$  и составлять  $(0,5-0,7)L$  в зависимости от свойств материала образца. Чем выше твердость материала вставки 2, тем больше глубина прорезей. Глубина прорези  $L$  должна превышать длину  $l$  вставки большего диаметра  $D1$ . Для образцов, выполненных из твердых термоупрочненных сталей, должно выполняться условие  $l \sim 0,5L$ . Для образцов, выполненных из мягкой стали, находящейся в отпущенном или нормализованном состоянии, достаточно выполнение соотношения  $l \sim 0,7L$ . [27]

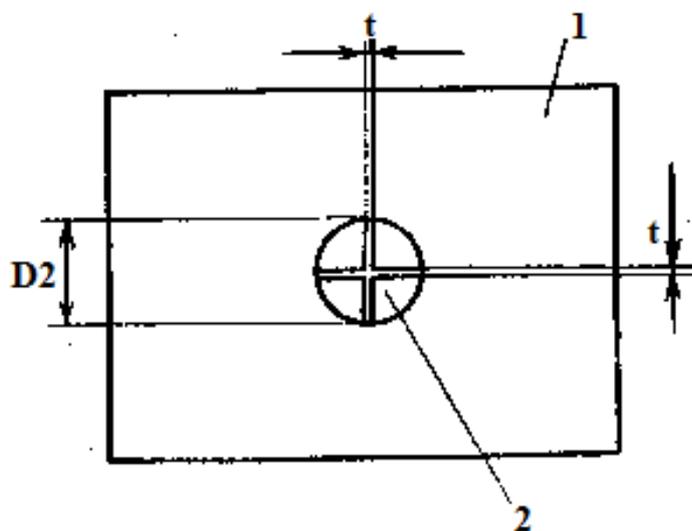


Рисунок 22 – Образец с рабочей поверхностью [27]

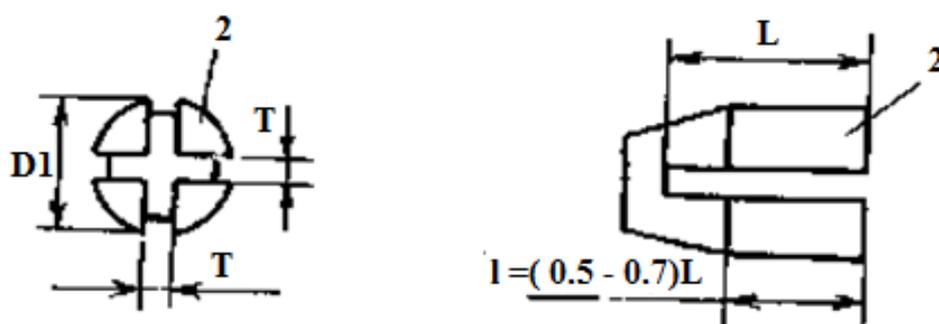


Рисунок 23 – Вставка с прорезями выполненная электроэрозионным способом [27]

Данный способ относится к неразрушающему контролю качества изделий, а именно к магнитному контролю дефектов типа несплошности в ферромагнитных изделиях, и может быть использовано в различных отраслях машиностроения. Целью изобретения является расширение области использования за счет определения направленности магнитного поля и повышения достоверности контроля дефектов в металлоизделиях за счет выполнения прорези требуемой ширины. [27]

Образец с искусственным дефектом в виде двух взаимно-перпендикулярных прорезей позволяет имитировать дефекты различного направления на объектах контроля произвольной формы, что является большим преимуществом предлагаемого образца, так как в магнитной дефектоскопии режим намагничивания, определяющий выявляемость дефектов, в значительной степени зависит от формы и габаритов контролируемого изделия.

Изготовление на данном образце искусственных дефектов заданной ширины раскрытия представляет возможность оценки выявления дефектов в зависимости от их ширины, что позволяет использовать образцы не только для проведения контроля средствами магнитопорошковой дефектоскопией, но и применять образцы для проведения метрологической аттестации. [27]

## Глава 3. Практическая реализация способов изготовления искусственных дефектов

### 3.1 Способ создания искусственного дефекта типа – пора

Для создания искусственных дефектов в образцах используется участок трубопровода, на котором выполнена разделка под сварку (см. рис.15, глава 2). Полученное углубление (паз), заваривается аргодуговой сваркой с добавлением в сварной шов кусочков медного провода. В процессе сварки происходит несплавление металла и образуются поверхностные дефекты.

Для выявления полученных дефектов, на образцах была проведена капиллярная дефектоскопия. Данные дефекты были расшифрованы согласно ГОСТ 18442-80 [5], ширина раскрытия дефекта определяется по X координате, а высота по Y. Полученные результаты приведены на рисунках 24, 25, 26 и в таблицах 1,2,3.

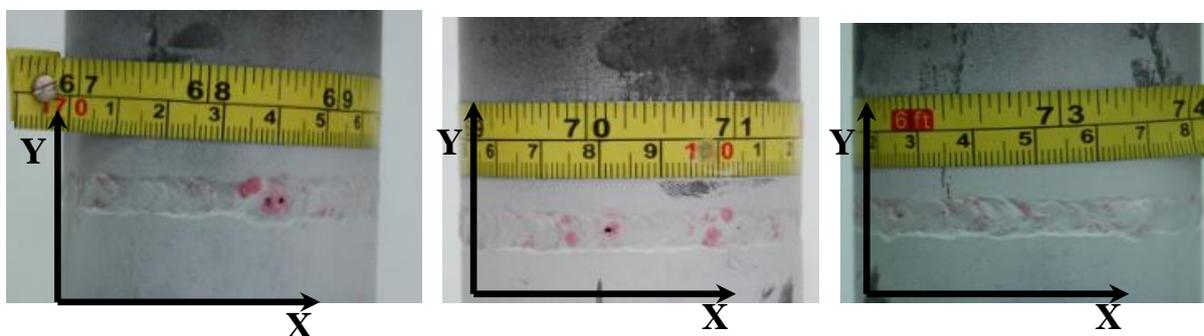


Рисунок 24 – Фотографии образца с дефектами

На образце № 107 после капиллярной дефектоскопии выявлено 4 поры, размеры и координаты которых были измерены при помощи линейки и рулетки. Длина дефекта измерялась по X координате, а высота по Y. Дефекты под номерами 1,2 и 4 имеют округлую форму, так как отношение  $X/Y \leq 3$  мм, ГОСТ 18442-80 [5], а дефект под номером 3 имеет размер 3,1 мм и приближен к трещине. В таблице 1 приведены координаты и размеры дефектов.

