

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕХАНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ

**КАФЕДРА «МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ»
ИМ. ПРОФ. СЕДУША В.Я.**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к проведению лабораторных работ по дисциплине вариативной части
по выбору вуза профессионального цикла**

МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

(часть 3)

**для студентов всех форм обучения
направления подготовки 15.04.02
«Технологические машины и оборудование»**

**Донецк
ДОННТУ
2017**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕХАНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ

**КАФЕДРА «МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДОВ ЧЕРНОЙ
МЕТАЛЛУРГИИ» ИМ. ПРОФ. СЕДУША В.Я.**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к проведению лабораторных работ по дисциплине вариативной части

по выбору вуза профессионального цикла

МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

(часть 3)

для студентов всех форм обучения

направления подготовки 15.04.02

«Технологические машины и оборудование»

Рассмотрены на заседании
кафедры «Механическое оборудование
заводов черной металлургии»
им. проф. Седуша В.Я.
Протокол № 11 от 03.04.2017 г.

Утверждены на заседании
учебно-издательского совета ДОННТУ
Протокол № ____ от __.__. 20__ г.

**Донецк
ДОННТУ
2017**

Методические указания к проведению лабораторных работ по дисциплине вариативной части по выбору вуза профессионального цикла «Методы неразрушающего контроля (часть 3)» для студентов всех форм обучения направления подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование» / сост.: В. А. Сидоров. – Донецк: ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2017. – 17 с.

Отражены цели и задачи лабораторного практикума по дисциплине «Методы неразрушающего контроля (часть 3)» для студентов всех форм обучения по направлению подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование». Описаны структура лабораторных работ, порядок подготовки к ним, последовательность операций и действий, направленных на выполнение поставленных задач, указаны форма представления результатов работы и порядок защиты отчетов по выполненным заданиям, даны рекомендации по использованию теоретического материала.

Составители: Сидоров В.А., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии» им. проф. Седуша В.Я.

Рецензенты: д.т.н., профессор А.П. Кононенко
к.т.н., доцент Е.В. Ошовская

Ответственный за выпуск:

д. т. н., профессор А. Л. Сотников

Устройства для неразрушающего контроля состояния стальных канатов

Задача. В настоящее время стальные канаты получили большое распространение в различных областях техники: подвесные канатные дороги, шахтное и лифтовое оборудование, подъемные краны и др. От их технического состояния зависит безопасность людей. Все это предполагает необходимость тщательного контроля состояния каната на предмет разрешения его дальнейшей эксплуатации.

Наиболее эффективными являются электромагнитные методы контроля состояния стальных канатов, которые позволяют проводить определение повреждений практически всех типов.

Решение. Современные магнитные дефектоскопы (рис. 1) состоят из двух частей – магнитного датчика (МД) и регистрирующего устройства (система управления, сбора и обработки информации).

МД конструктивно представляет собой совокупность намагничивающего устройства с источниками магнитного поля, которыми являются электромагниты или постоянные магниты и магниточувствительных элементов для измерения топологии магнитного поля. Намагничивающее устройство продольно намагничивает контролируемый канат, а магниточувствительные датчики измеряют параметры магнитного поля и полей рассеяния, которые передаются в регистрирующее устройство.

В зависимости от типа контролируемого каната и механизма в котором он применяется конструкция этого модуля может различной (рис. 2, а-для канатов двойной свивки, б- для несущих канатов подвесных канатных дорог).



Рис. 1 – Структурно - функциональная схема магнитного дефектоскопа.

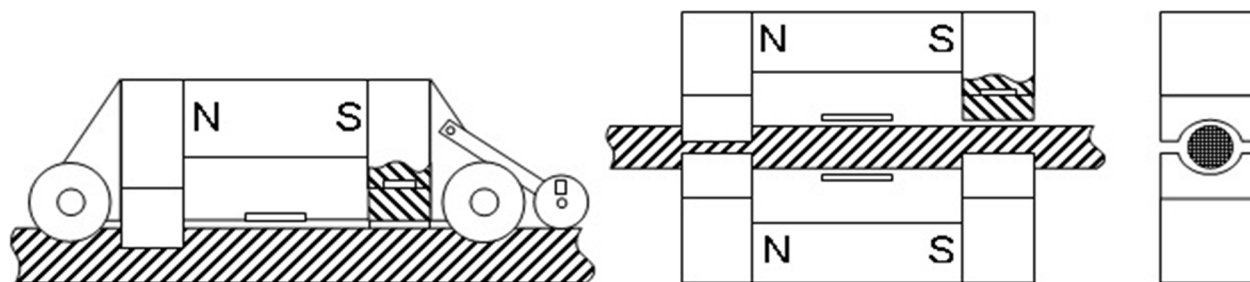


Рис. 2 – Варианты конструктивного исполнения магнитного датчика дефектоскопа

Конструкции магнитных датчиков дефектоскопов защищены патентами различных стран

Практически всем устройствам присущи определенные недостатки, среди которых можно отметить следующие:

