

А. В. АНИСИМОВ

ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» (Жлобин, Беларусь)

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ В УСЛОВИЯХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Аннотация

Приведено краткое описание методов и оборудования автоматизированного неразрушающего контроля проката и бесшовных труб, применяемых в условиях металлургического предприятия.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, ультразвуковой метод контроля, вихретоковый метод контроля, бесшовные трубы, сортовой прокат.

Лаборатория неразрушающего контроля (ЛНК) в ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» была создана в апреле 2007 года. В настоящее время численность персонала ЛНК составляет 80 человек, из которых шестеро инженерно-технические работники и 74 – дефектоскописты. Основным направлением деятельности лаборатории является проведение автоматизированного неразрушающего контроля бесшовных труб нефтегазового сортамента диаметром от 30 до 170 мм и круглого проката диаметром от 20 до 160 мм. Весь персонал лаборатории имеет сертификаты на второй уровень компетентности по соответствующему виду контроля. В ЛНК используется автоматизированное оборудование ультразвукового контроля, вихретокового контроля и оборудование для контроля методом магнитного потока рассеяния.

Основными этапами контроля являются: настройка оборудования, проведение неразрушающего контроля, доработка (по возможности) отсортированной продукции, оформление результатов.

Настройка оборудования выполняется по настроечным образцам, имеющим тот же типоразмер и марку стали, что и контролируемый прокат. На образце имеются искусственные дефекты, тип и размер которых регламентируются требованиями соответствующих стандартов.

При автоматизированном неразрушающем контроле обеспечивается выявление естественных дефектов, амплитуда сигналов от которых равна или превышает амплитуду сигнала, полученного от искусственного дефекта на настроечном образце. Вид и размеры выявляемых естественных дефектов, при автоматизированном контроле не определяются. Продукция, на которой фиксируются амплитуды сигналов, превышающие амплитуды на контрольном образце, автоматически передается в зону ремонта; годная – следует на упаковку.

Подробно рассмотрим автоматизированные установки, эксплуатирующиеся на предприятии.

Автоматизированная установка «Волна – 7» (Россия) используется для ультразвукового контроля сортового проката круглого сечения и состоит из двух

частей: системы контроля внутренних дефектов сортового проката круглого сечения и системы контроля дефектов поверхности.

Система контроля внутренних дефектов содержит четыре многоканальных пьезоэлектрических преобразователя типа П122-4,0-0/35-Север. Каналы зондирования идентичны по составу и включают: пьезоэлектрическую фазированную решетку (ПФР) на пять фиксированных позиций угла ввода ультразвуковых волн, блок предварительного усиления сигнала с каскадом защиты и согласования, блок основного усиления, генератор зондирующих импульсов. Система контроля поверхностных дефектов содержит два электромагнитных акустических преобразователя типа П421-0.98-85°, генерирующих поверхностную волну Релея. Электроника обеспечивает работу в совмещенном режиме 4-х каналов контроля (по два на каждый ЭМАП). Возбужденные в металле ультразвуковые колебания проходя по сечению прутка и отражаясь от возможных дефектов, принимаются этим же ЭМАП и преобразуются в электрические сигналы. В составе установки «ВОЛНА-7-03» выделяют: механическое оборудование с пневматической системой и системой предварительного смачивания; оборудование автоматики с системой контроля и управления и вычислительным комплексом управления, оборудование акустической электроники с вычислительным комплексом обработки данных.

По результатам контроля (в соответствии с установленными значениями чувствительности и выбранными критериями контроля) на экране монитора формируется карта дефектных зон прозвученной части объекта контроля. Параллельно дефектоотметчик маркирует дефектные сечения прутка. После окончания контроля прутки классифицируются как «годный», или «брак» и отправляется на соответствующий накопительный стол. Далее, протоколы контроля прутков сохраняются в памяти компьютера, и впоследствии могут быть распечатаны на принтере или перенесены на цифровой носитель.