Таблица 1 – Размеры дефектов образца № 107

№ дефекта	Тип индикации	Координаты дефекта, мм				Размеры X/Y
		Xн	Xк	Yн	Yк	
1	A 2,0 ○	37	39	69	70	2,0
2	A 1,5 ○	40	41,5	69	70	1,5
3	A 3,0	80,5	83,5	70	71	3,0
4	A 1,0 ○	104	104,5	70	70,5	1,0



Рисунок 25 – Фотографии образца с дефектами

На образце № 109 после капиллярной дефектоскопии выявлено 5 пор, размеры и координаты которых были измерены при помощи линейки и рулетки. Длина дефекта измерялась по X координате, а высота по Y. Дефекты под номерами 1,2 и 4,5 имеют округлую форму, так как отношение  $X/Y \leq 3$  мм, ГОСТ 18442-80 [5], а дефект под номером 3 имеет размер 3,3 мм и приближен к трещине. В таблице 2 приведены координаты и размеры дефектов.

Таблица 2 – Размеры дефектов образца № 109

№ дефекта	Тип индикации	Координаты дефекта, мм				Размеры X/Y
		Xн	Xк	Yн	Yк	
1	A 1,5 ○	7,5	9	71	72	1,5
2	A 0,5 ○	21,5	22	70	70,5	0,5
3	A 3,5	72	75	71	72	3,5
4	A 1,5 ○	76,5	77	72	72,5	1,5
5	A 0,5 ○	107	107,4	69	69,5	0,5

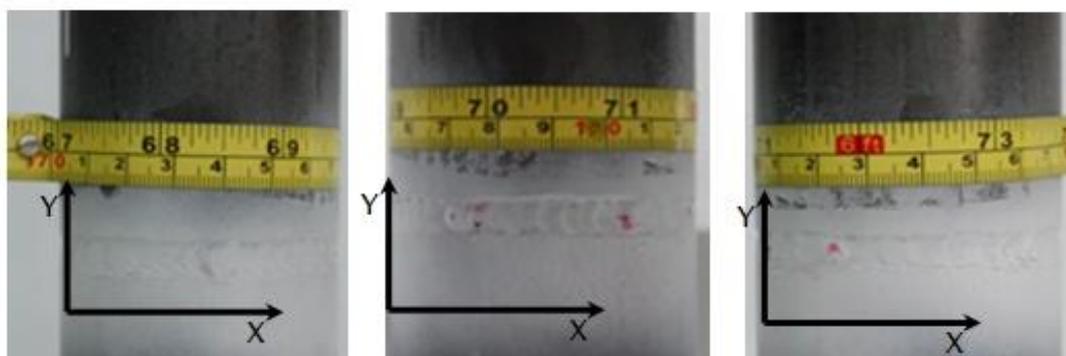


Рисунок 26 – Фотографии с дефектами образца № 110

После проведения капиллярного контроля, дефекты были расшифрованы тем же способом, который был описан выше. На образце проявилось 3 дефекта округлой формы согласно ГОСТ 18442-80 [5]. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Размеры дефектов в образце № 110

№ дефекта	Тип индикации	Координаты дефекта, мм				Размеры X/Y
		X <sub>н</sub>	X <sub>к</sub>	Y <sub>н</sub>	Y <sub>к</sub>	
1	A 0,5 ○	71	71,5	67	68	0,5
2	A 1,5 ○	76	77,5	68	69	1,5
3	A 1,5 ○	76	77,5	64	65	1,5

На данные образцы были составлены паспорта с указанием координат и размеров дефекта. На образцах имеются как допустимые так и не допустимые дефекты в зависимости от выбранного НТД по оценки качества. Один из паспортов приведен в приложении Б.

### 3.2 Способ создания искусственного дефекта – поверхностная трещина

Для создания поверхностной трещины был использован лист стали размерами 100×50×10 мм. На данном образце выполняется разделка под сварку. Данное углубление заваривалось аргонодуговой сваркой с добавлением в сварной шов медного провода. Во время сварки, медь расплавляется вместе с присадочным прутком и осаждается в сварочном углублении в различных местах. После сварки образец был подвергнут нагрузке, как показано на рис.27

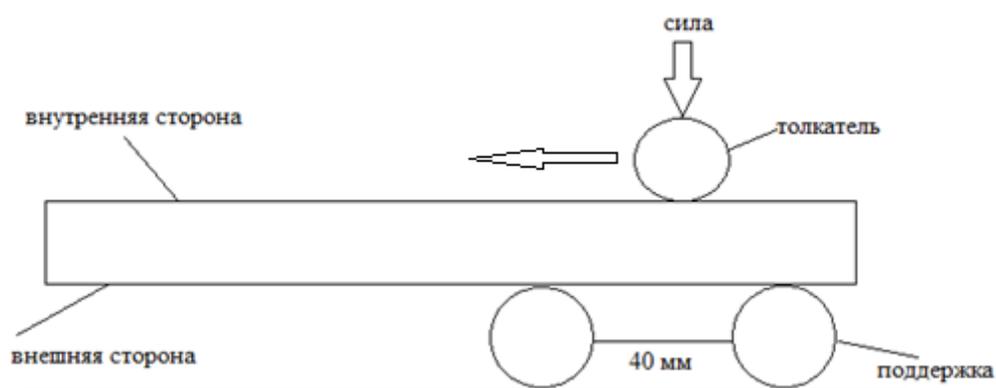


Рисунок 27 – Загиб лицевой поверхностью шва наружу

Количество изгибов влияет на величину и ширину трещин. Чем больше число изгибов, тем больше количество трещин и их ширина раскрытия.

В данном испытании был использован только один изгиб образца. После нагрузки образец был подвергнут шлифованию. Полученный образец представлен на рис. 28.



Рисунок 28 – Образец с поверхностными трещинами № 16

На изготовленном образце была проведена капиллярная дефектоскопия, в результате которой проявились 2 трещины.

На образец составлен паспорт, в котором указана длина индикаторных следов. Паспорт приведен в приложении В.

## **Заключение**

В ходе написания магистерской диссертации были рассмотрены правила по аттестации специалистов неразрушающего контроля. Исследованы авторские свидетельства по изготовлению искусственных дефектов в образцах, применяющихся в различных методах неразрушающего контроля (ВИК, УЗК, МПК, ПВК).

На основе проведенного исследования были разработаны образцы с искусственными дефектами для капиллярной дефектоскопии. Для выявления дефектов была проведена цветная капиллярная дефектоскопия, вследствие чего индикаторные следы на образцах показали наличие поверхностных дефектов, а именно пор и трещин. На образцах содержатся как допустимые, так и не допустимые дефекты в зависимости от выбранного НТД по оценке качества.

