

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

УДК 620.179.111

КАПИЛЛЯРНЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРИ УПРОЧНЕНИИ И ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

*акад. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф. П.П. ПРОХОРЕНКО,
д-р физ.-мат. наук, проф. Н.П. МИГУН
(Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск)*

Рассмотрен капиллярный контроль качества при упрочнении и восстановлении деталей машин. Показано, что он повышает конкурентоспособность промышленной продукции, а также обеспечивает ее долговечную безаварийную работу

Упрочнение и восстановление деталей машин - широко распространенный и экономически оправданный путь улучшения качества материала или части сооружения путем применения в технологических процессах специальных операций упрочнения, повышающих сопротивляемость разрушению или остаточной деформации.

Как известно, наиболее уязвимы наружные поверхностные слои материала, где наиболее велика вероятность возникновения коррозии, трещин и других дефектов. Под воздействием напряжений, атмосферных факторов (температура, влага), агрессивных сред дефекты могут быстро развиваться и привести к разрушению детали и даже к аварии или катастрофе.

Для предотвращения аварийных ситуаций, продолжительной надежной эксплуатации необходим контроль качества при изготовлении изделий и техническое диагностирование во время их эксплуатации. Всем известно многообразие методов и технических средств неразрушающего контроля и диагностики (магнитный, ультразвуковой, радиационный и др.), но хотелось бы привлечь внимание к капиллярному контролю, его специфике, достоинствам и недостаткам.

Капиллярный контроль при всей своей простоте и доступности обладает практически самой высокой чувствительностью среди других методов неразрушающего контроля. Обнаружить поверхностную трещину раскрытием 0,5... 1,0 мкм без сложных технических устройств - сложная задача, для некоторых методов - невыполнимая, но вполне обычная для капиллярного контроля. Более того, место расположения трещины и рисунок следа дефекта и грамотному оператору, и инженеру-конструктору, и инженеру-технологу дают информацию о причине возникновения дефекта (неудачное конструкторское решение, несоблюдение технологии, нарушение режимов эксплуатации и другие).

Очевидным достоинством капиллярного контроля является его применимость для деталей из любых материалов: магнитных и немагнитных, электро- и неэлектропроводных, полимерных и прочих. При этом он пригоден для деталей любой геометрии: криволинейных, зубчатых, резьбовых и других.

Все эти достоинства определили многоотраслевое использование капиллярных методов контроля, начиная от лопаток турбин двигателей и корпусов ракет и кончая ответственными деталями железнодорожного вагона и трубопровода.

Трудно назвать отрасль промышленности, где бы ни использовался капиллярный контроль, цветная или люминесцентная его разновидности.

В Институте прикладной физики Национальной академии наук Беларуси (ИПФ НАН Беларуси) исследования по капиллярному контролю проводятся более 20 лет, и в результате получены важные теоретические и экспериментальные результаты, заложившие теоретические основы капиллярного контроля и получившие международное признание [1,2].

Учеными лаборатории капиллярных явлений ИПФ НАН Беларуси разработана теория проникновения индикаторных жидкостей в полости дефектов разной геометрии, включая диффузионную пропитку, растворение газа и двустороннее заполнение тупиковых капиллярных каналов. Предложены расчетные выражения, которые подтверждены экспериментальными результатами.

Особенность теории заключается в том, что она учитывает такие, обнаруженные и исследованные нами явления, как двустороннее заполнение жидкостью тупиковых капиллярных каналов; учитывается влияние размерного эффекта вязкости индикаторного пенетранта, заключающегося в увеличении его эффективной вязкости с уменьшением радиуса микрокапилляров или пор. Разработаны и реализованы методы определения свойств жидкости, количественно характеризующих этот эффект. Последнее об-

стоятельство позволило дать теоретическое описание процесса заполнения капилляров жидкими дефектоскопическими материалами с единых позиций для микро- и макрокапиллярных несплошностей.

