

About Eddy Current Inspection of Steel Tubes During Manufacturing Process

S. M. Petushkov

Three basic methods of eddy current testing of steel tubes during manufacturing process and special features of their practical application are considered. These methods can be realized with the use of eddy current flaw detector VD-516CT.



О ВИХРЕТОВОМ КОНТРОЛЕ СТАЛЬНЫХ ТРУБ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА

Введение

Потребность в вихретоковом контроле (ВТК) стальных труб возникает как у производителей, так и у потребителей этой продукции.

Каждый производитель труб заинтересован в ВТК как в инструменте, который позволяет своевременно отслеживать сбои в технологии, проводить ее совершенствование и тем самым повышать качество своей продукции. Важно и то, что ВТК прописан практически во всех отечественных и зарубежных нормативных документах, регламентирующих производство стальных труб, как обязательная технологическая операция. Многие покупатели труб внимательно следят за выполнением этого требования.

Потребители труб, использующие трубы как комплектующие элементы в своем производстве, например, заводы по выпуску теплообменных аппаратов, заинтересованы в том, чтобы исключить малейшую возможность попадания труб с дефектами в готовую продукцию. Ремонтировать уже изготовленное оборудование значительно сложнее и дороже, чем выполнить входной ВТК труб.

Известны преимущества ВТК по сравнению с другими видами НК, которые

явно проявляются при обследовании стальных труб:

- высокая чувствительность к дефектам;
- бесконтактность;
- большие возможности для автоматизации;
- высокая производительность;
- возможность использования при высоких температурах контролируемого металла и при наличии в зоне контроля жидкостей (воды, эмульсии и др.).

Все это позволяет успешно встраивать вихретоковое оборудование в трубные станы, даже в те, которые проработали уже много лет. При этом не происходит замедления скорости выхода готовых труб и нет необходимости организовывать специальные линии дефектоскопии. После контроля на трубах не остается каких-либо веществ (масел, воды и др.).

ВТК позволяет выявлять множество дефектов труб: трещины, плены, закаты, задиры, волосовины, раковины и др. Для сварных труб следует упомянуть также непровары и другие дефекты, вызванные сбоями в работе сварочного оборудования.

Технология ВТК стальных труб известна уже не один десяток лет. На многих металлургических и машиностроительных заводах накоплен большой опыт в проведении этого вида контроля. Разработаны международные стандарты, устанавливающие основные требования к ВТК

стальных труб [2 – 5]. Несмотря на это специалисты многих предприятий, где ВТК труб только начинает внедряться, часто испытывают сложности с оценкой возможностей этого вида НК, с выбором вихретокового оборудования и отработкой технологии контроля.

Эта статья имеет своей целью прояснить эти и другие вопросы, связанные с практическим использованием ВТК стальных труб на производстве.

В качестве примеров будут использованы различные варианты применения многоканального вихретокового дефектоскопа ВД-516ЦТ (рис. 1), который специально разработан для автоматизированного контроля труб как ферромагнитных, так и неферромагнитных. Все три метода контроля стальных труб, которые будут рассмотрены, могут быть реализованы с помощью этого дефектоскопа.



Рис. 1. Вихретоковый дефектоскоп ВД-516ЦТ



Петушков Сергей Михайлович

Заведующий лабораторией электромагнитной и капиллярной дефектоскопии ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», к. т. н., III уровень по вихретоковому виду НК

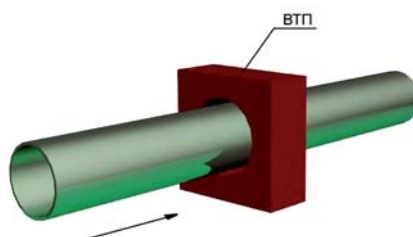


Рис. 2. Схема метода проходных ВТП



Рис. 3. Проходные ВТП из комплекта дефектоскопа ВД-516ЦТ

Физические принципы

В процессе контроля вихревые токи создаются в стенке трубы с помощью обмотки возбуждения вихретокового преобразователя (ВТП). При наличии в металле дефектов возникает искажение первичного распределения и изменение интенсивности вихревых токов, что регистрируется с помощью измерительной обмотки ВТП. В отличие от случая трансформаторного ВТП при использовании параметрического ВТП возбуждение вихревых токов и прием сигналов осуществляются с помощью одних и тех же катушек.

Вихревые токи концентрируются вблизи наружной поверхности трубы, т. е. ВТП в данном случае располагается снаружи. Глубина проникновения вихревых токов зависит от удельной электрической проводимости и магнитной проницаемости металла, а также от частоты тока возбуждения (частоты вихревых токов).