Проведенный анализ данной научно-технической информации показал, что в настоящее время можно выделить следующие особенности.

- 1) влияние скорости движения дефектоскопов на их показания;
- 2) невысокая разрешающая способность приборов;
- 3) невозможность определения структурных дефектов в канатах.

В ЮРГТУ (НПИ) разработан комплекс устройств для контроля состояния стальных канатов, учитывающий отмеченные выше недостатки, и предназначенный для выявления повреждений стальных канатов, обусловленных как потерей металлического сечения, так и структурными деформациями.

На рис. 3 представлена конструкция магнитной системы дефектоскопа стальных канатов [\[\[vi\]\]](#), позволяющая повысить функциональные характеристики магнитного дефектоскопа по сравнению с существующими аналогами. Она обеспечивает возможность определения повреждений стальных канатов типа потеря металлического сечения (ПМС) – вызванных износом или коррозией материала, и дефектов типа локальный дефект (ЛД) – обрывы проволок стального каната.

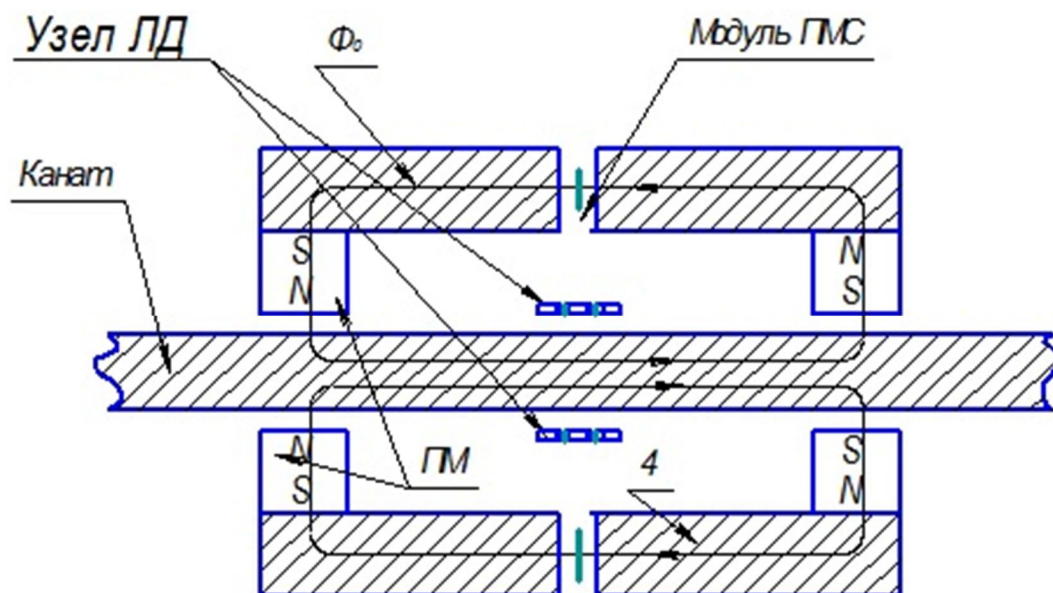


Рис. 3 – конструкция МС МД дефектоскопа ЮРГТУ (НПИ).

Для идентификации дефектов типа ЛД применяется продольное намагничивание участка стального каната, что приводит к увеличению интенсивности потоков рассеяния над месторасположением дефекта вследствие перераспределения намагничивающего потока. Применение продольного намагничивания связано с тем, что магнитные потоки, используемые для определения ПМС, слабо зависят от наличия дефектов типа обрывов проволоки: наличие 1-2 дефектов снижает поток в системе менее, чем на 1 % [1]. Традиционно для регистрации повреждений типа ЛД применялись индукционные или гальваномагнитные измерительные преобразователи, реагирующие на модуль нормальной составляющей потоков рассеяния, что вынуждало размещать их в непосредственной близости от поверхности контролируемого объекта.