В качестве документа содержащего в себе информацию о типах дефектов были составлены паспорта на образцы. Паспорт содержит иллюстрацию образца с проявленными индикаторными следами, а так же данные о размерах индикаторных следов и координатах дефектов.

Разработанные в ходе выполнения магистерской диссертации образцы могут быть использованы в лабораторных работах по курсу «контроль проникающими веществами» на кафедре ФМПК ИНК ТПУ. Так же разработанные образцы могут использоваться в аттестационных центрах для обучения специалистов по курсу ПВК.

В дальнейшем планируется изготовление универсальных образцов с искусственными дефектами, которые могут быть использованы одновременно как средство для аттестации специалистов по всем методам неразрушающего контроля.

# Приложение А

## Раздел 2

### Способы изготовления искусственных дефектов

### Methods of producing artificial defects

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<b>1БМ4А</b>	<b>Проничев Егор Алексеевич</b>		

Консультант кафедры ФМПК :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Доцент</b>	<b>Калиниченко Николай Петрович</b>	<b>к.т.н. доцент</b>		

Консультант – лингвист кафедры ИЯФТ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>доцент</b>	<b>Устюжанина Анна Константиновна</b>	<b>к.фил.н.</b>		

## **Methods for producing artificial defects**

### **Introduction**

Today, with the growing demands for quality, reliability, safety and remaining life prediction of components, non-destructive testing personnel are entrusted with more responsibility than ever. NDT experts performing test, undergo rigorous training and are required to pass certification examinations as per the schemes stipulated by the national or international standards prevailing in the respective country. For renewal or revalidation of a certificate, which is valid only for a limited period, it becomes necessary for NDT personnel to keep their NDT knowledge up to date. Above and all certain industry also wants to check the proficiency in the respective industrial sector and therefore NDT personnel are trained to detect and characterize the associated natural defects rather than artificial defects. Welding being the most popular industrial sector and crack being the most severe defect. [10]

A reliable method for the non-destructive inspection system verification and the acceptance of the flaw detected by the system is the use of actual or representative test parts containing natural discontinuities of the type and severity normally encountered during the actual production. When actual or representative test parts containing natural discontinuities of the type, location and size needed for evaluation are not available or impractical then fabricated test part with artificial discontinuities such as flat bottom holes, slots, notches, side drilled holes etc. or commercially available defect sample may be used for evaluating the flaws and the performance of the NDT system. Characteristics, such as location, size, shape, type and orientation of a natural flaw in the test specimen can be determined easily if its signal is compared to that from an artificial flaw which simulates it in all aspects. To some extent, notches represent surface opening flaws like cracks, lap, seam etc. Flat bottom holes are representative of embedded flaws like inclusions, laminations etc, whereas linear flaws inside the materials are represented by side drilled holes.

Besides system verification, defect samples are also used for checking and certifying the practical skill of the NDT personnel. Use of representative test parts with natural discontinuities are considered to impart high level of confidence to the NDT personnel and therefore, day by day, their use is considered more reliable for certifying the practical skills of NDT personnel during training and certification examination. Various standards and codes applicable for NDT certification courses being followed in different countries are making the use of such defect samples compulsory during training and examinations.

## **2. How to create defects for ultrasonic testing**

Ultrasonic inspection (USI) , one of the main non-destructive testing methods. It gained the greatest popularity in the quality control of welded joints, as compared to other methods for quality control of welding . In addition, it has become mandatory for some products. [21]

The essence of the ultrasonic method is radiation in the product and the subsequent adoption of the reflected ultrasound using special equipment , and further analysis of the data to determine the presence of defects , as well as their equivalent size, shape (volume / plane ) , type ( dot / extended ) , depth occurrence.

### **2.1 Method tab by discontinuities plastik**

Platik is manufactured, which flies applied to make the mortgage detail design position, as well as the project of drowning in formiruemom material. Its sizes range from 50mm to 150mm and thickness from 5mm to 50mm.

This material is used for ultrasonic flaw detection creation artificial defect and its subsequent finding. A method of creating these defects is described in the next paragraph.

Platik, made from weld metal is more desirable from the same batch of electrode , which should be brewed weld. The resulting material is set to the edge details and scald. The thickness platika selected based on the condition that if this did not happen technology welding the plug penetration. After welding platika brewed weld. Dimensions platika and will determine the size of discontinuity (in this case flat lack of adhesion type lack of fusion). The distance between the defects is selected according to the law of random numbers. Bookmark discontinuity circuit is shown in figure 1. [22]

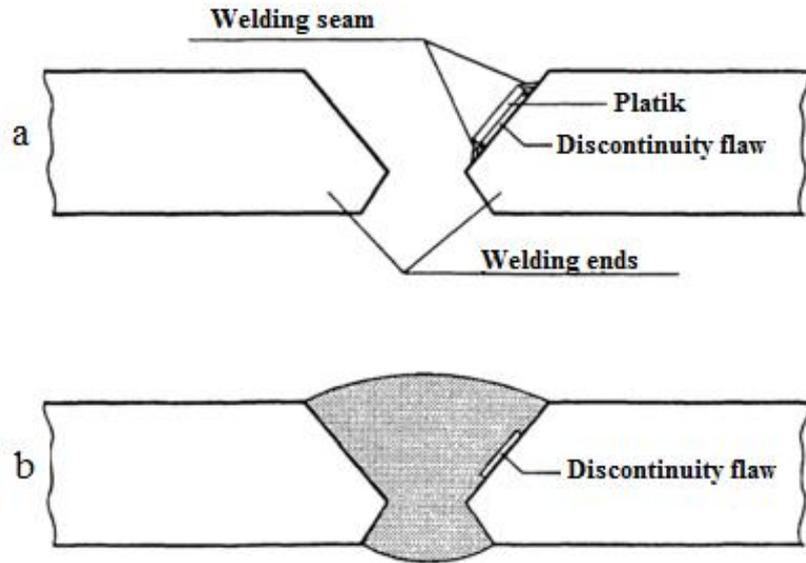
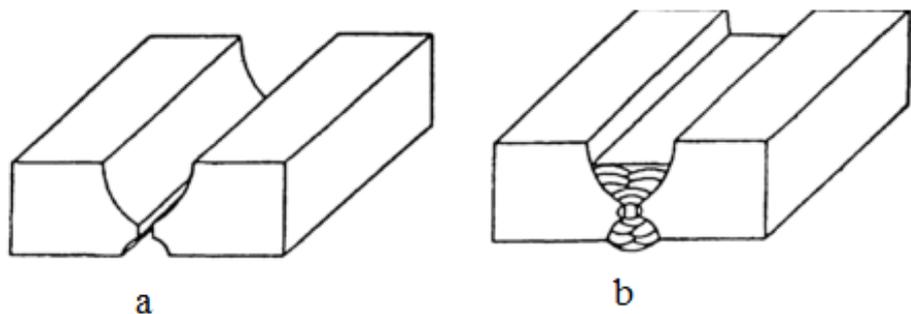


Fig. 1 – Introduction discontinuity flaw in welding seam approach platik  
 a – weld platik, b - cleft welding

## 2.2 Method receipt artificial flaw in specimen

The invention relates to nondestructive testing methods and can be used in ultrasonic testing for certification specialists.

