



The necessity of use of physical methods of quality control in foundry at the example of liquid-penetrant test is grounded.

П. П. ПРОХОРЕНКО, ИПФ НАН Беларуси

УДК 620.179

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ – КАЧЕСТВУ ЛИТЕЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Неразрушающий контроль – эффективное, а в ряде случаев единственно возможное средство обеспечения качества и конкурентоспособности выпускаемой продукции. Высокое качество должно стать национальной идеей, консолидирующей усилия государства, промышленности, науки и образования Республики Беларусь.

Задача ученых, инженеров-конструкторов, инженеров-технологов – разработать аппаратуру и технологию контроля, которая давала бы возможность дефектоскописту определить только пригодные к эксплуатации детали и не пропустить дефектные. Дефектоскопист – последняя инстанция, которая может предотвратить аварию, отказ, непредвиденную остановку машины или механизма из-за брака.

Во всем мире неразрушающий контроль качества и техническая диагностика – это целая индустрия, неотъемлемая часть производства и эксплуатации всех технических устройств: сотни тысяч специалистов ежедневно обеспечивают отбраковку некачественных деталей при производстве (качество) и своевременное обнаружение опасных трещин на работающих технических устройствах (диагностика), прежде всего опасных для жизни, здоровья людей и окружающей среды (безопасность).

Уровень развития передовых стран мира на современном этапе характеризуется не столько высоким объемом производства и ассортиментом выпускаемой продукции, сколько показателями качества, надежности и безопасности.

В высокоразвитых странах затраты на контроль качества составляют в среднем 1–3% от стоимости выпускаемой продукции, а в таких отраслях промышленности, как оборонная, атомная, а также аэрокосмическая, затраты на контроль качества достигают 12–18%. Трудозатраты на контроль сварных соединений в строительстве трубопроводов большого диаметра и большой

протяженности достигают 10%. Во всем мире давно поняли, что экономия на контроле – это безумие, которое в конечном итоге оборачивается огромными затратами на преодоление последствий аварий и катастроф (около 2% ВВП в мире идет на эти цели).

В основе физических методов неразрушающего контроля лежит физика неразрушающего контроля. Основными задачами физики неразрушающего контроля как раздела физики твердого тела является получение информации об отклонениях структуры, нарушениях сплошности материала при наложении на него физических полей (магнитного, ультразвукового, радиационного и других), что позволяет в итоге судить о качестве материала или готовой детали, прогнозировать сроки ее надежной эксплуатации [5].

Начало развития физики неразрушающего контроля положил Вильгельм-Конрад Рентген – немецкий ученый, который в 1895 г. открыл рентгеновские лучи, названные его именем, и сделал первые рентгеновские фотоснимки. За эти работы в 1901 г. В.К. Рентген первым среди физиков был удостоен Нобелевской премии.

В России, а затем и во всем мире началом эры ультразвуковой дефектоскопии следует считать 2 февраля 1928 г., когда молодой преподаватель Ленинградского электротехнического института Сергей Яковлевич Соколов предложил использовать ультразвуковые колебания с целью получения информации о внутренних дефектах и структуре материалов. Именно от этого события мировая общественность ведет отсчет начала ультразвуковой дефектоскопии – науки о методах и приборах контроля качества материалов и изделий с помощью упругих колебаний, самом распространенном методе неразрушающего контроля и диагностики.

Всемирный комитет по неразрушающему контролю, учитывая огромный вклад в развитие

методов и средств неразрушающего контроля В.К. Рентгена и С.Я. Соколова, учредил международную медаль, знак и премию «В.К. Рентген—С.Я. Соколов».

В Беларуси начало развитию физики неразрушающего контроля положил известный в мире физик-магнитолог академик Н.С. Акулов, который организовал в 1963 г. Отдел физики неразрушающего контроля в составе Академии наук БССР. В 1980 г. отдел преобразован в Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси, исследования которого направлены на развитие теории неразрушающего контроля, создание новых средств неразрушающего контроля и технической диагностики.