Применение для регистрации потоков рассеяния Φ_s анизотропных магниторезистивных преобразователей (АМРП), регистрирующих угол наклона вектора магнитной индукции (рис. 4) позволяет расширить контролируемый диапазон диаметров канатов, и тем самым повысить технологичность прибора.

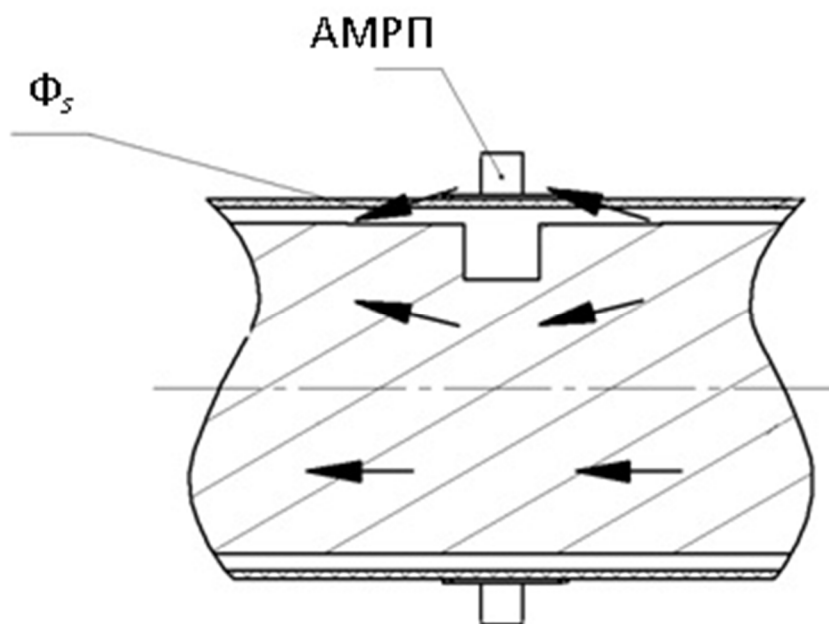


Рис. 4 – Узел регистрации повреждений типа ЛД.

Магнитные дефектоскопы «ДСКМ» ЮРГТУ (НПИ) прошли промышленные испытания комиссией Госгортехнадзора России и рекомендованы предприятиям, занимающимся ремонтом и эксплуатацией подъемнотранспортных механизмов, к применению для контроля состояния стальных канатов грузоподъемных механизмов. Разные исполнения опытной партии приборов работают на предприятиях Ростовской области, Смоленска, Ставрополя, Самары, Казани, Новокузнецка (рис. 5).

Для контроля геометрических параметров металлических объектов целесообразно использовать вихретоковый метод контроля [[i]]. Его достоинством является то, что обследование можно проводить при отсутствии контакта между датчиком и канатом - бесконтактно. Благодаря этому вихретоковый контроль можно осуществлять при движении каната относительно датчика, причем скорость движения при производственном контроле может быть значительной, что обеспечивает высокую производительность контроля. Получение первичной информации в виде электрических сигналов, отсутствие контакта и высокая производительность определяют широкие возможности автоматизации вихретокового контроля.

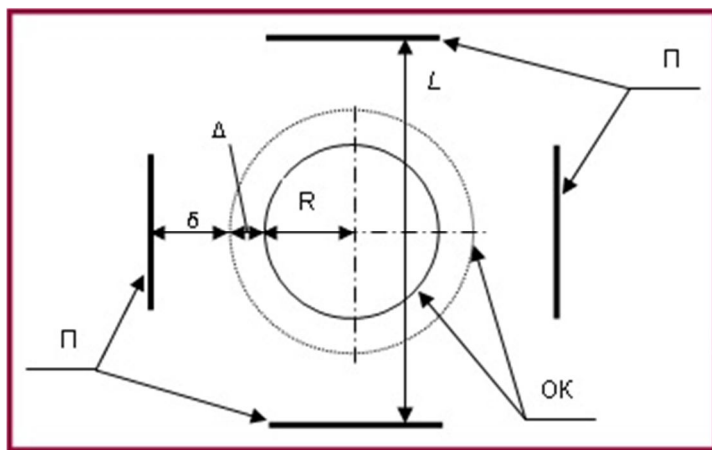
Дополнительным преимуществом такого способа является то, что на сигналы датчика практически не влияют влажность, давление и загрязненность газовой среды, радиоактивные излучения, загрязнения поверхности каната непроводящими веществами.

