

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. ГУБКИНА
Кафедра сварки и мониторинга нефтегазовых сооружений

А.А. АНТОНОВ

Магнитопорошковый контроль

Методические указания к лабораторной работе

Москва 2016

Магнитопорошковый контроль

1. Цель лабораторной работы

1. Изучение физических основ и технологии магнитопорошкового контроля.

2. Практическое применение магнитопорошкового контроля.

2. Теоретические основы магнитопорошкового контроля

2.1 Общие сведения о магнитных методах

Магнитные методы контроля основаны на регистрации магнитных полей рассеяния, возникающих над дефектами, но только у материалов, способных намагничиваться.

Носители магнетизма в металле – элементарные электрические точки в атомах, создаваемые вращением электронов вокруг ядра (рисунок 1, а) прецессионным движением электронных орбит (рисунок 1, б) и вращением электронов вокруг своей оси – спином электрона (рисунок 1, в). Последний вносит основной вклад в образование магнетизма. Элементарные точки в каждом атоме формируют атомные магнитные моменты, которые взаимодействуют между собой, образуя магнитное поле детали в целом, однако большинство веществ не проявляют магнитных свойств, так как магнитные моменты их атомов направлены произвольно и взаимно компенсируют друг друга, т.е. размагничивают.

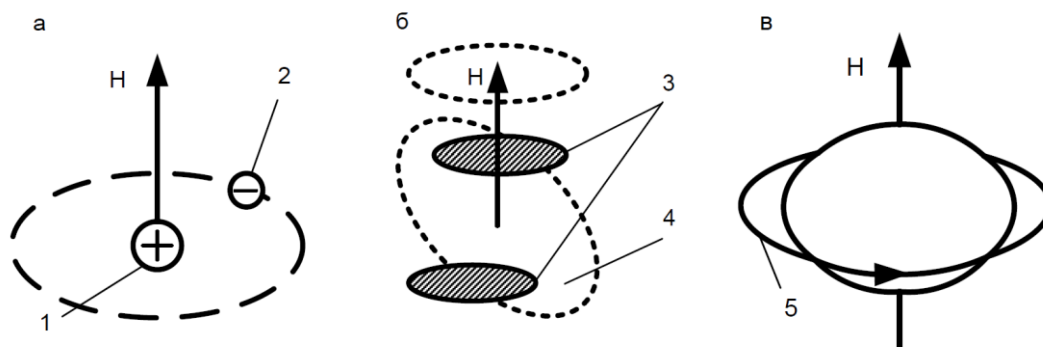


Рисунок 1 - Схемы движения электронов и прецессионные движения электронных орбит:

а) – 1 – ядро; 2 – движение электрона вокруг ядра; б) – 3 – траектории прецессионного движения электронной орбиты; 4 – плоскость электронной орбиты; в) – 5 – направление вращения электрона; Н – индукция магнитного поля

Существуют материалы с высокой способностью к намагничиванию – ферромагнетики. Их в природе насчитывается немного. Главный среди них – железо. На его основе с добавками никеля, кобальта, вольфрама и алюминия созданы все ферромагнитные сплавы. У них особая структура, даже если нет внешнего магнитного поля, моменты миллионов соседних атомов

самопроизвольно выстраиваются параллельно друг другу, образуя микроскопические области – так называемые домены – идеальные магниты в миниатюре. Это крошечные в обычном представлении, но огромные, по сравнению с размерами атомов, области. Число атомов в них составляет порядка 10^{15} , а размеры в поперечнике – около 10 мкм. Все магнитные моменты атомов внутри домена ориентированы одинаково, т.е. эта область намагничена до насыщения и представляет собой относительно сильный постоянный магнит. Она характеризуется магнитным моментом домена. Если нет внешнего магнитного поля, то магнитные моменты доменов направлены беспорядочно и взаимно компенсируют друг друга. Поэтому ферромагнетик не имеет результирующего магнитного момента, т.е. его намагниченность равна нулю.

