

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЯЕМОСТИ ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ МЕТАЛОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ

В. П. СЕБКО, Г. М. СУЧКОВ

*Выполнены модельные исследования выявляемости дефектов поверхности типа протяженных пропилов и сквозных отверстий, а также реальных дефектов металлов. Установлено, что вихретоковый (ВТ) контроль наиболее целесообразно использовать для выявления и оценки глубины трещины производственного и эксплуатационного происхождения. Обнаруживаются надежно локальные дефекты типа каверн и другие участки с уменьшенной толщиной металла. Практически абсолютно определяются дефекты типа плен и закатов, но для оценки степени их опасности необходимо соединять ВТ контроль с операциями зачистки. Наиболее эффективен ВТ контроль для обнаружения дефектов под слоем краски и других покрытий.*

*Model investigations have been performed of the detectability of surface defects of the type of extended saw cuts and through-thickness holes, as well as actual defects of metals. It is established that eddy current (EC) control is the most suitable to detect and evaluate the depth of the crack of a production or service origin. Defects of the type of cavities and other areas of a reduced metal thickness are reliably detected. Defects of the type of films and rolls are detected practically 100 %, but to evaluate the degree of their criticality it is necessary to combine EC control with the cleaning operations. The most effective is EC control to detect defects under a layer of paint or other coatings.*

Одним из наиболее распространенных методов контроля качества изделий является ультразвуковой (УЗ) [1]. С точки зрения потенциальных возможностей он позволяет обнаруживать как поверхностные, так и внутренние дефекты. Максимальная выявляемость для этого метода имеет место при ориентации наибольшей поверхности развития дефекта нормально направлению распространения УЗ пучка, другие дефекты обнаруживаются плохо или не обнаруживаются совсем. Серьезные проблемы возникают при выявлении дефектов типа плен, тонких закатов и других (например, на внутренней и внешней поверхности трубы). Часто волнистость поверхности отечественных новых, а также использовавшихся труб вообще не дает возможности проводить их дефектоскопию из-за акустических помех, обусловленных допустимыми неровностями и нарушениями акустического контакта между преобразователем и телом трубы. Низкие и высокие температуры также не позволяют проводить качественный УЗ контроль. Нужна дорогая очистка поверхности металла от жировых пятен, грязи, остатков краски и других покрытий, окалины и т. п.

Устранить в значительной мере отмеченные выше недостатки позволяет использование вихретоковых (ВТ) методов контроля. Суть их заключается в воздействии на поверхность металла электромагнитным полем, измерении параметров этого поля и оценке по их значениям качества изделия [2]. Возбуждение и измерение параметров электромагнитного поля выполняют вихретоковыми преобразователями (ВТП), которые могут работать через воздушный зазор, достигающий иногда 20 мм [3].

Известные ВТП, применяемые для контроля качества поверхности, можно разделить на два основных типа: динамические и накладные (вращающиеся). Первый обычно применяют для контроля плоских поверхностей или имеющих в сечении форму круга [4]. Второй используют для контроля

криволинейных участков поверхностей (на рельсах, трубах и др.). На результаты оценки качества труб известными накладными преобразователями существенным образом влияют неоднородности электропроводности и ферромагнитных свойств, наличие пятен окалины [5]. Правда, этот недостаток становится преимуществом при измерении физико-механических характеристик металла.

Некоторые специалисты считают, что среди ВТП динамические (ВТПД) имеют лучшую выявляемость поверхностных дефектов в сравнении с накладными (ВТПН). В то же время дефектоскопы с ВТПД сложны по конструкции и аппаратному исполнению, имеют значительные габариты и массу. Их стоимость иногда превосходит стоимость ВТПН в десятки раз.