Fatigue crack can be obtained as follows. Weld brewed part (figure 2b). Then, in the weld metal and make the stress concentrator application cyclically varying load grown crack right size fatigue (figure 2 g). After that, the weld is fully brewed.



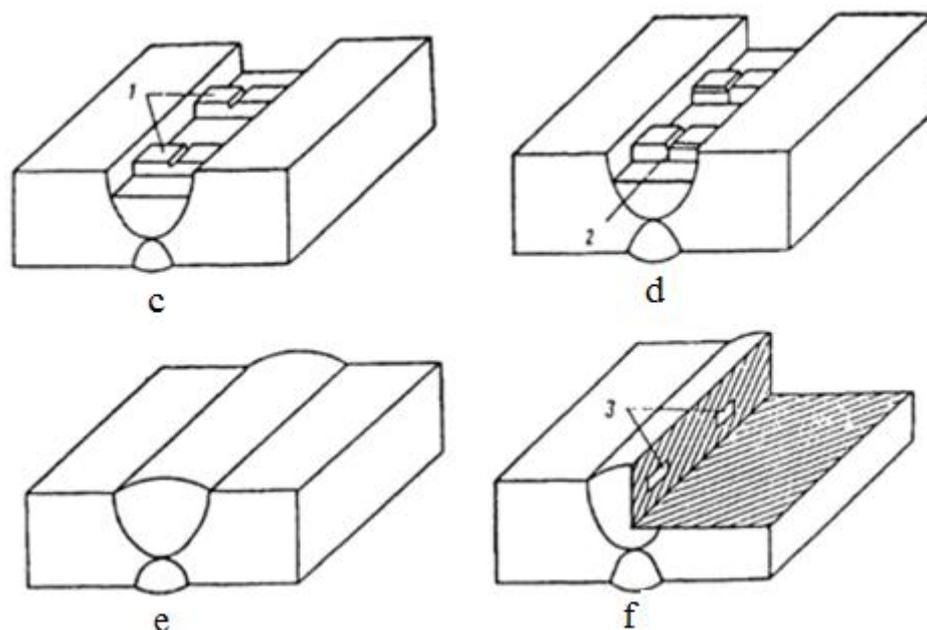


Fig. 2 – The sequence of introduction of a test sample of fatigue cracks:  
 a – welding edge; b - partial welding weld; c – powered tooling; e – complete the melting of the weld; f – fatigue cracks in the weld.

### 2.3A method for creating an artificial defect on the outer surface of the sample via an indenter with knife protrusion

The present invention relates to methods of non-destructive testing, in particular to methods of creating artificial defect in front - test of the static load.

The method is as follows: The indenter 1 with a working butt , superficially which is a cylinder 2 , are associated with him base areas 3 and 4 and knife projection 5, blade disposed along the cylinder 2 , the sample introducing pipe 6, by forming cavity 7, arrow-headed deepening 8. The depth of the conditions of implementation choose  $1,5 < t: t1 \leq 2$  where  $t1$  - the height of the blade protrusion. At the same time around the recess 8, are initiated the emergence and promotion of cracks created by plastic deformation area with hardening and structural changes by appropriate arise in practice. Subsequently, the pipe 6 with a defect load re - static loading before the fracture and fracture of the pipe, thus increasing the etsya accuracy

as a defect that causes a crack, similar to defects in pipes , inflicted heavy tracked vehicles in the construction , transport and storage of large diameter pipes. [23]

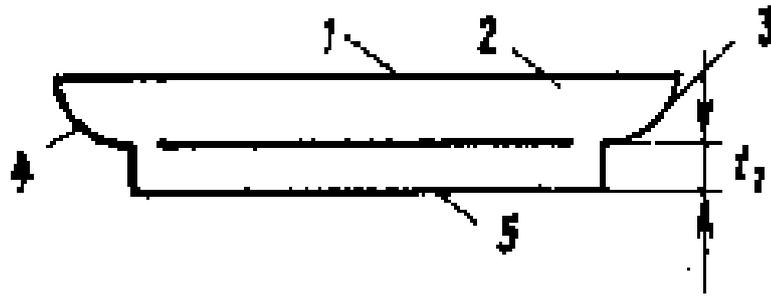


Fig. 3 – Indenter, side view

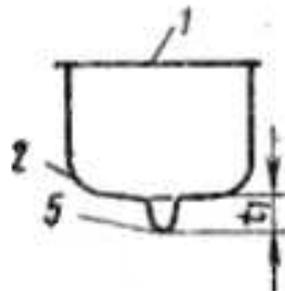


Fig. 4 – Indenter, front view

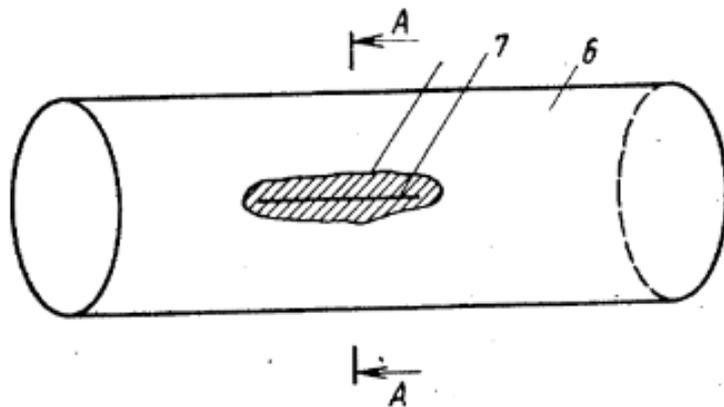


Fig. 5 – Defect on the pipe

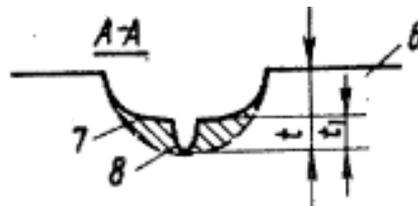


Fig. 6 – Pipe section A-A

## 2.4 Welding Discontinuity

Any weld containing two different materials with different cooling rates may develop crack after solidification. During welding of SS 304 plates by GTAW process, Titanium or Copper wire were used along with filler material of ER 308L grade. In both the cases cracks open to the surface were developed, however several trials were made to optimize the size of cracks. Detail procedure adopted is described in the subsequent paragraph. [10]