Разработана гидродинамическая теория проявления следов дефекта слоем сорбционного проявителя, позволяющая аналитически связать параметры, характеризующие чувствительность капиллярного контроля с параметрами, характеризующими свойства дефектоскопических материалов и объекта контроля. Предложено аналитическое выражение для решения задачи об извлечении индикаторной жидкости из трещины капиллярного масштаба слоем сорбционного проявителя и ее миграции в слое проявителя, показавшее, что ширина выявляемого дефекта (следа), как основной метрологический показатель чувствительности контроля, определяется, прежде всего эффективным радиусом пор, пористостью и толщиной слоя проявителя, а также глубиной капиллярной несплошности и полнотой заполнения ее индикаторным пенетрантом.

Проведен широкий круг исследований по влиянию внешних физических полей (акустического и магнитного) на повышение чувствительности и производительности капиллярных методов контроля, снижена пожароопасность дефектоскопических материалов и их вредное влияние на окружающую среду.

Теоретические и экспериментальные исследования позволили создать новые методы контроля и оборудование, новые отечественные индикаторные жидкости и контрольные образцы, которые нашли применение на многих предприятиях республики и стран СНГ.

Важнейшая цель, куда направлены все основные составляющие капиллярного контроля - это качество детали и ее безаварийная, долговечная работа.

Полученные нами теоретические зависимости, связывающие физико-химические характеристики дефектоскопических материалов, свойства контролируемых изделий (деталей) и чувствительность метода, позволили сформулировать требования к индикаторным жидкостям, условия для метрологии и стандартизации метода. Прежде всего нужны дефектоскопические материалы, которые смогли бы проникнуть на всю глубину дефекта, а, самое главное - чтобы их можно было бы потом извлечь на поверхность изделия, и чтобы они образовали след, который позволяет уверенно обнаружить дефект.

В Институте прикладной физики Национальной академии наук Беларуси создана специальная компьютеризированная система (рис. 1) для определения качества дефектоскопических материалов, как в отдельности, так и дефектоскопических комплектов. 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 аналогового цифрового передатчика (АЦП) для оцифровки аналогового видеосигнала телекамеры, а также программного обеспечения для обработки и анализа регистрируемого изображения контролируемой поверхности.

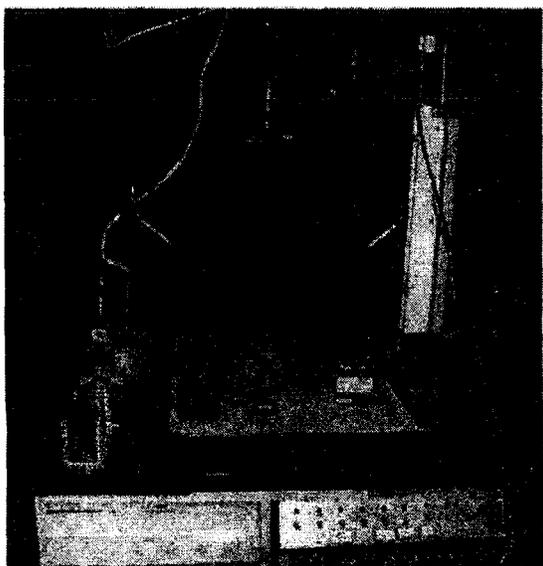


Рис. 1. Общий вид установки для обработки и анализа видеоизображения следа дефекта при капиллярном контроле

В качестве приемника изображения используется черно-белая CCD-телекамера высокой разрешающей способности не менее 560x575 ТВ-линий и чувствительности 0,5 лк. Для получения желаемого увеличения контролируемого участка поверхности с необходимым разрешением используется специальный телевизионный объектив с переменным фокусным расстоянием и ручной регулировкой диафрагмы.

В качестве объекта измерения используется любой аттестованный контрольный образец с единичными или множественными поверхностными дефектами.

Для оценки качества наборов дефектоскопических материалов необходимо измерить и проанализировать геометрические и оптические характеристики по изображениям индикаторных рисунков дефектов, выявленных на поверхности контрольного образца.

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.

Один из наиболее информативных параметров индикаторного рисунка - площадь изображения, т.е. количество точек изображения, принадлежащих рисунку и имеющих определенный уровень яркости (выше установленного порога).