На результаты работы ВТПН оказывают влияние неоднородность электромагнитных свойств поверхности металла, а также колебания технологического зазора между преобразователем и изделием, степень износа протектора, перекосы преобразователя и т. д. Тем не менее из-за простоты реализации и практического использования, небольшой массы и габаритов накладные преобразователи нашли широкое применение в разных областях промышленности [2–3]. В настоящее время появились новые вихретоковые дефектоскопы с ВТПН, способные компенсировать влияние на результаты контроля колебаний величины технологического зазора, перекосов, неоднородностей электромагнитных свойств металла. Найдены технические решения по устранению краевого эффекта. По чувствительности новые ВТПН не хуже ВТПД. Так, нами разработаны ВТПН для контроля роликов и колец подшипников подвижного состава железнодорожного транспорта, которые надежно выявляют поверхностные дефекты глубиной более 0,05 мм, длиной более 2 мм и раскрытием 0,01 и даже менее (частота ВТПН — 3...5 МГц).

Наиболее часто встречающимся и очень ответственным объектом контроля являются трубы. По-

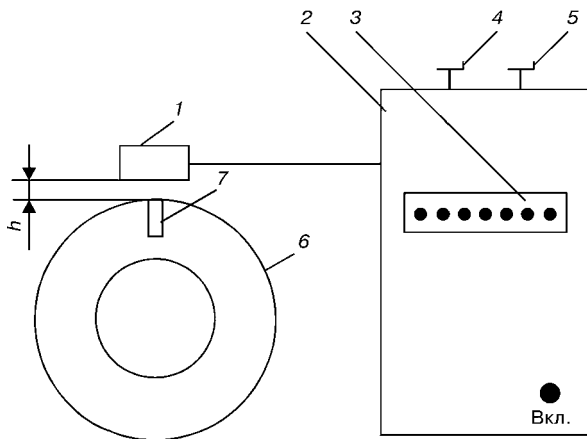


Рис. 1. Схема контроля моделей дефектов типа пропил в теле трубы: 1 — ВТПН; 2 — дефектоскоп; 3 — индикатор глубины дефекта; 4 — регулятор «порог»; 5 — регулятор «масштаб»; 6 — труба; 7 — продольный пропил в теле трубы

этому исследованию границ применимости ВТПН выполнено нами на образцах, отобранных из труб диаметром от 17 мм и более производства ЗАО «НИКО ТЮБ», завода им. Ленина, а также листа производства ОАО «МК Азовсталь» и чугунных валков производства ОАО «Лутугинское объединение по производству прокатных валков». Трубы с толщиной стенок от 1 до 20 мм были изготовлены из обычных и легированных сталей, алюминия, меди. Кроме того, использовались образцы прутков диаметром более 20 мм из бронзы и латуни. Исследована внешняя и внутренняя поверхности труб (специальной подготовке эти поверхности не подвергали). Таким образом, состояние поверхности образцов отвечало поставочному. На поверхности образцов были естественные дефекты разных типов, а также изготовленные искусственным образом в виде пазов и отверстий с разными размерами и разной ориентацией. Все измерения выполняли с помощью малогабаритных микропроцессорных дефектоскопов «Малыш», ВД-12НФМ, -87НД, -26Н и «Дюймовочка» с накладными ВТПН.

Наиболее значительное влияние на эксплуатационные характеристики изделий имеют дефекты типа трещин, которые находятся в зоне действия циклических погрузок. Поэтому на начальной стадии была исследована выявляемость традиционно устанавливаемых стандартами [6] искусственных дефектов в виде пропилов с заданным раскрытием, глубиной и длиной. В работе [6] установлена ориентация пропилов вдоль образующей тру-

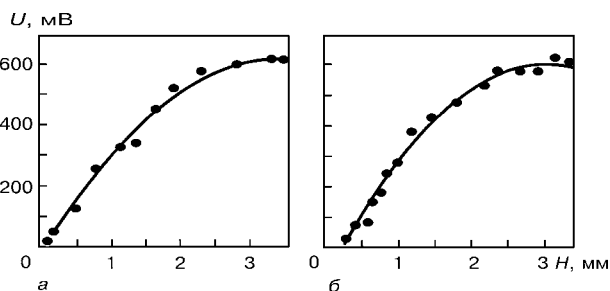


Рис. 2. Зависимость амплитуды выходного напряжения ВТПН от глубины модели дефектов типа пропил на образцах с разным состоянием поверхности

бы (рис. 1). Такое положение обусловлено ограничениями УЗ метода контроля.