Ультразвуковая дефектоскопическая установка ROT 180VIS (Германия) предназначена для контроля нарушений сплошности поверхности и толщинометрии бесшовных труб наружным диаметром от 30 до 170 мм и толщиной стенки от 4,0 до 24 мм. Длина контролируемых труб от 6 до 15 метров. Максимальная скорость прохождения трубы – 50 м/мин.

Поверхность труб, подаваемых на контроль, должна быть чистой, без остатков отслаивающейся окалины. Концы трубы должны быть обработаны, без завернутого наружу или внутрь торцевого среза. Криволинейность трубы допускается не более 2 мм/м, но не более 15 мм на всю длину трубы. Овальность – не более 1 %. Контроль сплошности металла и измерение толщины стенки трубы осуществляется эхо-импульсным методом в иммерсионном варианте. В качестве иммерсионной жидкости используется пресная вода. Сканирование трубы осуществляется по спирали.

Прозвучивание выполняется:

- поперечными волнами, распространяющимися в стенке трубы перпендикулярно образующей цилиндрической поверхности трубы в двух

противоположных направлениях для выявления продольно ориентированных дефектов;

- продольными волнами, направленными по нормали к трубе при измерении толщины стенки трубы.

- поперечными волнами, распространяющимися в стенке трубы под углом примерно 45° к образующей цилиндрической поверхности трубы в одной плоскости в двух противоположных направлениях для выявления поперечно-ориентированных дефектов.

Конструктивно в состав дефектоскопической установки ROT 180VIS входят:

- система подачи воды с фильтром и системой охлаждения;
- устройство подачи и вывода труб из зоны контроля;
- блок ротационной контрольной механики;
- блок контрольной электроники.

Информация о результатах контроля выдается на экран монитора компьютера, распечатывается на принтере и хранится на жестком диске компьютера.

Установка EDDYCHECK 5 (Германия) предназначена для непрерывного автоматизированного вихретокового контроля труб с целью обнаружения разноориентированных поверхностных и подповерхностных (до 2 мм глубины залегания) дефектов типа трещин, рисок, плен, царапин, задиров и т. п., размагничивания труб по окончании контроля и цветной маркировки участков труб с выявленными дефектами. На контроль подаются бесшовные горячедеформированные трубы диаметром от 21 до 170 мм с толщиной стенки от 2,5 до 25,0 мм и длиной не менее 4 м. Скорость автоматизированного контроля составляет от 0,3 до 2,5 м/с в зависимости от типоразмера контролируемых труб. Контроль проводится по дифференциальной схеме с дополнительной оценкой векторного сигнала.

Установка включает в себя: контрольный стенд, контрольные катушки, системы намагничивания и размагничивания и периферийное оборудование (устройство дефектоотметки, сельсин-датчики). Управление установкой осуществляется через ЭВМ с помощью программного обеспечения EDDYCHECK 5 и программы Data Logger.

В процессе выполнения вихретокового контроля амплитуда и составляющие сигналы (*RT* и *XY* графики) записываются. Данные можно анализировать, распечатывать или, если потребуется, хранить в HTML-формате для последующего выпуска документации.

Автоматизированная установка магнитопорошкового контроля CGM MAGISFLUSS предназначена для контроля ферромагнитных заготовок квадратного сечения (140x140 мм) длиной от 8 до 12 м и блюмов (250x300 мм) длиной от 2,5 до 5,5 м. Контроль дефектов поверхности осуществляется методом продольного и поперечного намагничивания с постоянным нанесением флуоресцентной суспензии.

Поверхность контролируемых заготовок и блюмов должна проходить дробеструйную очистку и не должны содержать остатков отслаивающейся окалины. Концы должны быть обработаны без завернутого торцевого среза.

При магнитопорошковом контроле обеспечивается выявление дефектов поверхности продольной, поперечной и наклонной ориентации. Минимально выявляемые дефекты с учетом шероховатости поверхности контроля имеют размерность на менее 0,5x0,15x10 мм. Оборудование работает в старт-стоп режиме.