При включении внешнего магнитного поля число и размер областей, намагниченности которых параллельны полю, растут за счет областей, намагниченных в противоположном направлении, и тело в целом намагничивается. Если после этого внешнее поле выключить, то однажды возникшая упорядоченность направлений намагничивания отдельных областей частично сохраняется (остаточная намагниченность) до тех пор, пока ее не уничтожат новые факторы: повышение температуры, магнитное поле обратного направления, превышающее определенный минимум (коэрцитивная сила), и другие воздействия.

Если взять какое-либо изделие – ферромагнетик с однородными магнитными свойствами и магнитной проницаемостью μ_1 и поместить его в продольное магнитное поле H_0 (рисунок 2), то ферромагнетик намагнитится и приобретет магнитную индукцию B_0 , линии которой практически не выходят из детали. Это объясняется тем, что магнитная проницаемость μ_2 внешней среды значительно меньше магнитной проницаемости μ_1 ферромагнетика. Если же деталь имеет дефект в виде поверхностной трещины, проходящей перпендикулярно направлению поля B_0 , то происходит перераспределение магнитного потока в зоне расположения трещины: одна часть магнитного потока проходит через трещину, другая – через воздушные пути над дефектом и третья часть будет проходить под трещиной по металлу детали (рисунок 3).

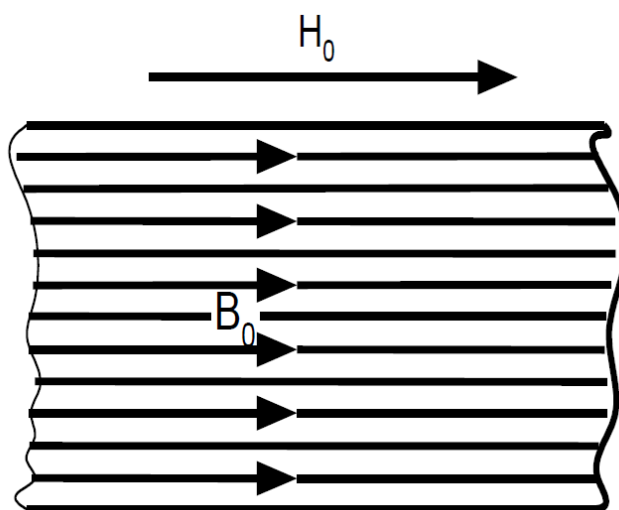


Рисунок 2 – Ферромагнетик во внешнем магнитном поле

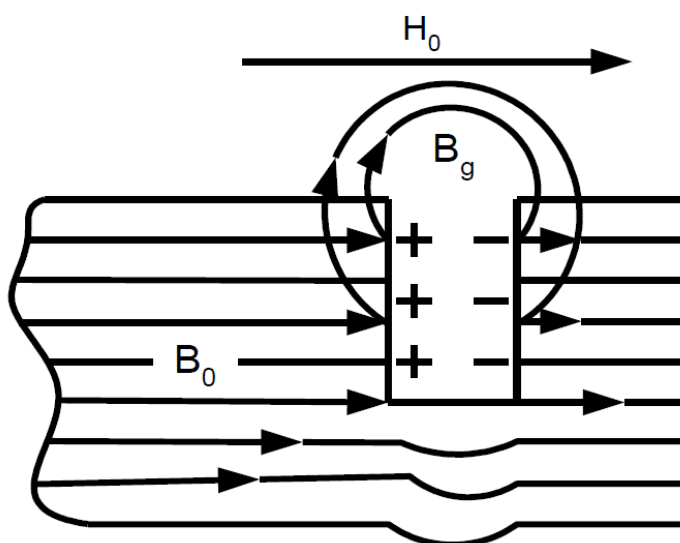


Рисунок 3 - Перераспределение магнитного потока в зоне расположения трещины