Natural Defect by Welding Process: Initially 3.3 mm thick SS 304 plates having square butt joint were welded by GTAW technique as per the parameters given in Table 1. Using grinder, 'U' groove for a considerable length was made on the weld face wherever cracks were required to be developed, Figure . After proper cleaning, groove was filled with filler material ER 308L. Titanium wire of 1.6 mm diameter was wrapped around the rod of ER 308L at three locations, as shown in Figure 8. During welding, Titanium wire also melts along with the filler rod and gets deposited in the weld pool at different locations which depends upon the speed of welding and the width of the groove to be filled up. Hence spacing between two consecutive winding on the rod depends upon the locations of cracks expected on the weld sample. Number of turns in each winding controls the magnitude and width of the cracks. Higher the number of turns, more the number of cracks and wider the openings. With three to four turns of the Titanium wire, cracks obtained were so wide that they were visible and during liquid penetrant test no sharp indication was formed due to profound bleeding. Weld zone becomes so brittle that even a small tapping is able to detach it from the parent material. Such types of cracks can be removed by grinding and refilled using less number of turns of Titanium wire.

In one of the trials only one turn of Titanium wire was used, however no crack was visible even during liquid penetrant test. To generate fine transverse cracks, bending load was applied on the root side as shown in figure 7, so that face of the weld is subjected to tensile stress and becomes convex. For generating longitudinal cracks the bending shall take place in the plane perpendicular to the weld

axis. Sometime during bending, crackling can be heard due to formation of cracks. Magnitude and width of crack can be controlled by the extent of successive forward and reverse bending applied to the sample.

Similar trials were done using Copper wire instead of Titanium wire and the cracks produced were very fine and of less magnitude. However, due to appearance of copper colour on the weld, it was possible to guess the locations of the cracks. This problem is more pertinent if more Copper is used. To some extent this can be minimized by proper grinding the weld surface in which copper colour is merged with the adjacent weld material.

Samples with surface opening cracks are more suitable for liquid penetrant test and therefore, one has to exercise proper control during the generation of cracks for getting well defined fine indications. Defect samples described above is also suitable for the practical examination in the radiographic test method because of low exposure time required for 3.3 mm thick plate. Normally for angle beam ultrasonic testing, weld samples are thick (10 to 18 mm) and subsurface cracks being more difficult to detect, are preferred for training and examination. In a thick sample requiring multipass welding, subsurface cracks can be created using filler rod with copper winding during one of the intermediate welding passes. Since cracks are buried inside the subsequent pass it does not require any control as far as width of the crack is concerned. However, because of the different material such as titanium or copper, some time ultrasonic signal from cracks is also accompanied with noise.

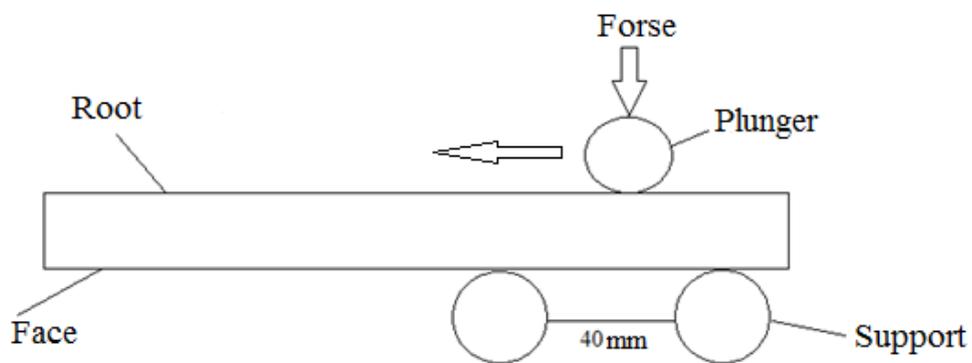
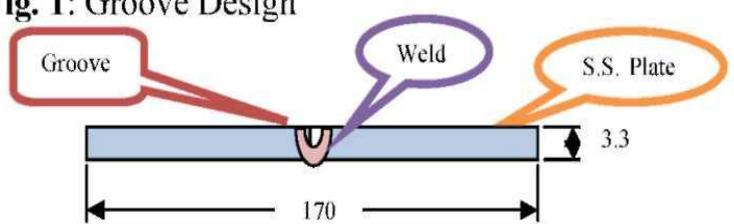
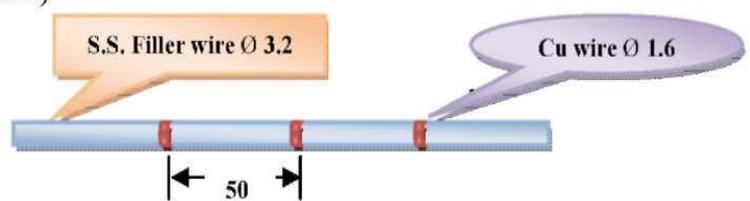


Fig.7 Face banding

Table 1: Welding Parameters

S. No.	Parameters	Details
1.	Base metal	S.S. 304
2.	Product form	Plate
3.	Thickness	3.3 mm
4.	Groove Design	<p><b>Fig. 1: Groove Design</b></p> 
5.	Type of groove	'U' groove on the weld using grinder
6.	Filler rod	<p><b>Fig. 2: ER 308L filler rod with Cu or Ti wire (single turn)</b></p> 
7.	Size of filler rod	Ø 3.2 mm
8.	Backing	Yes, Copper
9.	Welding process	GTAW
10.	Welding position	1 G
11.	Shielding gas & flow	Argon, 15 liter per minute
12.	Type of current	DCSP
13.	Current & Voltage range	100 Amps, 12-13 Volts
14.	Welding speed	45 - 50 mm/min.
15.	Type of Tungsten	Rare earth, Ø 2.4 mm
16.	Gas cup size	6 no. (12 mm)

## **2.5 Heat Treatment Discontinuity**

Tool Steel refers to a variety of carbon and alloy steels that are particularly well-suited to be made into tools. Their suitability comes from their distinctive hardness, resistance to abrasion, their ability to hold a cutting edge, and/or their resistance to deformation at elevated temperatures (red-hardness). With carbon content between 0.7% and 1.5%, tool steels are manufactured under controlled conditions to produce the required quality.

Die steel is a specific type of high-strength steel that is produced primarily for tools and machine parts. It is called die steel or tool steel because it is formed in one whole piece with a mold and then hardened. These die steels are used for common tools like screwdrivers and wrenches and for machine parts. The additions of carbon and strengthening elements makes die steel highly inflexible.