В ЮРГТУ (НПИ) в настоящее время создан и проходит испытания опытный образец устройства для контроля геометрических параметров стальных канатов, таких как его диаметра и волнистости стальных канатов. Реализуемый принцип контроля заключается в следующем. При известной

величине базы квадрата L (рис. 6), образованном из датчиков зазора (в качестве которых выступают вихретоковые ЭМП) диаметр контролируемого объекта D_k будет определяться по формуле , где n - число вихретоковых ЭМП.



Рис.5 Магнитные дефектоскопы серии «ДСКМ» ЮРГТУ (НПИ).



Расположение датчиков и объекта контроля:

П – преобразователи перемещения,
ОК – объект контроля,
 Δ – изменение зазора, вызванное
изменением диаметра ОК,
 δ – зазор между преобразователем,
 R – радиус ОК

Рис.6 Расположение датчиков и объекта контроля.

При осуществлении перемещения устройства по длине контролируемого каната (рис. 7) определяется профиль на контролируемом участке и рассчитывается параметр волнистости и ее шаг H_B :

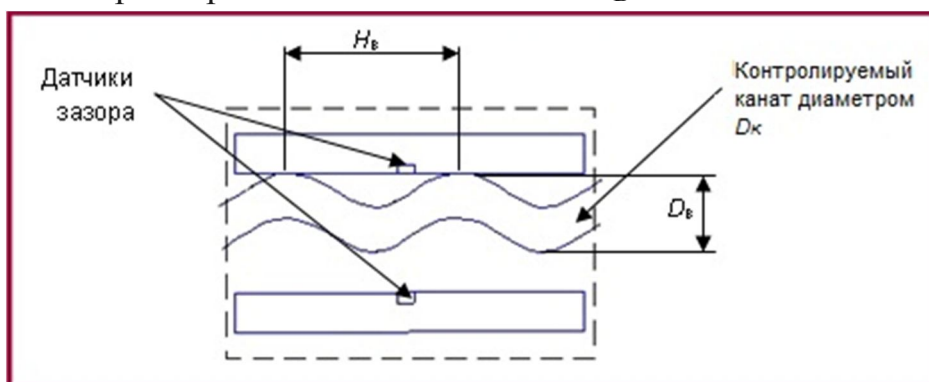


Рис.7 – К определению параметров волнистости стального каната.

В результате анализа особенностей алгоритма работы устройства, была синтезирована структура вихретокового ЭМП, изображенная на рис. 8, где ГВЧ – генератор высокой частоты, осуществляющей подачу напряжения высокой частоты на измерительный контур (КИ). Для настройки КИ в требуемый режим работы в его состав введен регулирующий элемент (ЭР). КР состоит из измерительного преобразователя и элементов, обеспечивающих его настройку в резонанс. Далее, снимаемое с него напряжение высокой частоты подается выпрямитель (В), где обеспечивается его выпрямление детектором (Д) и обработка фильтром низкой частоты (ФС), служащий для сглаживания и подавления высших гармоник в спектре выходного сигнала.

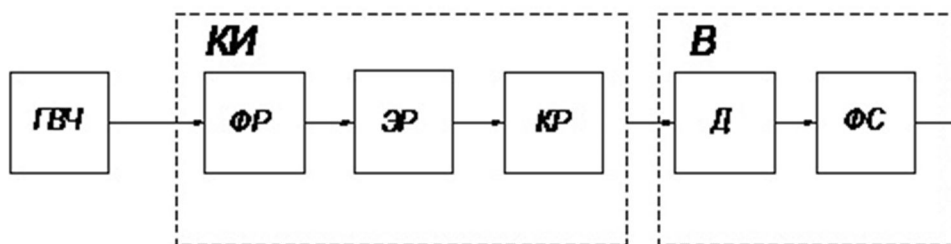


Рис. 8 - Структура вихретокового ЭМП.

Разработанный комплекс приборов позволяет определять большую часть дефектов по РД РОСЭК 012-97, связанных как с потерей количества металла, так и повреждений обусловленных изменением геометрических параметров стальных канатов. Его применение позволит обеспечить безопасную эксплуатацию особо опасных промышленных объектов, сохранить человеческие жизни, предотвратив многие катастрофы.