По этой причине в зоне трещин появляются положительные и отрицательные «магнитные заряды» расположенные как на поверхности, так и внутри детали. Это явление называется магнитной поляризацией металла в зоне дефекта. Каждый «магнитный заряд» создает магнитное поле, направленное из него как из центра. Суммарное поле «магнитных зарядов» образует поле дефекта H_g , направленное в ту же сторону, что и внешнее намагничивающее поле H_0 , тем самым обеспечивая местную его концентрацию. Суммарное поле H_0 называют полем дефекта, или полем рассеивания над дефектом. Формированию этого поля способствует также то, что трещины в месте выхода на поверхность имеют заостренные края, расстояния между которыми могут составлять десятки и сотни микрон, которые играют роль концентраторов поля зарядов магнитной поляризации. Формирование магнитного поля над дефектом свидетельствует о том, что деталь дефектна.

Необходимое условие применения магнитного метода контроля – это намагничивание деталей. Направление намагничивания должно быть перпендикулярно ориентации дефекта. Это обеспечивает максимальное магнитное поле рассеяния дефекта. Используют для этого продольный (полюсный), циркулярный и комбинированный способы намагничивания.

Продольное намагничивание осуществляется с помощью электромагнита или соленоида (рисунок 4).

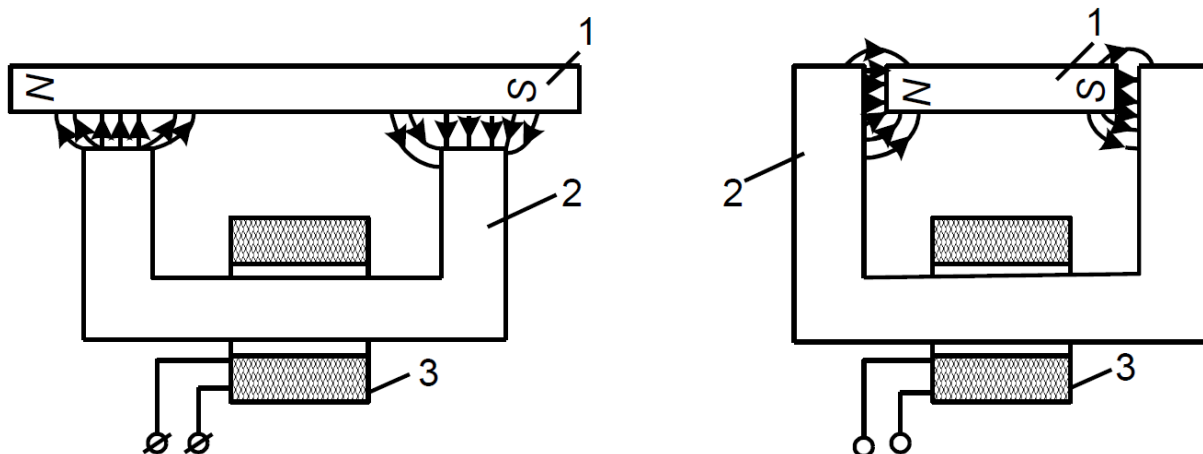


Рисунок 4 - Полюсное намагничивание деталей электромагнитом:
1 – деталь; 2 – ярмо; 3 – намагничивающая катушка

На ярме 2 находится намагничивающая катушка 3, соединенная с источником постоянного тока или переменного тока. При таком намагничивании замкнутые силовые линии пересекают поверхность контролируемой детали в зоне входа и выхода из нее, где образуются магнитные полюсы: северный N и южный S. Поэтому намагничивание электромагнитом называется полюсным. Полюсы на поверхности проверяемой детали – это области с ярко выраженной неоднородностью поля, не связанного с какими-либо дефектами.