Другим геометрическим признаком индикации дефектов является так называемая характеристическая длина индикаторного рисунка (вертикальная составляющая геометрической длины видимой части индикации относительно общей длины дефекта). Эти параметры удобны при проведении сертификации наборов дефектоскопических материалов, когда необходимо установить, способен ли данный набор выявлять дефекты с определенной шириной раскрытия при заданной вероятности обнаружения.

Не менее важную роль играют и оптические характеристики индикаторного рисунка. Главными факторами, определяющими видимость объекта, являются его яркость и контраст относительно окружающего фона.

В качестве обобщенного критерия оценки видимости индикаторных рисунков, получаемых при проведении капиллярного контроля, предложен световой поток индикаций. В результате видимость индикаторного рисунка характеризуется с учетом его геометрических (площадь) и оптических (яркость, контраст) параметров.

Световой поток, как комплексный параметр, носит универсальный характер, поскольку может быть использован для оценки индикаторных рисунков, полученных в результате применения как цветного, так и люминесцентного методов капиллярного контроля (рис. 2). Анализ широкой гаммы различных видеоизображений индикаторных следов дефектов показал высокую эффективность разработанных алгоритма и соответствующего программного обеспечения.

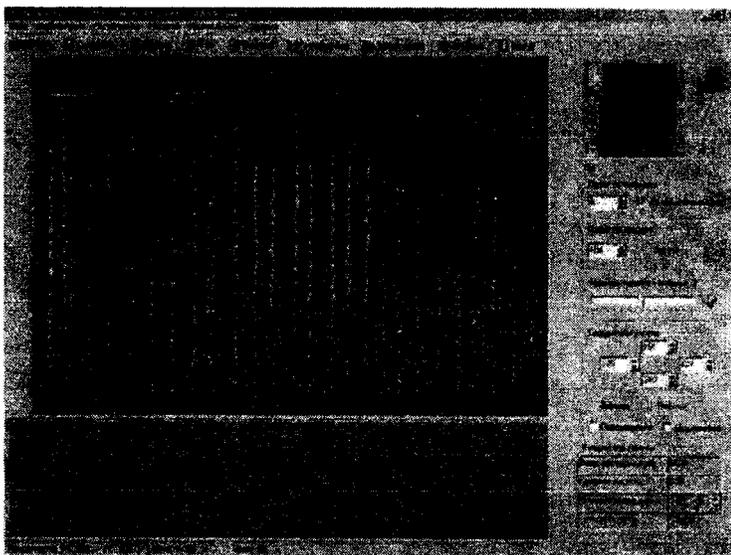


Рис. 2. Внешний вид интерфейса программы для автоматизированной регистрации и оценки результатов капиллярного контроля

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», которые показали хорошие качества при контроле.

Установка успешно используется для определения качества наборов дефектоскопических материалов на ОАО «Мозырский нефтеперерабатывающий завод» [3].

Как следует из сказанного выше, необходимой обязательной составляющей каждой лаборатории капиллярного контроля является наличие контрольных образцов. Однако такие образцы - редкость (в основном из-за своей дороговизны - стоимость некоторых наборов импортных образцов достигает 2500 долларов США, а стран СНГ - до 300..400).

Контрольные образцы - это специально изготовленные изделия с заранее нормируемыми свойствами, такими как наличие несплошностей определенного раскрытия, глубины, протяженности. Для проверки качества пенетрантов (или всего набора) образцы с дефектами подвергают контролю, и индикаторный рисунок выявленных трещин сравнивают с рисунком, зафиксированным на фотографии или дефектограмме, снятой заранее с образца при контроле заведомо кондиционными материалами.

Форму, материал и технологию изготовления образцов выбирают таким образом, чтобы обеспечить стабильность размеров трещин и свойств материала в течение установленного срока их службы, а также стойкость образцов против коррозии при воздействии дефектоскопических материалов.

Образцы подвергают периодической проверке, не реже одного раза в год.