Исследованиями белорусских ученых заложены теоретические основы капиллярного контроля [1, 2, 6, 7], обнаружены новые закономерности и физические явления, определяющие эффективность метода [1, 2, 6], изучено влияние внешних физических полей (ультразвукового и магнитного), используемых с целью интенсификации технологических операций контроля [8, 9]. Серьезные теоретические и экспериментальные результаты позволили создать новые методы, дефектоскопиче-

ские материалы и способы интенсификации технологических операций и повышения чувствительности метода.

Ультразвуковой, радиографический, магнитный методы контроля широко практикуются в литейном производстве. Особо остановимся на капиллярной дефектоскопии.

Капиллярная дефектоскопия является старейшим методом неразрушающего контроля и самым чувствительным методом неразрушающего контроля поверхностных дефектов. Капиллярный метод позволяет выявить поверхностные трещины раскрытием 0,5–1,0 мкм и более. Капиллярная дефектоскопия основана на проникновении в поверхностные дефекты специальных жидкостей, благодаря которым повышается свето- и цветоконтрастность дефектного участка относительно неповрежденного участка поверхности детали [1, 2, 4].

Основные операции капиллярного контроля показаны на рис. 1, где схематически изображена деталь 1 с дефектом 2, имеющим выход на поверхность П. Чтобы выявить этот дефект (трещину), на поверхность детали наносится индикаторная жидкость (пенетрант) 3, которая заполняет трещину под действием капиллярных сил (рис. 1, б).

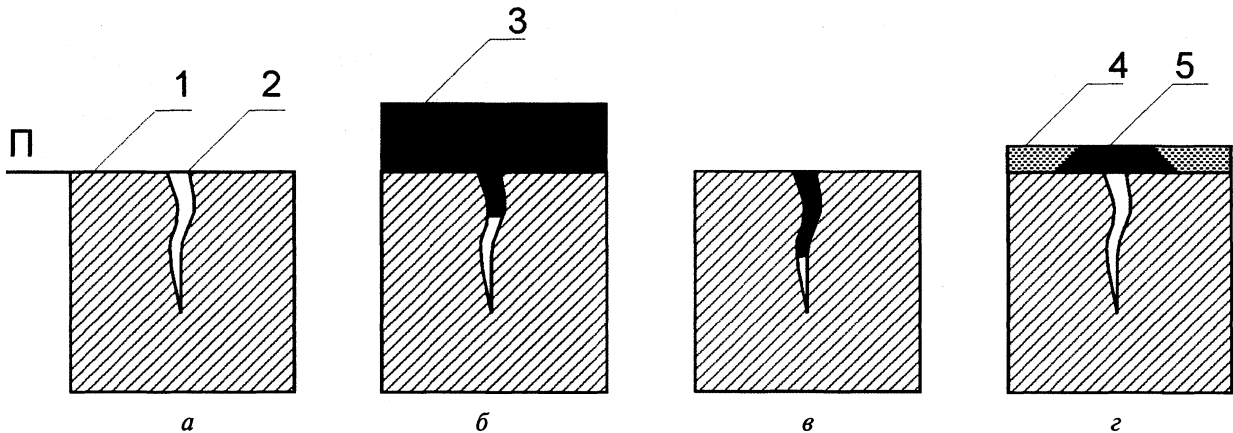


Рис. 1. Последовательность операций при капиллярной дефектоскопии: а – дефект в изделии; б – нанесение пенетранта; в – удаление пенетранта с поверхности; г – нанесение проявителя и проявление; 1 – изделие; 2 – дефект; 3 – пенетрант; 4 – проявитель; 5 – след дефекта (окрашенный проявитель)

Достоинством метода является то, что точно фиксируются местоположение дефекта, его ориентация и размеры. Наиболее эффективен капиллярный метод для неразрушающего контроля больших площадей, особенно со сложной геометрией и в случаях массовых производств. Технологи прельщает возможностью обнаруживать дефект на ранних стадиях изготовления, а также на всех стадиях технологического процесса изготовления. Технология капиллярной дефектоскопии сравнительно проста и не требует сложного дорогостоящего оборудования [4].