Steel in the annealed condition will have hardness less than 20 on the Rockwell "C" scale. Most tooling applications require that the steel be hardened by heat treatment to RC hardness of 45 or higher in order to provide the required properties.

**Heat Treatment:** Heat treating is the thermal process that steel must go through in order to acquire the desired properties, such as hardness, toughness and wear resistance that make it useful. The chemical composition of the steel determines the level of each of these properties. The major heat treatment processes followed for the tool steels are - Austenizing, Quenching and Tempering.

Austenizing is a phase change where the steel arranges the molecules into a useful order. In this process, annealed steel called ferrite is heated to the austenizing temperature, held for a given amount of time and transformed to austenite. The matrix of the steel is expanded which allows the carbon and other elements to embed into the matrix.

Quenching is the relatively rapid cooling of the steel to a point below its critical temperature. It must pass through this range at a fast enough rates to trap the carbon and other elements within the steel matrix. These trapped or frozen elements provide the tool steel with the desired properties such as hardness and wear resistance. Common methods of quenching include water, oil, air, salt brine and vacuum. Each quenching method cools the steel at a different rate. Water is the fastest method and still-air is the slowest method.

Once a tool has been hardened, it is brittle and must be tempered before using it. Tempering is the process of reheating a tool after it has been heat treated. This reheating serves many functions. It is the method of attaining the proper hardness in the tool, relieving the stress from the hardening process and transforming any retained austenite to martensite.

Following points were basis for creating cracks in tool steels during heat treatment process.

a) During austenizing, dents or cracks may form if tool steel is squeezed, dropped or mishandled as they are soft at the elevated temperature.

b) Water quenching is too fast for most grades of tool steel and will cause cracking.

c) During quenching, the tool should be lowered into the cooling medium quickly to attain an even quench rate from the top to the bottom of the tool. Uneven quenching will cause differences in hardness and internal stresses, which could cause cracking.

d) The primary purpose of tempering is to relieve the stress that is induced during the austenizing due to volume change and subsequent quenching process. The tool, under tremendous stress would crack while in service, if not tempered properly.

e) Regardless of the quenching method used, no tool should be allowed to cool to room temperature. Cracking could occur if the tool cools to room temperature before tempering.

f) Die steels, like other carbon steels, are more likely to crack and split under great strain instead of bending.

Natural Defect by Heat Treatment Process: In one of the heat treatment processes, high speed bearing case (ring shape), made of die steel having overall size of OD 45mm x ID 30mm x thickness 13mm was subjected to water quenching instead of oil quenching. As a quality control check, rings were examined by wet fluorescent magnetic particle test and number of cracks was found on the surface at different locations. Another sample of die steel material in the form of plate of size 100 x 50 x 10mm, were subjected to Austenizing at 8000C with soaking time of 30 minutes, followed by an uneven slow oil quenching. Steels were allowed to cool to room temperature and no tempering was done. However, at this stage no crack was observed in the plate when checked by liquid penetrant test and therefore, subsequently samples were subjected to surface grinding (each face of 100 x 50mm size). Cracks, confirmed by PT, were formed due to stress introduced during grinding operation on each face. Since it was easy to control the feed of grinding wheel because of flat face, very fine cracks, suitable for the fluorescent method were obtained. Because of magnetic nature, tool steel samples are suitable for both liquid penetrant test as well as magnetic particle test. [10]

#### Preparation of Defect Samples for Re-Use

Repetitive use of defect sample without proper cleaning may be responsible for the loss of indication. Hence it is necessary to clean the specimen as per the procedure outlined here, before reuse if the specimen have been used for three times.

- a) Clean the sample with the suitable cleaner or solvent like acetone.
- b) Put the sample in beaker containing acetone and then place the beaker in ultrasonic cleaning chamber and clean them for at least one hour. Large sample which cannot be accommodated in the beaker can be put directly into the ultrasonic chamber.

c) After removing the sample from the chamber, allow it to dry in atmosphere.

d) To remove the cleaning media entrapped in the discontinuities or cavity/crevices, put the specimen in oven at 100°C for at least 30 minutes.

f) Remove the sample from oven and allow it to cool up to ambient temperature before re-use.

g) For long time storage, samples shall be kept under vacuum as per the procedure given below.

Table 2 – Data sheet

<b>Report No:</b>		<b>Date</b>		
<b>Component Name</b>	Bearing Case	<b>Identification</b>	M5	
<b>Material</b>	Tool Steel	<b>Size</b>	OD 45 x ID <sub>1</sub> -30 x ID <sub>2</sub> -12 x Thick. 13 mm	
<b>Product Form</b>	Machined	<b>Condition</b>	Heat Treated (Quenching)	
<b>Test Method</b>	Liquid Penetrant Test	<b>Technique</b>	Solvent Removable Visible Dye Penetrant	
<b>Remark</b>	Dwell time 10-15 min.			
<b>Photographs</b>				
				
				
S. No.	Face	Details of defect	Size in mm (approx.)	
1.	Inner Contour (IC)	Intermittent linear indication in circumferential direction covering 345° (approx) in periphery with faint indications at some places.	85	
2.	Rim (R)	Nil	-	
3.	Flat Surface (FS)	Nil	-	
4.	Curved Surface (CS)	Nil	-	
<b>Certification of Personnel</b>				
Details	Name	Level in PT	Certificate No. (with validity)	Signature with date
Test carried by:		II		
Approved by:		III		

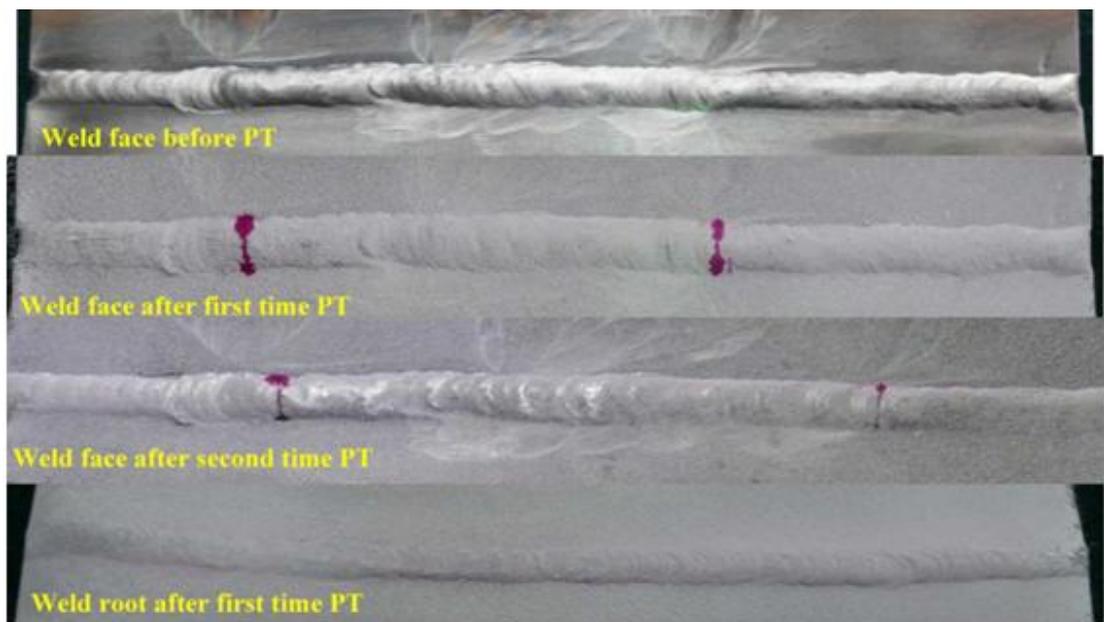
## Storage of Defect Samples for Long Period