Система состоит из следующих основных блоков:

- блок для промывки заготовок после дробеструйной обработки;
- блок очистки воды с полосовым фильтром;
- генератор поперечного намагничивания для выявления продольно ориентированных дефектов;
- генератор продольного намагничивания для выявления поперечно ориентированных дефектов:
- блок рециркуляции магнитной суспензии, который предназначен для подачи суспензии на заготовку, сбора стекающей суспензии и ее перемешивания;
- ультрафиолетовые фонари по 4 с каждой стороны, с фильтром 365 нм и лампами мощностью 250 Вт;
- выносной пульт управления и основной пульт управления.

Автоматизированная установка Foerster Circoflux Ro100 (Германия) работает на основе детектирования потока рассеяния переменного магнитного поля, возникающего над дефектом поверхности прутка. Два намагничивающих ярма, через которые переменный ток намагничивает прутки в поперечном направлении без физического контакта, двигаются вокруг окружности материала контроля. Зазор между ярмом и прутком составляет несколько миллиметров. Контрольные башмаки с защищенными датчиками, расположенными между полюсами ярма, сканируют поверхность с физическим контактом.

Оборудование предназначено для контроля проката диаметром от 20 до 80 мм, длиной от 4 до 12 м из ферромагнитных материалов. Поверхность контролируемого проката должна быть чистой, без остатков отслаивающейся окалины. Торцы должны быть обработаны, без стружки, без завернутого наружу торцевого среза.

Допускается отклонение от номинального диаметра контролируемых прутков $\pm 2,5$ мм, овальность прутков не более 80 % от допуска по диаметру и отклонение от прямолинейности не более 2 мм/м и не более 10 мм на всю длину прутка.

Размер минимально выявляемого дефекта зависит от уровня помех, который в свою очередь зависит от поверхности материала контроля, шероховатости поверхности, магнитной неоднородности, а также от центровки и скорости контроля. Обнаружение дефекта в областях, имеющих заусенцы, направленные выступы, переполения, точки разрушения и т.д. не надежно воспроизводимы или ограничены в значительной степени. Отношение сигнал/шум должно быть не менее 3:1. Обнаруживаются только продольные дефекты поверхности. Гарантировано выявляется дефект, эквивалентный продольному прямоугольному пазу глубиной от 0,2 мм. Дефекты глубиной от 0,1 мм до 0,05 мм могут также быть обнаружены, в зависимости от шероховатости поверхности, обычно на обточенных прутках.

Система ультразвукового контроля прутков OLYMPUS (Канада)

использует технологию ультразвуковых фазированных решеток для выявления подповерхностных и внутренних дефектов на стальных прутках круглого сечения с диаметром от 20 до 80 мм и длиной от 4 до 13 м, овальностью не более 2 %, кривизной прутка не более 2 мм на 1 м и не более 10 мм на всей длине прутка. Поверхность контролируемых прутков должна быть чистой, без остатков отслаивающейся окалины. Скорость контроля – регулируемая от 0,4 до 1,2 м/с в зависимости от диаметра прутка и уровня чувствительности контроля.

Как и в традиционных ультразвуковых приборах, так и в фазированных решетках высокочастотные звуковые волны применяются для проверки внутренней структуры исследуемого образца или измерения его толщины; оба типа приборов используют одни и те же основные физические законы, определяющие распространение звуковой волны. Обе ультразвуковые технологии используют аналогичные концепции представления ультразвуковых данных.

Оборудование с фазированными решетками создает необходимые схемы возбуждения (законы фокусировки) для узлов преобразователей с минимум 16 и максимум 256 элементами. В отличие от традиционных дефектоскопов, системы фазированных решеток обеспечивают прохождение ультразвукового луча преобразователя под диапазоном различных углов преломления или вдоль прямолинейной траектории, а также могут динамически сфокусировать луч на ряде различных глубин, тем самым увеличивая гибкость и возможности настройки контроля. Эта дополнительная способность генерировать множественные пути в рамках одного преобразователя очень эффективна при выявлении дефектов и обеспечивает «визуализацию» контроля за счет создания изображения зоны контроля. Полученные с помощью фазированных решеток изображения позволяют отследить относительные изменения от точки до точки и отражения от дефектов под разными углами, тем самым определяя размеры дефектов. Несмотря на кажущуюся сложность, технология расширяет границы контроля и одновременно улучшает обнаружение дефектов за счет исключения сложных приспособлений и множественных преобразователей, необходимых в традиционных методах УЗК.