Контроль качества сварки

Радиационные методы контроля основаны на регистрации и анализе ионизирующего излучения при его взаимодействии с контролируемым изделием. Наиболее часто применяются методы контроля прошедшим излучением, основанные на различном поглощении ионизирующих излучений при прохождении через дефект и бездефектный участок сварного соединения (рис. 1). Интенсивность прошедшего излучения будет больше на участках меньшей толщины или меньшей плотности, в частности в местах дефектов - несплошностей или неметаллических включений.

Получают рентгеновское излучение в рентгеновских трубках. Испускаемые с накаливаемого катода электроны под действием высокого напряжения разгоняются в герметичном баллоне, из которого откачан воздух, и попадают на анод. При торможении электронов на аноде их энергия выделяется в виде фотонов различной длины волны, в том числе и рентгеновских. Чем больше ускоряющее напряжение, тем больше энергия образующихся фотонов и их проникающая способность.

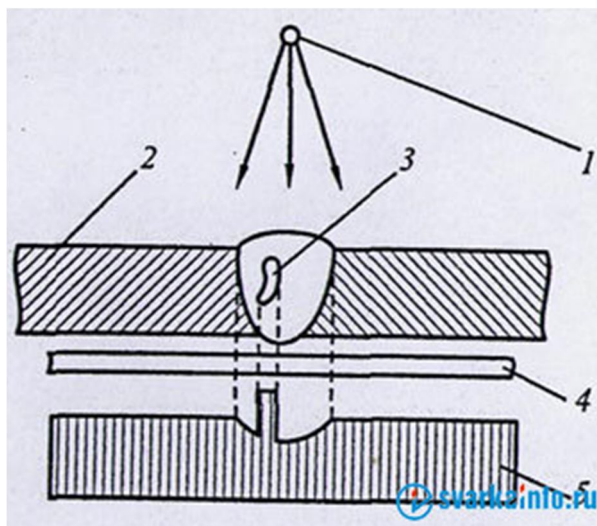


Рис. 1. Схема радиационного контроля прошедшим излучением:
1 - источник излучения; 2 - изделие; 3 - дефект; 4 - детектор (пленка); 5 - плотность излучения

Существуют различные схемы и большое количество марок рентгеновских аппаратов, как стационарных, так и переносных. В последнее время все большее распространение получают малогабаритные импульсные аппараты, позволяющие при малой мощности за счет малого времени импульса (1...3 мкс) при сравнительно большом токе (100...200 А) просвечивать достаточно большие толщины.

Просвечивание стыковых швов (рис. 2) обычно проводят перпендикулярно поверхности либо по направлению разделки кромок, так как возможно образование дефектов по линии сплавления. При контроле угловых швов направление просвечивания выбирают по биссектрисе угла либо по направлению разделки кромок. При контроле сварных соединений труб и коробчатых конструкций наилучшим вариантом является размещение источника излучения внутри изделия, так как в этом случае, во-первых, появляется возможность панорамного просвечивания за одну экспозицию, а во-вторых, стенки изделия ослабляют поток ионизирующего излучения в окружающую среду. При невозможности помещения источника излучения внутри просвечивание проводят снаружи, в том числе через две стенки под углом к оси шва во избежание наложения изображений швов друг на друга (рис. 2, в). Лишь около 1 % фотонов ионизирующего излучения, проходящих через пленку, взаимодействуют с ней. Поэтому для повышения чувствительности контроля и ускорения просвечивания используют усиливающие флуоресцентные или металлические экраны из фольги тяжелых металлов (чаще свинца), наклеенной на гибкий пластик.

Флуоресцентные экраны представляют собой пластмассовую или картонную подложку, на которую нанесен слой люминофора - вещества, светящегося под воздействием ионизирующего излучения. Они используются со специальными пленками, чувствительными к видимому ультрафиолетовому и инфракрасному излучениям. Наименьшие экспозиции получаются при использовании флуоресцентных экранов, а наилучшая чувствительность - при использовании металлических экранов.