Результаты исследований выявляемости с помощью ВТ дефектоскопа «Малыш» пропилов разной глубины на образцах с разным состоянием поверхности приведены на рис. 2. Чувствительная рабочая зона ВТПН составляла  $2 \times 3 \text{ мм}^2$ , частота тока преобразователя выбрана равной 250 кГц. На поверхности образцов наносили пропил с минимальной глубиной 0,1 мм, раскрытием 0,2 мм и длиной около 30 мм. Перемещая ВТПН вдоль и поперек дефекта, находили максимальное значение амплитуды информационного сигнала. Затем пропил углубляли и повторяли измерения. Из приведенных результатов видно, что выявляемость поверхностных дефектов начиная от глубины 0,1 мм (по обработанной поверхности) и 0,2 мм (по катаной поверхности) вполне достаточно для оценки качества значительного сортамента изделий. Аналогичные исследования выполнены для алюминия и его сплавов, меди, латуни, бронзы, чугуна, нержавеющей стали нескольких марок и др. На всех перечисленных материалах минимально возможная выявляемость дефектов в виде пропилов составляла 0,1...0,2 мм. Во всех случаях в зависимости от глубины пропилов дефекты различались по амплитуде полезных сигналов только до глубины 3,0 мм — дефекты с большей глубиной давали одинаковый по амплитуде сигнал. Аналогичные результаты получены для моделей дефектов в виде пропилов, произвольно ориентированных относительно образующей труб и прутков.

Другой часто встречающейся моделью искусственного дефекта для настройки ВТ дефектоскопа является сквозное отверстие заданного диаметра в теле трубы, выполненное перпендикулярно поверхности. Результаты выявляемости дефектов такого типа приведены на рис. 3. Измерения выполнены ВТПН с рабочей частотой 220 кГц на образце из алюминия. Из приведенных данных следует, что начиная с отверстия диаметром 1 мм модели дефектов такого типа обнаруживаются надежно, при этом амплитуда полученного полезного сигнала возрастает до диаметра 4 мм. Видно, что насыщение сигнала ВТПН не происходит и имеется достаточный запас для определения размера обнаруженного дефекта. Установлено, что на изделиях из алюминия чувствительность к моделям дефектов типа отверстие выше, чем на стальных.

Большое значение для практики имеет факт выявления дефектов в виде каверн коррозионного или эрозионного происхождения, которые, уменьшая толщину стенки трубы, могут привести к ее последующему разрыву и значительным материальным потерям (например, разрушению обсадной трубы в скважине). Промоделировать такие дефекты возможно сверлением на заданную глубину нормально поверхности трубы с заданным диаметром. Результаты исследования таких моделей дефектов дают неоднозначный результат. Наибольшее значение амплитуды полезного сигнала дает дефект небольшой глубины 0,1...0,2 мм, но с большим диаметром 1,2...1,5 мм дает меньшее значение ам-

плитуды информационного сигнала. Полученные результаты подтверждаются аналогичными выводами американских коллег [7].

Еще большей неоднозначностью отличается результат выявления дефектов типа плена. Модель дефекта в виде электропроводной неферромагнитной пленки размером  $2 \times 2$  мм<sup>2</sup> и толщиной 0,15 мм, закрепленной на поверхности металла, дает такой же сигнал, как и пропилил глубиной около 2 мм.