Образование на поверхности полюсов является нежелательным с точки зрения в этой зоне дефектов. На участке детали находящиеся между полюсами ярма электромагнита, деталь 1 намагничивается равномерно по всей длине участка в продольном направлении. В этом поле наибольшая поляризация стенок возникает у поперечных дефектов, расположенных перпендикулярно к линиям продольного магнитного поля.

Для обнаружения трещин, вытянутых по длине детали (продольных), она должна быть намагничена в поперечном направлении. Форма электромагнита и его размеры устанавливаются в зависимости от требований. Если требуется намагничивать целиком громоздкую деталь, то для этого необходим большой электромагнит стационарного типа, но для проверки некоторых деталей можно использовать переносной электромагнит. Рассмотрим намагничивание детали соленоидом (рисунок 5).

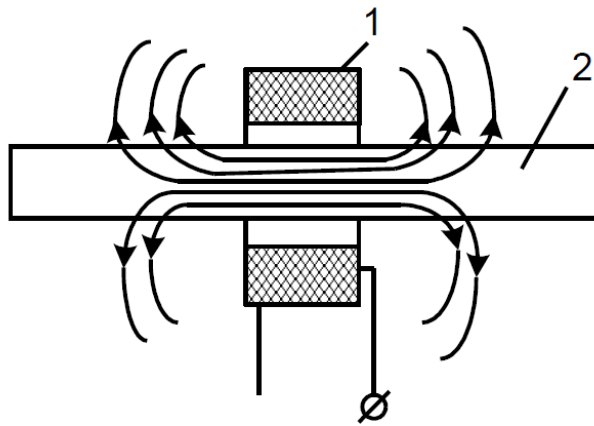


Рисунок 5 - Полюсное намагничивание: 1 – намагничивающая катушка, 2 – деталь

В данном случае магнитные полюса образуются там, где замкнутые линии магнитного поля входят в деталь 2 или выходят из нее. В пределах длины соленоида и на некоторых расстояниях по обе стороны от его краев деталь намагничивается продольно. По мере удаления от соленоида продольная намагничиваемость детали постепенно уменьшается, и снижается возможность обнаружения дефектов. Длинные детали в поле соленоида контролируют по участкам, каждый из которых имеет протяженность, не превышающую допустимую зону проверки (длина соленоида и плюс небольшие участки с двух сторон от него). Обмотка соленоида может состоять из большого количества витков и намагничивать деталь малыми токами (5 – 10 А) или всего из нескольких витков медной шины, ток в которых достигает 800 – 1000 А циркулярного намагничивания. Циркулярное намагничивание осуществляется путем пропускания постоянного или переменного тока через контролируемую деталь (рисунок 6).

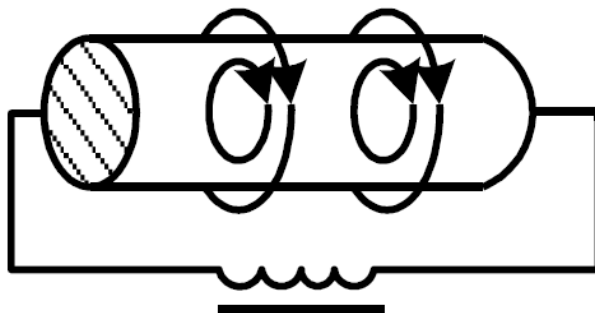


Рисунок 6 - Циркулярное намагничивание

При этом внутри детали и вокруг нее образуется магнитное поле, деталь намагничивается циркулярным потоком магнитных силовых линий, расположенных в плоскости, перпендикулярной направлению тока, и имеющих вид замкнутых контуров. Для контролируемой детали циркулярное магнитное поле является поперечным. Поэтому в нем сильнее всего поляризуются стенки трещин.

Способ циркулярного намагничивания пригоден для контроля не только деталей сплошного сечения, но и для полых деталей. По оси контролируемой

детали располагают проводник электрического тока и пропускают через него переменный или постоянный ток (рисунок 7).