Samples, especially of carbon steel and tool steel shall be stored under vacuum or nitrogen environment to avoid any rusting. Following guidelines will be useful for storing the samples:

- a) If rusted, remove the rust with emery paper. Clean the sample as per the procedure given above using ultrasonic cleaner.
- b) Put the dried sample in vacuum/pressure chamber and close the chamber with flange having valve. Connect the inlet of vacuum pump to the valve.
- c) Open the valve and evacuate the vacuum chamber using vacuum pump.
- d) After attaining sufficient vacuum (up to 10" mbar or better), close the valve and disconnect the chamber from vacuum pump. Now keep the valve closed to prevent the atmospheric air from entering into the chamber.
- e) If required, after evacuating, chamber can be pressurized up to 1kg/cm (absolute) with nitrogen.

### Data Sheet for Defect Samples

To check the reproducibility of the result and for the evaluation, it is necessary to have data sheet of each sample as shown in the Table 2, giving all the details of indications such as location, size, type etc. Photographs of the indications make the examiner's job very Fig. 8



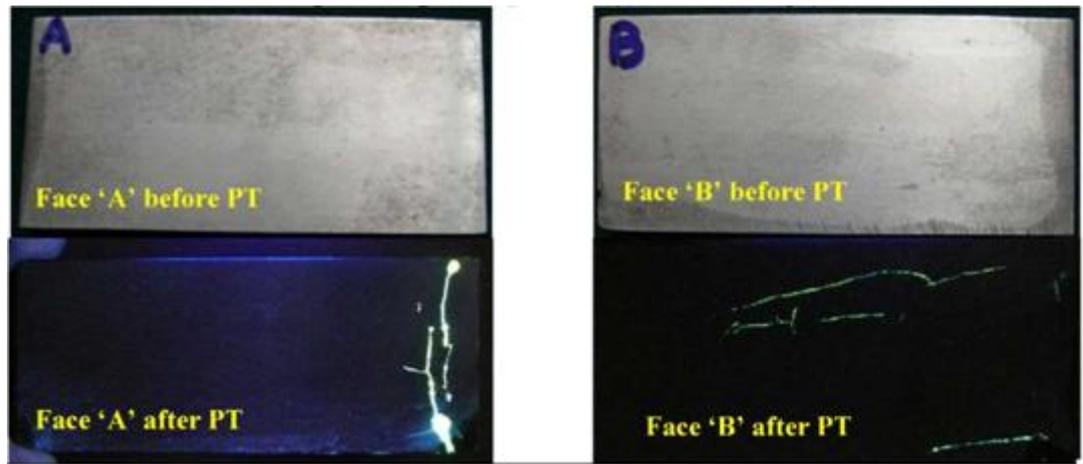


Fig.8 – Photographs of defect samples

Natural defects such as cracks, detectable by liquid penetrant test and magnetic particle test can be created during welding and heat treatment processes. Welding of SS 304 plate by GTAW process using filler rod ER308L with Copper or Titanium as inclusion can generate cracks in the weld metal. On the other hand quenching cracks or grinding cracks can be created on the surface of tool steel or die steel material. Data sheet giving details of crack location, size etc and photographs of PT or MT indications are very useful for training the NDT personnel during certification courses. Care must be exercised during multiple usage and long time storage of such defect samples.

## **2.6 The methods of creating artificial defects for magnetic flaw**

Magnetic non-destructive testing - testing method, which is based on the ability to detect different magnetic stray fields occurring over the place of formation of defects at the local magnetization. The indicator substance is a powder with ferromagnetic properties, or magnetic suspension.

According to a method of preparing initial information is divided into several methods to control the magnetic: magnetic particle, magnetographic fluxgate, Hall effect, induction, ponderomotive, magnitorezistorny. [2]

The most common method is a magnetic inspection magnetic particle method. When using the method of magnetic particle inspection (MPI) in the magnetized part is applied to a magnetic powder or magnetic suspension, which is a fine mixture of magnetic particles in a liquid. Ferromagnetic powder particles trapped in the magnetic stray field coverage area, attracted and deposited on the surface of the vicinity of the location of discontinuities. The bandwidth over which the deposition of the magnetic powder may greatly exceed the width of the actual defect. Consequently, even very narrow cracks can be fixed to the naked eye. Registration received indicator patterns carried out visually or with the help of image processing devices. [2]

### **2.6.1 The method of creating surface and subsurface defects**

To create the artificial defects using a metal plate H. thick ferromagnetic material in the plate is performed with a hole diameter  $d$  1 bushing 2. The sleeve is performed through bore 3 at a depth of  $t$  and the diameter  $d_1$  of  $d_1 = 0,1 H$ . Conjugation between the plate 1 and the sleeve 2 forms a surface defect 4, and forms a hole in the sleeve 3 in a subsurface defect depth  $t$ . Subsequently, the specimen surface is polished. Roughness  $R_a = 2.5$  microns according to GOST 2789-73 [14]. Arrows 5 and 6 show the possible direction of magnetic flux during magnetization of the sample. Scheme sample with artificial defects is shown in figure 9. [25]

The sample with artificial defects operates as follows. When magnetized in the direction 5 form the magnetic powder deposition in the form of two crescents on the defect surface 4 and the hole 3 in the sleeve 2 forms a powder deposition in a line with lower contrast (contrast deposits depends on the depth  $t$ ). When magnetized in the direction of 6 are also formed powder deposits in the form of two crescents on the surface defect 4 , but the deposition of powder on the sub-surface defect 3 is formed as the magnetic field direction coincides with the direction of the defect.[25]