Анализ исследований позволил установить следующее. Вихретоковые дефектоскопы надежно выявляют дефекты типа трещин разного характера, причем амплитуда информационного сигнала значительно зависит от глубины (развитие трещины под любым углом к поверхности металла) естественного дефекта. Большую амплитуду сигнала при той же глубине дает древовидная (внутри металла) трещина. Практически абсолютную выявляемость обеспечивают ВТ дефектоскопы в отношении линейно-протяженных, паукopodobных, извилистых, древовидных (по поверхности) трещин и волосовин.

В практическом применении ВТ дефектоскопы пригодны для оценки глубинного параметра трещин. Эффективным будет контроль изделий, узлов, деталей, конструкций и т. п., которые в процессе эксплуатации подвержены влиянию нагрузок разного типа; впервые выпускаемых материалов; изделий, склонных к образованию трещин (через деформацию, закалку, старение и т. п.). ВТ контроль незаменим при обнаружении дефектов поверхности под слоем краски, загрязнений, покрытий.

Дефекты типа каверн, углублений и других локальных утончений на поверхности металла обнаруживаются уверенно с частичной оценкой глубины их развития. В этом случае ВТ контроль эффективен для изделий, находящихся в эксплуатации и подвергаемых коррозионному, эрозийному или другому влиянию, приводящему к появлению локальных объемных дефектов. Абсолютную выявляемость обеспечивают ВТ дефектоскопы при обнаружении поверхностных дефектов семейства плен, закатов и др. Однако эти дефекты не всегда представляют опасность для эксплуатации изделий. Часто при незначительном развитии в глубину металла их удаляют путем зачистки. Поскольку

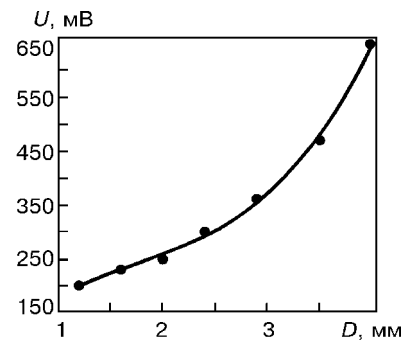


Рис. 3. Зависимость амплитуды выходного напряжения ВТПН от диаметра модели дефектов типа сквозного отверстия в алюминиевом образце

глубину развития таких дефектов через высокую амплитуду информационного сигнала оценить невозможно, следует соединять ВТ контроль с операциями зачистки. Такой контроль эффективен также при выявлении дефектов на изделиях ответственного назначения (ракетнокосмическая, авиационная, военная техника).

В завершение необходимо отметить, что в отдельности ВТ и УЗ методы контроля не могут обеспечить выявление всего спектра дефектов изделий. Для обеспечения гарантии качества изделий, поставляемых потребителям, целесообразно применять оба метода контроля.

1. Ермолов И. Н. Теория и практика ультразвукового контроля. — М.: Машиностроение, 1981. — 240 с.
2. Неразрушающий контроль и диагностика. Справочник / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, В. Н. Филипов и др.; Под ред. В. В. Клюева. — М.: Машиностроение, 1995. — 488 с.
3. Учалин В. Н., Черленевский В. В. Вихретоковый дефектоскоп для обнаружения поверхностных трещин // Физические методы и средства контроля сред, материалов и изделий. — 1999. — С. 108–110.
4. Дорофеев А. Л. Электроиндуктивная дефектоскопия. — М.: Машиностроение, 1967. — 232 с.
5. Рюмиш В., Глабец С. Вихретоковый дефектоскоп ВД-26Н // Методы и приборы контроля качества. — 1997. — № 1. — С. 96–97.
6. ГОСТ 633-80. Трубы насосно-компрессорные и муфты к ним. — Изд-во стандартов, 1992. — 39 с.
7. О'Коннор М. Что еще не так просто при вихретоковом контроле теплообменных труб // В мире неразруш. контроля. — 2001. — № 4. — С. 46.