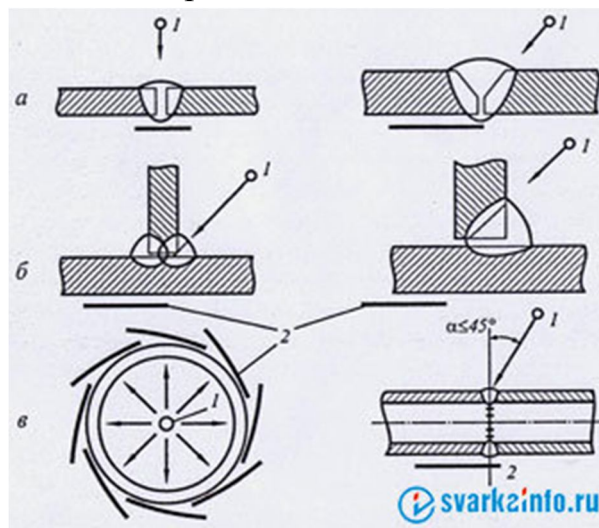


Рис. 2. Схемы радиографического контроля:

а - стыковых; б - угловых швов; в - труб; 1 — источник излучения; 2 — пленка

Радиографические пленки характеризуются чувствительностью к излучению и контрастностью. Чем больше чувствительность пленки, тем выше производительность контроля. Чем выше контрастность пленки, тем выше чувствительность контроля. Поэтому высококонтрастные пленки применяют при просвечивании ответственных изделий, а также легких металлов и деталей малой толщины.

Выявляемость дефектов при радиографическом контроле зависит также от резкости изображения. Причинами нерезкости могут быть образование в эмульсионном слое пленки фотоэлектронов (внутренняя нерезкость), рассеяние излучения в материале изделия (особенно при просвечивании изделий большой толщины), смещение или колебания относительного расположения источника, изделия и детектора (устраняются жестким закреплением) и отличие реальной формы источника излучения от точечной (геометрическая нерезкость). Для уменьшения геометрической нерезкости применяют источники излучения с возможно меньшим размером фокусного пятна, максимально приближают пленку к контролируемому изделию и увеличивают фокусное расстояние (от источника излучения до пленки).

Электромагнитно-акустический метод контроля состояния приповерхностного слоя сталепрокатных валков

Введение. В данное время в горно-металлургической промышленности актуальным вопросом является отслеживание технического состояния валков горячей прокатки с целью уменьшения вероятности их преждевременного выхода из строя вследствие значительных нагрузок, тепловых и химических воздействий при непрерывном режиме прокатки стальных листов.

Имеется шкала деградации рабочего органа от 1 до 4: при единице начинается зарождение в приповерхностном слое усталостных микротрещин, которые еще не раскрылись наружу, и четвертая стадия, самая опасная, когда трещины раскрылись на поверхности валков и продукция имеет брак (бороздки и линии на поверхности проката, неидеальная гладкость).

В данный момент на металлургическом заводе для автоматического наблюдения состояния поверхности валков никаких технических средств не применяются. Контроль происходит чисто визуально: оператор наблюдает за вышедшими листами проката и проверяет наличие брака (дефекты поверхности валков устанавливаются как факт).

Постановка задачи. Универсальных средств и методик оценки состояния валков, которые способствуют выявлению приповерхностных трещин, измерению их глубины, помогают определять места концентрации механических напряжений, измерять твердость рабочих поверхностей, исследовать температурные режимы прокатных валков в процессе эксплуатации в цеховых условиях в приборостроительной промышленности Украины нет. Отсутствуют нормативные документы, которые определяют требования к ним, применительно к сталепрокатному оборудованию.

Поэтому, возникает задача проанализировать в существующие методы неразрушающего контроля, исследовать и промоделировать влияние возмущающих факторов на характеристики и параметры многоканального комплекса автоматизированного контроля состояния приповерхностного слоя сталепрокатных валков.

Решение задачи и результаты исследований. По ГОСТ 18353-73 неразрушающий контроль классифицируется на виды: акустический, магнитный, оптический, радиационный, радиоволновый, тепловой, электрический, электромагнитный и электромагнитно-акустический.

Метод контроля состояния сталепрокатных валков должен быть бесконтактным, обеспечивать распознавание внутренних дефектов - трещин на стадии их зарождения, и поверхностных, если внутренние трещины уже раскрылись на поверхности. Самый простой способ контроля на производстве -

визуальный, суть которого состоит в том, чтобы технический персонал своевременно заметил на готовой продукции - листовом прокате дефектов (борозд и рельефных узоров) от раскрытых трещин на валках. После этого, производство приостанавливается на неопределенный срок для замены валков на новые, которые затем калибруются и настраиваются, а испорченный прокат отбраковывается. Технически заменить работника может только автоматизированная система, т.к. визуальный метод имеет много недостатков и не удовлетворяет современным требованиям.