Вокруг стержня с током образуется циркулярное магнитное поле, замкнутые линии которого представляют собой окружности. Этим полем контролируют деталь с дефектами (трещинами) продольными. Комбинированное намагничивание достигается в результате одновременного продольного циркулярного намагничивания и использования для него токов одного или токов разного вида с соответствующими моментами включения или с изменением их значений и направления. В этом случае возникает результирующее поле, величина и направление которого зависят от параметров каждого из указанных полей. Намагничивание одновременно двумя полями позволяет выявить трещины, направленные под разными углами к оси проверяемой детали. Каждый из способов намагничивания является эффективным тогда, когда обеспечивается достаточное намагничивание детали и создается наиболее выгодное направление линий магнитного поля по отношению к ориентации трещин.

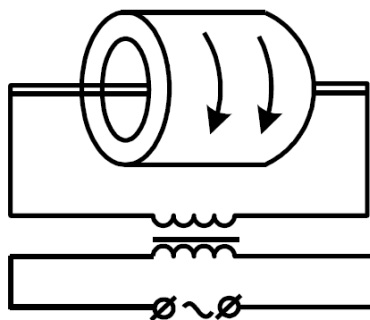


Рисунок 7 - Циркулярное намагничивание полой детали

2.2 Магнитопорошковый метод

Магнитопорошковая дефектоскопия основана на выявлении локальных магнитных полей рассеяния, возникающих над дефектом, с помощью ферромагнитных частиц, играющих роль индикатора.

Магнитное поле рассеяния возникает над дефектом вследствие того, что в намагниченной детали магнитные силовые линии, встречая на своем пути дефект, огибают его как препятствие с малой магнитной проницаемостью, в результате чего магнитное поле искажается, отдельные магнитные силовые линии вытесняются дефектом на поверхность, выходят из детали и входят в нее обратно. При этом по обе стороны от трещин, то есть по краям дефекта, возникают местные магнитные полюсы N и S, создающие локальное магнитное поле рассеяния (рисунок 8).

Магнитное поле рассеяния в зоне дефекта тем больше, чем больше дефект и чем ближе он к поверхности детали. Наилучшее выявление дефекта будет в том случае, когда магнитные силовые линии в намагниченной детали располагаются под прямым (или близком к нему) углом к направлению дефекта (рисунок 9).



Рисунок 8 – Магнитное поле рассеяния над дефектом: а – поверхностным; б – подповерхностным; в – внутренним.

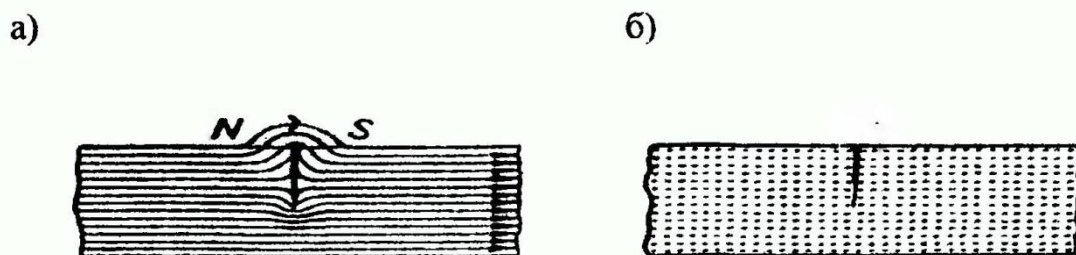


Рисунок 9 – Направление силовых линий магнитного поля в случае разных взаимных ориентаций дефекта и магнитного поля

Для обнаружения магнитного поля рассеяния на контролируемые участки детали наносят магнитный порошок. Нанесение магнитного порошка на контролируемую поверхность детали осуществляют двумя способами, реализующими «сухой» или «мокрый» метод. В первом случае для обнаружения дефектов используют сухой ферромагнитный порошок. При использовании «мокрого» метода контроль осуществляется с помощью магнитной суспензии, т.е. взвеси ферромагнитных частиц в жидких средах: трансформаторном масле, смеси трансформаторного масла с керосином, смеси обыкновенной воды с антикоррозионными веществами.