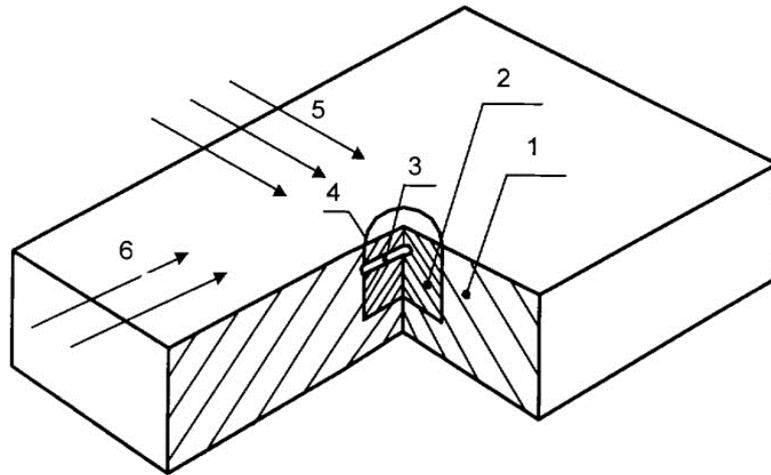


Fig. 9 – A general view of the sample with artificial defects

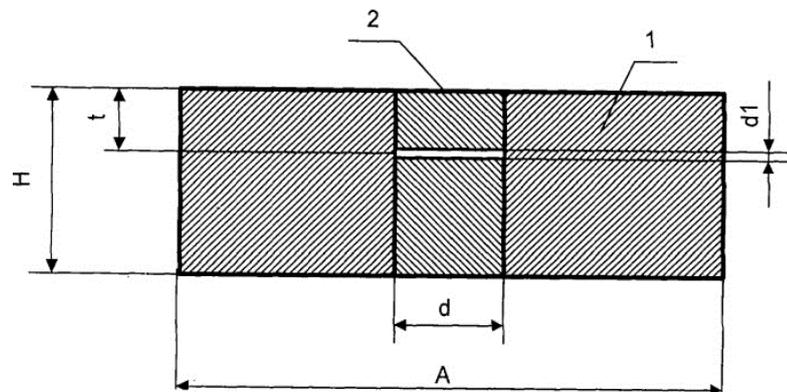


Fig.10 – Cross section of the sample with a through hole

The purpose of the artificial defects is empowering the use of the sample due to the simultaneous determination of the sensitivity of the magnetic flaw to the surface and subsurface defects.

## Приложение Б

### (обязательное)

Паспорт на экзаменационный образец ЭО –107

(для практического экзамена)

**Общие сведения.** Экзаменационный образец ЭО – 107. Участок трубопровода, сталь марки Ст3 (размеры: Ø 60мм, толщина 3мм). На образце имеется 5 поверхностных пор. Размеры пор представлены в таблице.

**Назначение и область применения.** Экзаменационный образец ЭО –107 предназначен для обнаружения дефектов капиллярным методом контроля при приеме практического экзамена в соответствии с Правилами аттестации персонала в области неразрушающего контроля ПБ 03 – 440 – 02.

**Объекты.** П1, П2, П3, П6, П8 в соответствии с ПБ 03 – 440 – 02.



Фото образца после капиллярного контроля

№ дефекта	Тип индикации	Координаты дефекта, мм				Размеры X/Y
		Xн	Xк	Yн	Yк	
1	A 1,5	7,5	9	71	72	1,5
2	A 0,71	21,5	22	70	70,7	0,71
3	A 3,3	72	75,3	71	72	3,3
4	A 1	76,5	77	72	72,5	1
5	A 0,8	107	107,4	69	69,5	0,8

Экзаменационный образец аттестован 12 апреля 2016г. и признан годным для капиллярного контроля по II классу чувствительности. Контроль проводился набором дефектоскопических материалов SHERWIN. Образец храниться в сухом месте при температуре 20±5 °С., и нормальной влажности.

Специалист 3 уровня

12.04.2016г.

## **Приложение В** **(обязательное)**

Паспорт на экзаменационный образец ЭО –16  
(для практического экзамена)

**Общие сведения.** Экзаменационный образец ЭО–16. Лист стали марки Ст45 (размеры: 100×50×10 мм). На образце имеется 2 поверхностные трещины.

Индикаторные следы трещин приведены на рисунке

**Назначение и область применения.** Экзаменационный образец ЭО–107 предназначен для обнаружения дефектов капиллярным методом контроля при приеме практического экзамена в соответствии с Правилами аттестации персонала в области неразрушающего контроля ПБ 03 – 440 – 02.

**Объекты.** П1, П2, П3, П6, П8 в соответствии с ПБ 03 – 440 – 02.

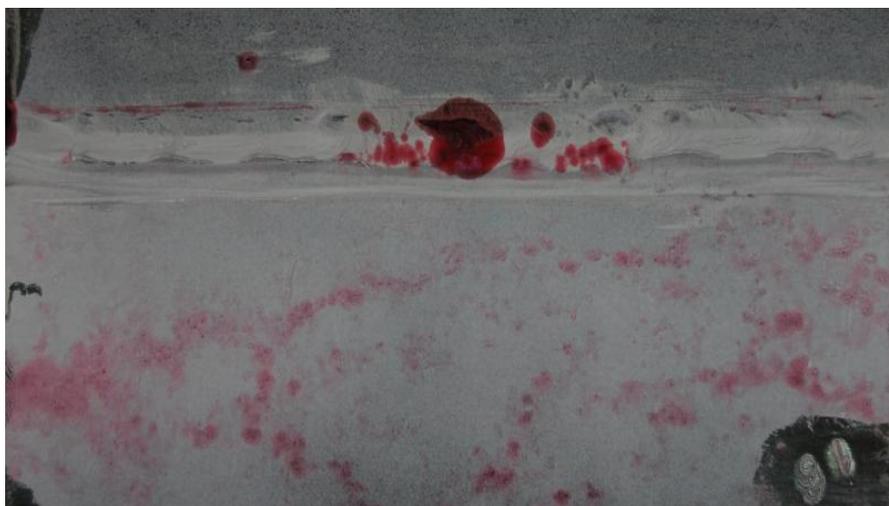


Фото образца после капиллярного контроля

Экзаменационный образец аттестован 20 апреля 2016г. и признан годным для капиллярного контроля по II классу чувствительности. Контроль проводился набором дефектоскопических материалов SHERWIN. Образец храниться в сухом месте при температуре  $20\pm 5$  °С., и нормальной влажности.

Специалист 3 уровня \_\_\_\_\_

20.04.2016г.