Если труба изготовлена из неферромагнитного материала, например, из аустенитной нержавеющей стали, то нетрудно подобрать частоту тока возбуждения, при которой глубина проникновения вихревых токов будет соизмерима с толщиной стенки трубы. В этом случае будут выявляться дефекты при любой глубине их залегания, хотя с удалением дефектов от наружной поверхности чувствительность к ним будет снижаться.

Сложнее ситуация с ферромагнитными трубами, когда даже на низких частотах глубина проникновения вихревых токов настолько мала, что есть возможность обнаруживать только те дефекты, которые выходят на наружную поверхность трубы. Кроме того, сильным мешающим фактором при ВТК являются изменения магнитной проницаемости металла, которые характерны для ферромагнитных сталей.

Чтобы сделать контролируемый участок трубы немагнитным и, тем самым, решить эти проблемы, надо намагнитить его до насыщения с помощью постоянно-

го магнитного поля. Для его создания используются специальные намагничивающие устройства (магнитные ярма) различных конструкций.

Намагничивание необходимо и в случае контроля аустенитных нержавеющей труб, в которых присутствуют слабомагнитные участки, являющиеся источником значительных помех при проведении ВТК.

Основные методы контроля, используемые при ВТК стальных труб в процессе производства, представлены в документах [2 – 5].

Метод проходных ВТП

Метод проходных ВТП, когда вихретоковые катушки охватывают трубу, схематично представлен на рис. 2. В этом случае труба контролируется по всей окружности.

Проходные ВТП позволяют получать интегральную оценку состояния металла по всему сечению трубы без возможности определения азимутальной координаты дефекта. На рис. 3. показаны некоторые из проходных ВТП, которыми может комплектоваться дефектоскоп ВД-516ЦТ.

Каждый из проходных ВТП имеет дифференциальную и абсолютную измерительные обмотки, которые подключены к соответствующим каналам дефектоскопа. Дифференциальный канал является основным и позволяет успешно выявлять поперечные и короткие продольные дефекты (рис. 4а). Однако обнаружить с помощью этого канала протяженные продольные дефекты с неизменной по длине глубиной, например, царапины или непровары продольного шва, часто не удается. В лучшем случае будут зарегистрированы сигналы от краев дефекта (рис. 4б). Для обнаружения протяженных продольных дефектов предназначен абсолютный канал, хотя следует отметить, что на практике он используется очень редко.

Метод проходных ВТП является самым распространенным для труб небольшо-

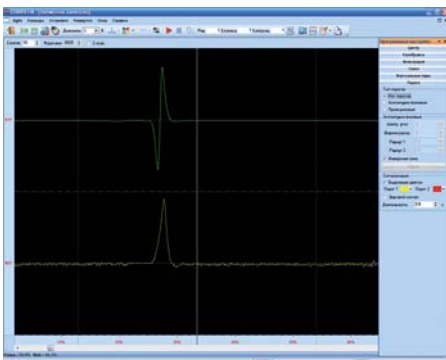
го диаметра. Но чем больше диаметр трубы, тем сложнее реализация этого метода. На практике с помощью проходных ВТП контролируют трубы диаметром до 240 мм, хотя в некоторых стандартах указана верхняя граница применимости этого метода – 180 мм.

Следует иметь в виду, что при контроле ферромагнитных труб с увеличением их диаметра возрастают размеры и масса намагничивающего устройства (рис. 5). Например, если для контроля труб диаметром до 40 мм можно использовать магнитное ярмо массой 60 кг, то для контроля труб диаметром до 240 мм уже требуется ярмо массой не менее 700 кг.

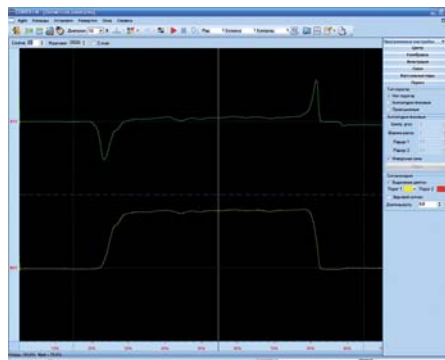
Для настройки дефектоскопа при использовании проходных ВТП применяют СОП с тремя искусственными дефектами типа «радиальное сквозное цилиндрическое отверстие». Эти отверстия должны быть смещены друг от друга по окружности на 120° , а в продольном направлении – на расстояние, достаточное для получения отдельных сигналов. Возможно использование и одного отверстия, но в этом случае СОП надо сканировать четыре раза (при его положениях 0° , 90° , 180° , 270°). Оба варианта позволяют с помощью механических регулировок положения ВТП относительно трубы добиться независимости величины сигнала от местоположения дефекта по окружности. Для сварных труб одно из трех отверстий (либо одиночное отверстие) должно располагаться на сварном шве.