В прошлом веке лидером научно-технического прогресса был железнодорожный транспорт и впервые капиллярный метод контроля в виде «керосиново-меловой пробы» был успешно при-

менен для обнаружения трещин на полированных шейках осей паровозов и вагонов. Керосиново-меловая проба длительное время была обязательным методом контроля всех шеек осей колесных пар. Магнитный и ультразвуковой методы контроля дополнили арсенал средств обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте и потеснили капиллярный метод.

Повторный расцвет капиллярного контроля начался в 40-х годах прошлого столетия, когда авиация взяла на вооружение немагнитные материалы (алюминий, дюраль, титан и т.п.) и искала методы контроля, их качество. Проблему решили цветной и люминесцентный капиллярный контроль.

Интересно, что авторы первого патента на люминесцентный метод контроля братья Боб и

Джо Свицеры случайно наткнулись на идею метода. Экспериментируя с люминофорами для использования в криминалистике для маркировки одежды заключенных, они обнаружили, что как бы чисто они не вымывали руки, поры (трещины) кожи рук все равно всегда светились в ультрафиолетовом свете. Это навело их на мысль добавить люминофор в жидкость, т.е. сделать ее индикаторной и ввести в капиллярные несплошности, что дало блестящие результаты и положило начало люминесцентного метода.

Первым цветной красно-белый капиллярный метод запатентовал во время второй мировой войны сотрудник известной авиационной компании «Юнкерс» Хельмут Клумпф.

Капиллярный контроль обладает рядом недостатков. Самым серьезным недостатком капиллярного контроля является его большая трудоемкость, многооперационность и высокая доля ручного труда по сравнению с другими методами, сложности с механизацией и автоматизацией процесса контроля. По данным IX Всемирной конференции по неразрушающему контролю (г. Мельбурн), по трудоемкости до 75% общего объема неразрушающего контроля приходится на капиллярный метод. Широкое применение капиллярного метода требует проведения специальных мероприятий по охране окружающей среды и защите персонала от вредных воздействий паров токсичных веществ. Кроме того, в некоторых случаях, когда затрудняется выявление дефектов, загрязненных остатками технологических жидкостей, продуктами коррозии и др., надежность контроля довольно низкая.

Тем не менее, в настоящее время интерес к капиллярной дефектоскопии возрастает. Причина — высокая чувствительность, простота и отсутствие дорогих технических устройств, а также то, что постоянно растет доля немагнитных и неметаллических материалов в общем объеме потребления материалов. Крупнейшее в Западной Европе Немецкое общество неразрушающего контроля (DGZFP) по результатам работы за последнее десятилетие проанализировало динамику спроса подготовки специалистов в области неразрушающего контроля по различным его методам (рентгеновский, магнитный, акустический, проникающими веществами и др.). Оказалось, что наибольший спрос со стороны промышленных предприятий Германии имел место на дефектоскопистов и экспертов по контролю проникающими веществами (капиллярный метод).

Очень важная особенность состоит в том, что в Германии, Великобритании, Франции, Италии на втором месте по использованию капиллярных методов после авиации стоит автомобилестроение, где производят входной контроль наиболее ответственных деталей двигателей автомобилей и других деталей. Республика Беларусь располагает крупными предприятиями автомобиле- и тракто-

строения, а также другими машиностроительными предприятиями. Широкомасштабное использование промышленностью республики метода контроля проникающими веществами (капиллярный контроль) предоставляет большие возможности по повышению качества и соответственно конкурентоспособности продукции заводов Беларуси.

Высокая эффективность капиллярного метода возможна только при использовании качественных дефектоскопических материалов. В Институте прикладной физики Национальной академии наук Беларуси создана специальная компьютеризированная система (рис. 2) для определения качества дефектоскопических материалов как в отдельности, так и дефектоскопических комплектов [3]. Она состоит из приемника изображения, регистрирующего исходное изображение поверхности объекта контроля; варифокального объектива; набора оптических фильтров; источника УФ-освещения; измерителя интенсивности УФ-излучения и видимого света; затемненного бокса; персонального компьютера, включающего плату АЦП для оцифровки аналогового видеосигнала телекамеры, а также программного обеспечения для обработки и анализа регистрируемого изображения контролируемой поверхности.