Порошок магнитный черный представляет собой мелко измельченную закись-окись железа (Fe_3O_4), получается фильтрацией шламовой жидкости с последующей сушкой при температуре 400 – 500 °С и размолотом. Размер основной массы частиц – не более 30 мкм.

Магнитное поле рассеяния выявляется благодаря тому, что на ферромагнитные частицы порошка действуют пондеромоторные силы этого поля, которые стремятся затянуть эти частицы в места наибольшей концентрации магнитных силовых линий. В результате ферромагнитные частицы собираются над дефектом, образуя рисунок в виде полосок или цепочек. Ширина полосок из скопившихся частичек обычно значительно больше ширины дефекта, поэтому этим методом контроля могут быть выявлены даже мельчайшие трещины, надрывы, волосовины и другие мелкие дефекты.

Магнитопорошковому контролю могут быть подвергнуты детали, выполненные из ферромагнитных материалов с относительной магнитной проницаемостью и не менее 40.

Чувствительность магнитопорошкового метода зависит:

- от магнитных характеристик материала детали;
- напряженности намагничивающего поля;
- размера, формы и шероховатости поверхности детали;
- размера, формы, местоположения и ориентации дефекта;
- взаимного направления намагничивающего поля и дефекта;
- свойств дефектоскопического материала;
- способа нанесения дефектоскопического материала на поверхность детали;
- способа и условий регистрации индикаторного рисунка выявляемого дефекта. Этим методом обнаруживаются дефекты:
 - поверхностные с шириной раскрытия у поверхности 0,002 мм и более, глубиной 0,01 мм и более;
 - подповерхностные, лежащие на глубине до 2 мм;
 - внутренние (больших размеров), лежащие на глубине более 2 мм;
 - под различного рода покрытиями, но при условии, что толщина немагнитного покрытия не более 0,25 мм.

Чувствительность магнитопорошкового метода контроля в значительной мере зависит от шероховатости поверхности контролируемой детали. Максимальная чувствительность метода может быть получена при контроле детали с шероховатостью, соответствующей параметру $Ra = 1,25 \dots 2,5$ мкм. С увеличением шероховатости чувствительность метода снижается.

В случае контроля деталей, имеющих большую шероховатость или склонных к образованию дефектов, глубоко залегающих под поверхностью, применяют крупный порошок, который наносят на поверхность «сухим» способом.

Чувствительность магнитопорошкового метода зависит также от подвижности частиц порошка. Для обеспечения высокой подвижности частиц необходимо применять порошки с частицами неправильной формы. Они должны обладать малой коэрцитивной силой и низкой остаточной намагниченностью для исключения их «прилипания» к контролируемой поверхности. Подвижность частиц магнитного порошка повышают путем их покрытия пигментом с низким коэффициентом зрания.

На чувствительность метода оказывает влияние и род намагничивающего тока при обнаружении подповерхностных дефектов (рисунок 10).

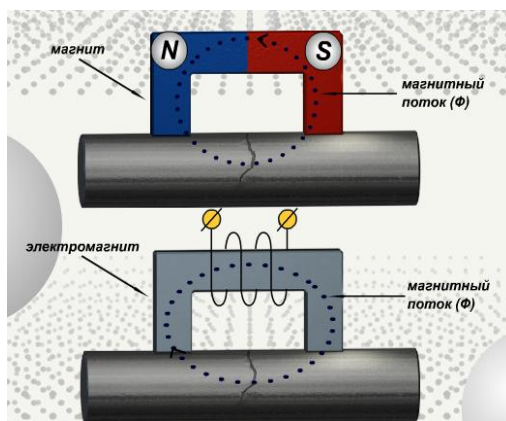


Рисунок 10 – Создание постоянного и переменного намагничивающего тока

Предпочтение в этом случае отдается постоянному току, так как он создает магнитное поле, глубоко проникающее внутрь детали (рисунок 11).