Наиболее ценны натурные образцы в реальных материалах, подвергаемых контролю. Их полный перечень и анализ содержится в [4]. Однако большинство образцов имеют общий недостаток: трещины выходят на края образца. В таких трещинах под давлением пенетранта через края образца происходит свободная утечка воздуха или парогазовой смеси из трещины. Это обстоятельство существенно изменяет условия заполнения пенетрантом трещины, так как в естественных условиях воздух заперт в тупике капилляра и препятствует заполнению трещин пенетрантом.

В Институте прикладной физики Национальной академии наук Беларуси ученым Н.В. Деленковским разработана оригинальная технология получения натуральных образцов для капиллярной дефектоскопии, позволяющая в значительной мере устранить вышеописанный недостаток.

Как видно на рис. 3, такие образцы имеют вид прямоугольных пластин с размерами 50x30x4 мм или дисков диаметром от 25 до 40 мм и толщиной от 4 до 5 мм. Они изготавливаются из нержавеющей сталей: немагнитной аустенитного класса 12X18Н10 и магнитной мартенситного класса 20X13. Могут также использоваться сплавы на основе титана, тантала и другие коррозионно-стойкие материалы.

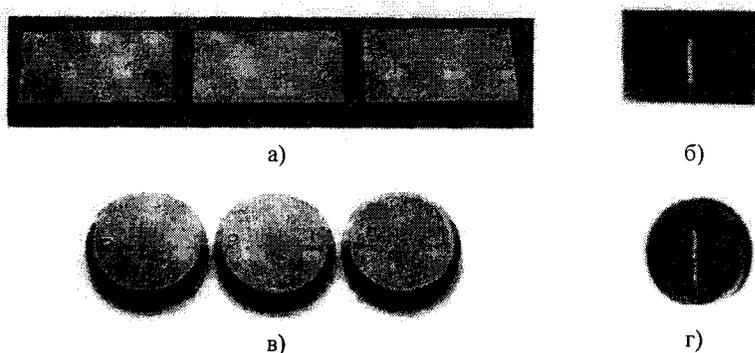


Рис. 3. Контрольные образцы для капиллярной и магнитопорошковой дефектоскопии: а, в – общий вид двух вариантов комплектов из 2-х рабочих и одного арбитражного образцов; б, г – проявленные образцы с видимым дефектом

Непосредственно в материале каждого образца (без нанесения дополнительных покрытий) выполнены 1 - 2 дефекта, не выходящие на его края и наиболее достоверно имитирующих естественные трещины. Ширина раскрытия дефектов - 3...10 мкм, глубина - 150...450 мкм, длина - 12... 18 мм. Технология позволяет получать на одном образце ряд дефектов с геометрическими характеристиками, изменяющимися по необходимой закономерности в широком диапазоне.

На эти образцы для капиллярной дефектоскопии получены ТУ РБ 100289280.001-2003.

Образцы для капиллярной дефектоскопии прошли широкие промышленные испытания, обладают небольшой стоимостью. Важно, что они могут использоваться также и для магнитопорошковой дефектоскопии.

Полезно отметить, что образцы используют не только для проверки качества одного из дефектоскопических материалов или одной из операций технологии контроля. Натурные образцы позволяют оценить эффективность того или иного метода контроля в целом, провести сравнение дефектоскопических свойств не только отдельных веществ, но и наборов материалов. Образцы используют для отработки технологии контроля (времени пропитки, проявления), для определения нижнего порога чувствительности способа капиллярного контроля, при аттестации дефектоскопистов и т.п.

Расширение практики применения капиллярного контроля повысит качество и конкурентоспособность промышленной продукции, а также обеспечит ее долговечную безаварийную работу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прохоренко П.П., Мигун Н.П. Введение в теорию капиллярного контроля. - Мн.: Наука и техника, 1988.-207 с.
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. Капиллярный неразрушающий контроль (Контроль проникающими веществами): Практическое пособие / П.П. Прохоренко, Н.П. Мигун, А.М. Секерин, И.В. Стойчева. - 1988. - 160 с.