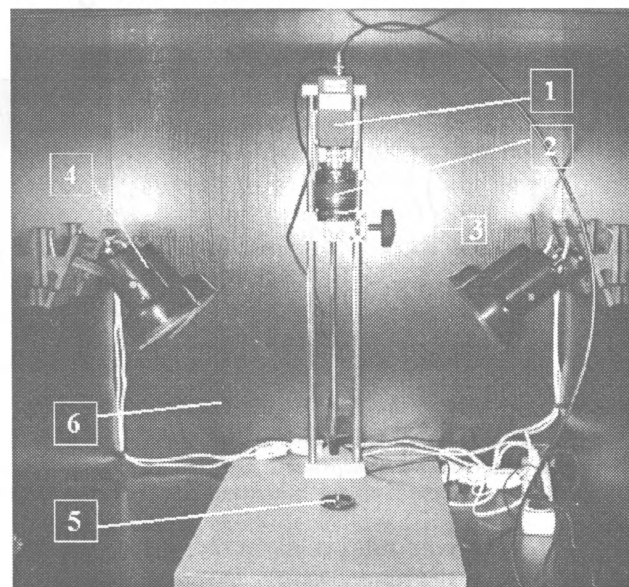


Рис. 2. Компьютеризированная система обработки и анализа видеоизображений, созданная в ИПФ НАН Беларуси: 1 — приемник изображения; 2 — объектив с переменным фокусным расстоянием; 3 — набор оптических фильтров; 4 — источники УФ или дневного освещения; 5 — объект контроля; 6 — затемненный бокс

В качестве приемника изображения используется черно-белая CCD-телекамера высокой разрешающей способности и чувствительности. Для получения желаемого увеличения контролируемого участка поверхности с необходимым разрешением используется специальный телевизионный объектив с переменным фокусным расстоянием и ручной регулировкой диафрагмы.

Из двух наборов дефектоскопических материалов, используемых при проведении капиллярного контроля, наиболее эффективен тот, который образует по геометрическим характеристикам лучший индикаторный рисунок при условии обеспечения его достаточной контрастности и яркости.

На данной установке прошли сравнительные испытания все отечественные и иностранные наборы, которые имеются в распоряжении лаборатории, в том числе разработанные в ИПФ НАН Беларуси люминесцентный пенетрант ЛЖТ и цветной пенетрант «Пион» (рис. 3), которые показали хорошие качества при контроле.

Белорусские дефектоскопические материалы для капиллярного неразрушающего контроля изготовлены на основе отечественного сырья, экологически чистые, нетоксичные, пожаробезопасные, имеют токсико-гигиенические паспорта Республики Беларусь.

Люминесцентный пенетрант ЛЖТ соответствует по чувствительности лучшим зарубежным аналогам ведущих в мире фирм, таких, как MR, Helling (Германия), Magnaflux (Великобритания), а по некоторым параметрам превосходит их, например, дает возможность контроля пористых материалов. Позволяет выявлять поверхностные дефекты с шириной раскрытия 0,5 мкм и более, соответствует 3-му уровню по СТБ 1172-99.

Цветной пенетрант «ПИОН» выявляет поверхностные дефекты с шириной раскрытия от 1 мкм и более (2-й уровень по СТБ 1172-99). Температурный диапазон: -30 – $+35$ °С. Особо перспективен для контроля в труднодоступных местах. В соответствии с ТУ РБ № 03535040-001-94 выпускается в бутылках или аэрозольных упаковках (объем 400 мл) (рис. 3).