Радиационный метод больше подходит для определения внутренних примесей материала, а поверхностных дефектов не распознает и не является дешевым. Радиоволновый метод применяется для контроля структуры, геометрии диэлектриков, и частично в измерениях толщины металлических изделий. Тепловые методы в нашем случае не применимы, так как в зоне мониторинга температура достаточно большая, и тепловой контраст контролируемого объекта не будет распознан. Чисто акустические методы (ультразвуковой, акустоэмиссионный и прочие) или магнитные (порошковый, вихретоковый и т.п.) не могут быть использованы поодиночке и требуют проводящей акустической среды.

Из всех рассмотренных выше методов наиболее подходит универсальный смешанный **электромагнитно-акустический (ЭМА)**. ЭМА способ основан на трех эффектах взаимодействия электромагнитного поля с объектом контроля (ОК): магнитострикции, магнитного и электродинамического взаимодействия.

Электродинамическое взаимодействие состоит в возбуждении в токопроводящем материале вихревых токов, которые взаимодействуют с постоянным магнитным полем и вызывают колебания «электронного газа», а это, в свою очередь, приводит к возбуждению колебаний атомов, т.е. кристаллической решетки материала (появляются механические напряжения, которые впоследствии приводят к возникновению упругих акустических колебаний).

С помощью ЭМА преобразователей удастся возбудить различные волны: горизонтальной, вертикальной поляризации, продольные, поперечные, Лэмба, Релея и т.д. Наиболее приемлемыми являются **наклонные поперечные волны горизонтальной поляризации**, что обусловлено ее минимальным коэффициентом затухания, дифракции, преломления в структуре металла. Волны данного типа можно возбудить с помощью пространственно-периодической системы магнитов, как показано на рис.1.

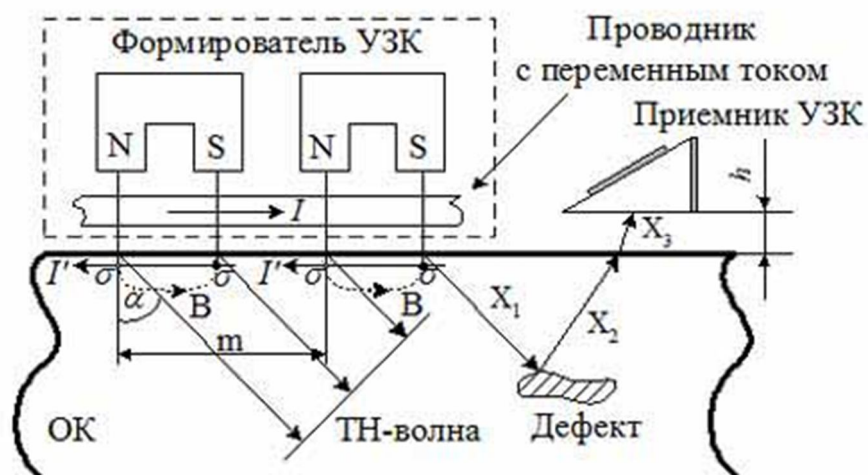


Рисунок 1 - Возбуждение акустической волны ЭМА способом

Суть метода состоит в том, что облучают объект контроля волной Релея, регистрируют трансформированную дефектом ультразвуковую волну: накладывают на объект контроля магнитное поле и регистрируют рассеянный дефектом магнитный поток, модулированный ультразвуковой волной, по амплитуде и поляризации трансформированной ультразвуковой волны. По переменной составляющей рассеянного магнитного потока судят о глубине, ориентации и раскрытии дефекта.

Технически данный принцип реализуется так: между магнитами и ОК располагают проводники с переменным током I (на рис.1 показан один из проводников). Взаимодействие наведенного тока I' с силовыми линиями магнитного поля B приводит к возникновению упругих сил, направленных перпендикулярно плоскости рисунка (σ). Это и требуется для возбуждения наклонных поперечных волн, поляризованных перпендикулярно плоскости преломления.

Общее правило, которым следует руководствоваться при проектировании ЭМА преобразователя для возбуждения волн определенного типа, состоит в том, что возникающие при электродинамическом взаимодействии механические напряжения σ пропорциональны векторному произведению индуцированного в изделии переменного тока I' на индукцию магнитного поля B :

$$\sigma \sim I' \times B. \quad (1)$$

Расстояние между одноименными полюсами магнитов m выбирается из условия:

$$m = \lambda / \sin(\alpha), \quad (2)$$

где λ - длина поперечной волны, α - угол распространения УЗК. ЭМА-преобразователи в настоящее время получили наибольшее

распространение в качестве средства бесконтактного излучения и приема ультразвуковых волн. Это объясняется их относительно большим коэффициентом преобразования по сравнению с другими способами бесконтактного возбуждения акустических волн (на частотах, обычно применяемых в дефектоскопии), их широкополосностью, возможностью возбуждать волны самого различного типа, слабой зависимостью преобразования от неровностей поверхности (проверку можно производить при наличии окалины на валках), применимостью ЭМА-преобразователей для контроля не только холодных, но и горячих изделий.