Контроль круглых прутков проводится вогнутыми фазированными преобразователями перпендикулярно к оси прутка. Пруток проходит через водяной резервуар, в котором находится ультразвуковая инспекционная стойка с установленными в кассеты ПФР. Преобразователи охватывают весь пруток по окружности. Для проведения контроля всего объема прутка используется 6 ПФР. Контроль продольной волной позволяет выявить дефекты, эквивалентные боковым отверстиям с диаметром от 0,8 до 12 мм и плоскостным отверстиям с диаметром от 1 мм. Однако продольная волна не позволяет выявлять дефекты, залегающие на глубине до 3 мм под поверхностью прутка.

Для выявления подповерхностных дефектов ПФР переходит в режим контроля поперечной волной. При контроле поперечной волной существует два направления: по часовой стрелке и против часовой стрелки. Направление определяется проекцией исследуемого прутка на входе. В рамках фазированной

решетки направление контроля легко задается за счет электронного «качания» углов ввода ультразвуковых лучей преобразователя.

Основной особенностью технологии ультразвуковых фазированных решеток является управляемое компьютером возбуждение (законы фокусировки) отдельных элементов в многоэлементном преобразователе. Такое возбуждение позволяет генерировать сфокусированный ультразвуковой пучок, некоторые параметры которого (угол, фокусное расстояние и размер фокального пятна) могут изменяться программно. Информация о проводимом контроле может представляться в виде А-скана, В-скана и С-скана. В-скан всегда используется в сочетании с А-сканом. А-скан может использоваться для эффективной проверки амплитуды, тогда как В-скан показывает перекрытие дефекта законами фокусировки. А - скан и В - скан отображаются в режиме реального времени. Другими словами, данные доступны только при распространении ультразвуковых волн в исследуемом образце. С - скан – двумерное представление ультразвуковых данных в качестве горизонтальной проекции (вид сверху) объекта контроля. Существует две оси: ось сканирования и ось индексирования. В традиционных ультразвуковых системах обе оси являются механическими. В технологии фазированных решеток одна ось механическая, а другая – электронная. Положение отображаемых данных соотносится с положением кодировщика в процессе сбора данных. Только максимальная амплитуда в каждой точке (пикселе) проектируется на данную горизонтальную область просмотра «оси сканирования»

В технологии фазированных решеток используются преобразователи из нескольких отдельных генерирующих элементов, некоторые из них используются для создания канала, рассматриваемого как больший генератор единичных импульсов. Фазированная решетка из 16 каналов аналогична использованию 16 смежных традиционных преобразователей меньшего размера. Не все элементы преобразователя идентичны, каждый канал обладает разной чувствительностью. Процесс настройки подразумевает выравнивание усиления каждого канала для выявления дефектов с корректной амплитудой по всем каналам, независимо от чувствительности каналов. Все каналы выявляют дефект, например, с амплитудой около 65 %.

Дефектное сечение автоматически маркируется краской. В дальнейшем отсортированная продукция подвергается ручному ультразвуковому или магнитопорошковому контролю для подтверждения и локализации дефектов. Продукция с внутренними дефектами обычно неремонтопригодна, кроме случаев когда дефектный участок можно вырезать, а длина оставшейся части удовлетворяет требованиям заказа. Дефекты, выявленные на наружной поверхности, подвергаются абразивной зачистке. Если геометрия зачищенного участка удовлетворяет требованиям заказа, такая продукция переводится в годную.

Таким образом, ОАО «БМЗ» обладает полным спектром оборудования неразрушающего контроля для обеспечения качества выпускаемого проката и бесшовных труб в соответствии с требованиями мировых стандартов.

Контакты:

lnk.otk@bmz.gomel.by (Анисимов Алексей Валерьевич).