Диаметр контрольных отверстий обычно выбирается из диапазона $0,6 \div 3,7$ мм с учетом требований нормативных документов на данный вид контроля и технических условий на трубы, в которых указываются значения диаметра этих отверстий в зависимости от диаметра контролируемых труб.

При оценке возможностей как этого, так и других методов контроля труб надо учитывать, что из всего многообразия (по форме, ориентации, разме-



а



б

Рис. 4. Сигналы дифференциального (зеленый) и абсолютного (желтый) каналов от короткого (а) и длинного (б) продольных дефектов



Рис. 5. Намагничивающее устройство для контроля проходными ВТП

рам) реальных несплошностей металла будут выявляться только те дефекты, воздействие которых на сигнал ВТП эквивалентно или больше воздействия контрольного искусственного дефекта, в данном случае сквозного отверстия.

Важный практический вопрос: какое количество типоразмеров проходных ВТП должно быть в комплекте вихревого дефектоскопа, если планируется контролировать трубы различного диаметра? Другими словами, на сколько диаметр ВТП может отличаться от диаметра труб, учитывая, что увеличение зазора между поверхностью трубы и вихрековыми катушками существенно ослабляет чувствительность к дефектам?

Для наиболее качественного контроля диаметр ВТП должен превышать диаметр труб не более чем на $1 \div 2$ мм. На практике максимальное значение этого параметра обычно составляет $4 \div 6$ мм, а для труб большого диаметра (в рамках указанного выше диапазона) – 10 мм.

Говоря об особенностях практического применения рассматриваемого метода, нельзя забывать о сложностях замены проходных ВТП в станах по производству сварных труб (с продольным швом), когда труба является «бесконечной».

Метод сегментных ВТП

Метод сегментных ВТП используется для контроля сварных прямошовных труб. В отличие от метода проходных ВТП в данном случае контролируется не вся труба, а только сварной шов и околшовая зона, т. е. некоторый сегмент сечения трубы. Для этого используются накладные ВТП, расположенные над сварным швом (рис. 6). Ширина зоны контроля обычно составляет от ± 10 до ± 40 мм относительно шва, что гарантирует попадание шва в контролируемую зону даже при его возможных небольших технологических смещениях относительно нормального (12-часового) положения.

В данном случае намагничивать всю трубу не требуется, поэтому используют

ся устройства с локальным намагничиванием. На рис. 7 показано намагничивающее устройство, используемое при контроле шва сварных труб с помощью дефектоскопа ВД-516ЦТ. Конструкция устройства обеспечивает взаимное перемещение трубы и накладного ВТП с фиксированным зазором, что важно для поддержания постоянной чувствительности контроля. Обычно контроль проводят при зазоре от 1 до 3 мм, принимая во внимание, что с увеличением зазора на 1 мм чувствительность к дефектам уменьшается примерно в 2 раза.

Верхнего ограничения по диаметру контролируемых труб для метода сегментных ВТП не существует.

Основные преимущества этого метода проявляются при контроле сварных труб диаметром свыше 100 мм, а именно:

- намагничивающее устройство не такое громоздкое, как для случая проходных ВТП;
- для замены ВТП не требуется отрезать «бесконечную» трубу.

Для настройки дефектоскопа используется тот же тип искусственного дефекта, что и в методе проходных ВТП, т. е. сквозное отверстие. Оно должно быть выполнено в сварном шве.

При ВТК сварных труб иногда практикуется нанесение контрольных отверстий непосредственно на движущуюся в стане трубу.

Метод вращения трубы или ВТП

В данном случае результирующей траекторией движения ВТП относительно трубы является винтовая линия (рис. 8) как при неподвижном накладном ВТП и поступательно-вращательном движении трубы, так и при вращающемся накладном ВТП и продольном движении трубы. Такая технология позволяет проводить контроль всей наружной поверхности трубы при больших диаметрах труб, когда использование проходных ВТП становится проблематичным либо совсем невозможным.

Помимо отсутствия верхнего ограничения по диаметру контролируемых труб этот метод имеет и другие преимущества по сравнению с методом проходных ВТП. Использование накладного ВТП позволяет повысить локальность контроля и, если это необходимо, определять азимутальное расположение и ориентацию дефекта. Кроме того, этот метод более эффективен для выявления протяженных продольных дефектов.

В то же время, метод с применением вращения трубы или ВТП имеет ряд негативных особенностей. Во-первых, это необходимость использования дополнительных механических устройств, обеспечивающих это вращение. Для связи вращающегося ВТП с дефектоскопом требуются специальные токосъемники. Во-вторых, при данном методе контроля намагничивание трубы обычно не применяется, и поэтому в ферромагнитных трубах выявляются только те дефекты, которые расположены на наружной поверхности трубы. В-третьих, при использовании этого метода поперечные дефекты обычно не обнаруживаются. В-четвертых, зона контроля накладного ВТП существенно меньше, чем у проходного, поэтому предельная производительность контроля при использовании этого метода также меньше, чем для метода проходных ВТП.