Была составлена структурная схема разрабатываемой электронной системы, которая приведена на рис.2. На структурной схеме используются такие блоки: датчики каналов 1..N - пьезоэлектрические акустические преобразователи ультразвуковых колебаний; измерительный датчик канала температурной компенсации; преобразователи параметр электрической цепи - электрический сигнал (Пр); нормирующие преобразователи (НПр), предназначенные для преобразования измеренных акустических сигналов в унифицированный сигнал тока или напряжения; линии связи (ЛС); согласующие усилители (СУ); мультиплексор аналоговых сигналов (МАС); устройство выборки-хранения (УВХ); аналогово-цифровой преобразователь (АЦП); микропроцессорное устройство (МПУ), обеспечивающее обработку полученных данных, принятие решений и выработку сигналов управления СУ1..3 соответственно МАС, УВХ, АЦП; постоянное запоминающее устройство (РАМ) для хранения данных; дисплей отображения информации (ДОИ).

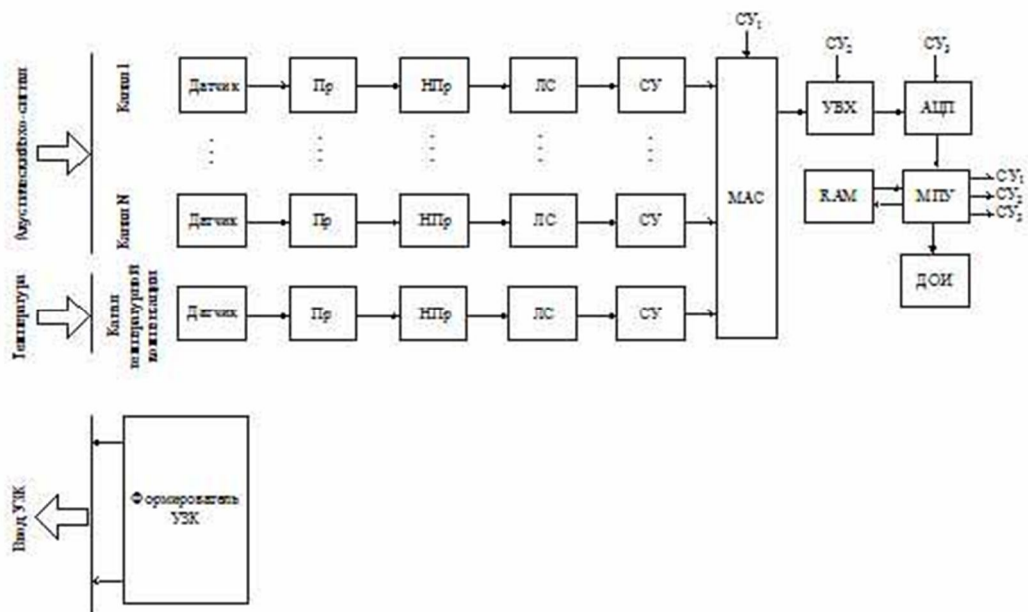


Рисунок 2 - Структурная схема разрабатываемой электронной системы

Заключение. Подытожим проведенный обзор следующими выводами:

1) учитывая режимы работы, внешние факторы, технологию производства был аргументировано выбран метод неразрушающего контроля состояния приповерхностного слоя сталепрокатных валков - электромагнитно-акустический;

2) одним из важнейших достоинств ЭМА-метода является возможность его использования при высоких температурах (до 1300°C), а так же то, что он является бесконтактным с ОК, недостатками же следует считать громоздкость преобразователей из-за необходимости сильного подмагничивания и малый коэффициент преобразования;

3) предложено устройство, реализующее данный способ контроля, содержит электромагнитно-акустические преобразователи (излучения - формирователь УЗК и приема - датчики), усилитель, блок измерения информативных параметров, соединенный с дефектоскопом, и блок принятия решения. Ожидаемый технический результат: повышение чувствительности и надежности контроля