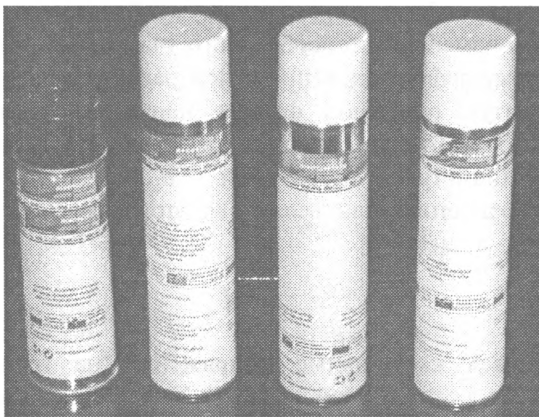


Рис. 3. Белорусские дефектоскопические материалы для капиллярного неразрушающего контроля, разработанные в ИПФ НАН Беларуси. Люминесцентный пенетрант ЛЖТ. Цветной пенетрант «ПИОН»

Для оперативной оценки качества дефектоскопических материалов (входной контроль при получении новой партии материалов, длительные

перерывы в их использовании и пр.) применяют так называемые контрольные образцы (рис. 4). Контрольный образец представляет собой металлическую пластину со специально подготовленными дефектами в виде трещин определенного раскрытия, глубины, протяженности и др. После изготовления образец проходит метрологическую аттестацию и соответствует ТУ РБ 100289280.001-2003, ТУ РБ 100289280.002-2004. Каждый набор комплектуется паспортом и протоколом измерений геометрических размеров дефекта.

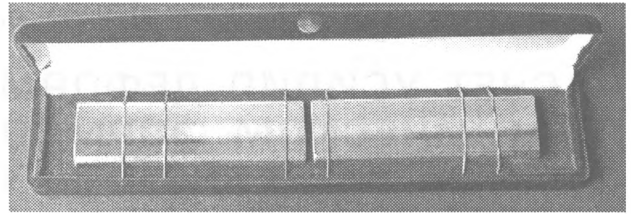


Рис. 4. Контрольные образцы для проверки качества дефектоскопических наборов для люминесцентной и цветной дефектоскопии, разработанные в ИПФ НАН Беларуси

Общими тенденциями в развитии средств капиллярного контроля в настоящее время, кроме постоянного стремления к повышению чувствительности и стабильности результатов, являются разработка нетоксичных компонентов пенетрантных систем, сертификация их как не содержащих серы и галогенов, применение в аэрозольных упаковках пропеллентов (выталкивающих компонент газов), не вредных озонному слою, разработка составов пенетрантов, облегчающих их нейтрализацию и утилизацию по обработке «дружелюбных» к окружающей среде [1, 5].

Литература

1. Прохоренко П.П., Мигун Н.П. Введение в теорию капиллярного контроля. Мн.: Наука и техника, 1988.
2. Prokhorenko P.P., Migoun N.P., Stadthaus M. Theoretical Principles of Liquid Penetrant Testing / Germany, 1999, 254 s.
3. Мигун Н.П., Гнусин А.И., Волович И.В. Компьютерная система определения качества дефектоскопических материалов // Промышленная безопасность. 2004. № 1. С. 34–36.
4. Прохоренко П.П., Мигун Н.П., Стойчева И.В. Капиллярный неразрушающий контроль (Контроль проникающими веществами). Практ. пособ., 1988.
5. Неразрушающий контроль: Справ.: В 8-ми т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2006.
6. Прохоренко П.П., Дежкунов Н.В., Боровиков А.С. Физические основы и средства капиллярной дефектоскопии. Мн.: Наука и техника, 1983.
7. Прохоренко П.П., Мигун Н.П. Гидродинамика и теплообмен градиентных течений микроструктурной жидкости. Мн.: Наука и техника, 1984.
8. Прохоренко П.П., Дежкунов Н.В., Коновалов Г.Е. Ультразвуковой капиллярный эффект. Мн.: Наука и техника, 1981.
9. Прохоренко П.П., Кувшинов Г.И. Акустическая кавитация у твердых поверхностей. Мн.: Наука и техника, 1990.