Для повышения производительности контроля вращающейся трубы накладной ВТП выполняют многоэлементным [1]. На рис. 9 представлен многоэлементный накладной ВТП к дефектоскопу ВД-516ЦТ для автоматизированной проверки бесшовных горячекатаных труб, которые в процессе контроля двигаются поступательно-вращательно с помощью

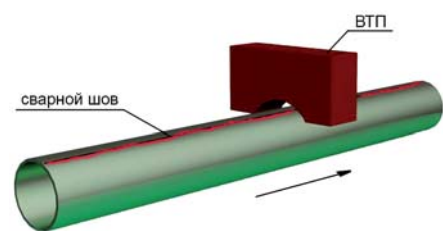


Рис. 6. Схема метода сегментных ВТП

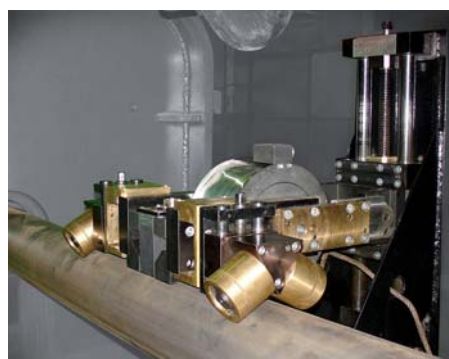


Рис. 7. Намагничивающее устройство для контроля сегментными ВТП

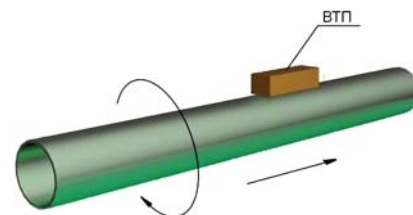


Рис. 8. Схема метода вращения трубы или ВТП



Рис. 9. Многоэлементный накладной ВТП из комплекта дефектоскопа ВД-516ЦТ

специального рольганга. Этот ВТП имеет 11 локальных чувствительных элементов. Ширина зоны контроля ВТП 130 мм.

В качестве настроечного дефекта при методе вращения трубы или ВТП чаще всего используется дефект на наружной поверхности трубы типа «продольная прямоугольная риска». Глубина этой риски выбирается из диапазона $5 \div 15$ % от толщины стенки трубы, но обычно не менее 0,5 и не более 1,5 мм. Длина риски – не более 50 мм.

Дополнительные возможности

Если при ВТК стальных труб используется компьютерный дефектоскоп со специальными программными средствами, то эффективность контроля значительно повышается.

Среди многих возможностей программного обеспечения дефектоскопа ВД-516ЦТ можно выделить следующие:

- автоматическое управление началом и окончанием сбора данных в зависимости от наличия трубы в зоне контроля;
- подавление шумов с помощью цифро-

вой фильтрации;

- отображение сигналов, в т. ч. многопараметровых, в различных видах;
- автоматическая калибровка;
- коррекция чувствительности в зависимости от величины зазора между накладным ВТП и поверхностью трубы;
- различные виды порогов срабатывания сигнализации о наличии дефектов;
- управление сигналами на внешние устройства (дефектоотметчик, световое и звуковое сигнальные устройства, система управления станом);
- разбраковка в зависимости от протяженности дефекта, выполняемая в режиме реального времени;
- полное сохранение данных ВТК по каждой трубе с возможностью их дальнейшего анализа;
- автоматическое формирование протоколов контроля.

Заключение

ВТК, как и другие виды контроля стальных труб, не является идеальным.

Однако при правильном выборе технологии контроля и вихретокового оборудования он может стать мощным средством для повышения качества трубной продукции.

Литература

1. Петушков С. М. О повышении производительности вихретокового контроля. – В мире НК. 2006. № 1(31). С. 54–56.
2. ASTM E 309-95 (Reapproved 2006). Eddy-Current Examination of Steel Tubular Products Using Magnetic Saturation.
3. ASTM E 426-98 (Reapproved 2007) Electromagnetic (Eddy-Current) Examination of Seamless and Welded Tubular Products, Austenitic Stainless Steel and Similar Alloys.
4. EN 10246-2-2000. Automatic eddy current testing of seamless and welded (except submerged arc-welded) austenitic and ferritic-austenitic steel tubes for verification of hydraulic leak-tightness.
5. EN 10246-3-2000 Automatic eddy current testing of seamless and welded (except submerged arc-welded) steel tubes for the detection of imperfections.

Статья получена 24 ноября 2010 г.