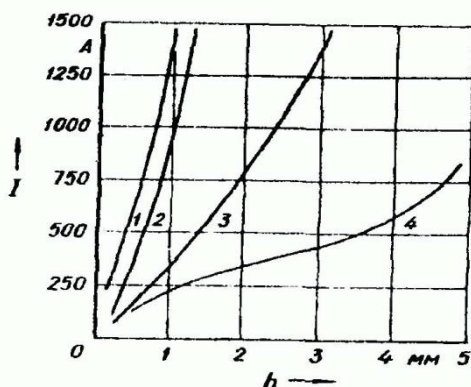


Рисунок 11 – Зависимость выявляемости внутренних дефектов от глубины их залегания, способа нанесения магнитного порошка, величины и рода намагничивающего тока: 1- «мокрый» 2 – «сухой» способы на переменном токе; 3- «мокрый» и 4 – «сухой» способы на постоянном токе.

Следует также иметь в виду, что при обнаружении подповерхностных дефектов более высокая чувствительность может быть достигнута путем применения «сухого» способа, по сравнению с «мокрым». Причем для повышения чувствительности «сухого» способа ферромагнитный порошок предварительно распыляют в специальном устройстве, а затем подают по шлангу непосредственно на контролируемую деталь или в закрытую камеру, в которой установлена деталь. Способ нанесения ферромагнитного порошка на поверхность детали может быть реализован и с помощью специального бункера, в котором магнитный порошок находится во взвешенном состоянии. При этом намагниченную деталь погружают в рыхлый порошок, а затем медленно извлекают из него для расшифровки образовавшегося индикаторного рисунка.

Такой способ нанесения магнитного порошка рекомендуется применять и для контроля деталей, имеющих слой немагнитного покрытия, причем

чувствительность метода в этом случае зависит от толщины немагнитного покрытия (рисунок 12).

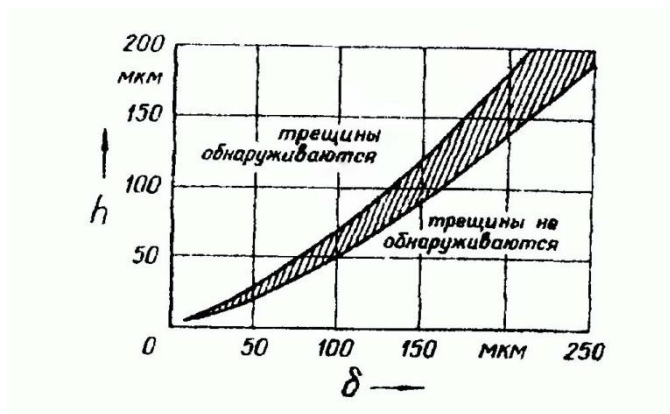


Рисунок 12 – зависимость выявляемости дефектов, имеющих вид трещин, от их глубины и толщины слоя немагнитного покрытия. Заштрихованная область определяет зону неуверенного контроля

Более высокая чувствительность магнитопорошкового метода контроля с применением сухого порошка по сравнению с применением магнитной суспензии объясняется:

- высокой подвижностью ферромагнитных частиц, взвешенных в воздухе, из-за незначительных сил трения, действующих на частицы в этой среде (для перемещения частиц в воздухе требуется гораздо меньшая сила, чем для их перемещения в вязкой среде магнитной суспензии);

- отсутствием гидродинамического воздействия струи суспензии при ее нанесении на деталь или поверхностного натяжения жидкости при извлечении детали из бака с суспензией;

- формированием из ферромагнитных частиц тонких цепочек, которые более чувствительны к магнитным полям рассеяния, чем отдельные частицы.

Контрастность между цветом порошка и контролируемой поверхности помогает оператору выявить индикаторные следы дефектов. Если контролируемая поверхность детали светлая (после станочной обработки), то применяется обычно черный порошок. При контроле детали с черной поверхностью, например покрытой окалиной, необходимо применять цветные порошки. Желательно, чтобы цвет порошка был естественный, так как дополнительное окрашивание приводит к снижению чувствительности контроля. Цвет магнитного порошка должен максимально отличаться от цвета поверхности контролируемой детали.

Перед проведением контроля деталей магнитопорошковым методом необходимо выбрать в каждом конкретном случае:

- способ контроля (в приложенном поле или на остаточном намагничивании);

- вид и способ намагничивания (продольное, циркулярное или комбинированное);

- род намагничивающего тока;

- величину напряженности намагничивающего поля;
- тип порошка и способ его нанесения на контролируемую поверхность детали.

3. Порядок выполнения лабораторной работы

3.1 Оборудование и материалы

Для проведения лабораторной работы требуется намагничивающее устройство МД-7, баллон с белой краской, суспензия ферромагнитного порошка, сухой ферромагнитный порошок и образец с трещиноподобным дефектом.

3.2 Порядок выполнения лабораторной работы

На поверхность образца нанести тонкий слой белой краски из баллона. Краска необходима для создания контраста между порошком и поверхностью изделия.

После высыхания краски установить намагничивающее устройство (постоянный магнит).

На область поверхности исследуемого изделия, расположенную между полюсами магнита нанести сухой ферромагнитный порошок.

Понять особенности распределения крупинок порошка после его нанесения.

Удалить тряпкой порошок с поверхности и нанести суспензию. Понять различия в подвижности и, как следствие, в распределении крупинок сухого порошка и порошка в виде суспензии. Сделать выводы.

Обнаружить и сфотографировать (зарисовать) дефектные области.

Заполнить Акт.

4. Контрольные вопросы

Информация, которая необходима для ответа на вопросы, содержится в лекциях, учебных пособиях и методических указаниях к данной работе.

1. На чем основаны магнитные методы контроля?
2. Перечислите способы намагничивания.
3. В чем разница «сухого» и «мокрого» способа нанесения порошка и какой лучше?
4. Что называют «суспензией»?
5. Какие методы входят в магнитный неразрушающий контроль?
6. Что показывает индикаторный рисунок?
7. На чем основан процесс размагничивания?

Приложение 1

УТВЕРЖДАЮ

_____ / _____ /

« ____ » _____ 200_ г.

АКТ №

проведения магнитопорошковой дефектоскопии

В порядке проведения лабораторной работы проведена дефектоскопия объекта:

_____.

Дефектоскопия объекта проведена « ____ » _____ 200_ г. в ауд. ____

в присутствии:

Используемые для проведения дефектоскопии приборы:

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ: _____

ВЫВОДЫ:

Подписи членов комиссии (группы студентов):

Литература

1. Неразрушающий контроль сварных конструкций в нефтегазовых отраслях: Учебное пособие / А.А. Антонов, Е.М. Вышемирский, О.Е. Капустин, А.К. Прыгаев. – М.: Издательство «Спутник +», 2014. – 238с.
2. Маслов, Б.Г. Неразрушающий контроль сварных соединений и изделий в машиностроении: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. - М.: Издательский центр "Академия", 2008. - 272с.
3. Каневский, И.Н., Сальникова, Е.Н. Неразрушающие методы контроля: учебное пособие. - Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. - 243 с.
4. Работоспособность трубопроводов: в 3 ч. / Е.Е. Зорин, Г.А. Ланчаков и др.- М.: Недра-бизнесцентр, 2000. - Ч. 1-3.
5. Горицкий, В.М. Диагностика металлов - М.: Metallurgizdat, 2004.- 402с.
6. Сварка. Резка. Контроль: справочник в 2 т. Т.1/ под ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. – М.: Машиностроение, 2004.- 478с.