

УДК 620.179.111

## О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ

*д-р физ.-мат. наук, проф. Н.П. МИГУН, А.Б. ГНУСИН  
(Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск),  
И.В. ВОЛОВИЧ  
(ОАО «Мозырский нефтеперерабатывающий завод»)*

*Рассмотрены возможности повышения эффективности капиллярного контроля. Исследована корреляция между вязкостью и уровнем чувствительности для различных индикаторных жидкостей.*

Введение. В решении задач повышения качества промышленной продукции и обеспечения безопасного функционирования производственных объектов первостепенную роль играют методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики. Машиностроение, строительство, энергетика, нефтехимическое производство, транспорт - отрасли народного хозяйства, все шире использующие неразрушающий контроль, в том числе методы контроля проникающими веществами (капиллярный контроль).

С каждым годом области и масштабы применения методов капиллярного контроля интенсивно расширяются. Прежде всего это связано с их высочайшей чувствительностью (современные дефектоскопические материалы позволяют уверенно выявлять трещины с шириной раскрытия до 0,2 мкм). Кроме того, с постоянно возрастающими объемами использования в качестве конструкционных материалов жаропрочных сталей, алюминиевых, титановых и других немагнитных сплавов, керамических, композиционных и полимерных материалов. Для многих изделий из этих материалов капиллярный контроль является единственно возможным методом определения их пригодности к эксплуатации. К преимуществам дефектоскопии проникающими веществами в сравнении с другими видами неразрушающего контроля относятся также их применимость для контроля поверхностей с любым геометрическим профилем, а также невысокая стоимость средств контроля.

В то же время их существенным недостатком является высокая трудоемкость и, следовательно, сравнительно низкая производительность контроля. Применение методов капиллярного контроля, являющихся многооперационными, требует значительных затрат рабочего времени. В осенне-зимних условиях при низкой температуре воздуха продолжительность высыхания слоя суспензионного проявителя, нанесенного на поверхность контроля, зачастую превышает десятки минут. Это резко уменьшает производительность контроля, что может явиться критическим фактором, когда объемы контроля велики.

Другим немаловажным фактором, затрудняющим в ряде случаев проведение практического капиллярного контроля, является обеспечение непрерывного контакта устья дефекта с индикаторной жидкостью в течение всего времени пропитки пенетрантом полости дефекта. Это контроль вертикально расположенных стенок резервуаров и других объектов, контроль труб и других объектов, с участков которых пенетрант быстро стекает ввиду их соответствующего расположения относительно силы тяжести. При этом следует учитывать то обстоятельство, что общепринятой считается целесообразность использования пенетранта с низкой вязкостью, обеспечивающей скорейшее проникновение индикаторной жидкости в дефект, как, впрочем, и ее скорейшее истечение оттуда на стадии проявления.

Большое влияние на эффективность выявления поверхностных дефектов проникающими жидкостями имеет правильный выбор набора дефектоскопических материалов. Например, недавно установлено [1], что применение с заданным пенетрантом суспензионного проявителя во всех исследованных случаях приводит к образованию значительно более широких и ярких (и, как следствие, лучше выявляемых) следов дефектов, чем при использовании сухого, порошкового проявителя. Подробно этот аспект повышения эффективности капиллярного контроля обсуждается в работе [1].

Целью настоящей работы было исследование возможностей повышения производительности капиллярного контроля в осенне-зимних условиях, а также выяснение роли вязкости пенетранта при выборе дефектоскопических материалов для контроля соответствующих объектов.

О роли скорости испарения жидкой фазы суспензионного проявителя. Нами были проведены исследования с целью установления качественных и количественных закономерностей влияния продолжительности высыхания слоев суспензионных проявителей различных марок на выявляемость дефектов. Для анализа индикаторных рисунков использовалась разработанная в Институте прикладной физики НАН Беларуси совместно с Федеральным Институтом испытаний материалов (г. Берлин, ФРГ) автоматизированная система обработки и анализа видеоизображений. В этой системе в качестве устройства, регистри-

рующего результаты контроля, используется телевизионная система, позволяющая обнаруживать и автоматически регистрировать малые по размеру и слабоконтрастные индикаторные рисунки дефектов. Важным ее достоинством является возможность проведения с помощью соответствующего программного обеспечения быстрой и надежной количественной оценки качества наборов дефектоскопических материалов и результатов капиллярного контроля. Эксперименты проводились на металлических контрольных образцах, соответствующих международному стандарту EN ISO 3452-3 [2]. Исследовались 5 широко распространенных в практике капиллярного контроля суспензионных проявителей. В качестве индикаторной жидкости при этом во всех опытах данного цикла экспериментов использовался люминесцентный пенетрант Magnaflux ZL-19B.

Обеспечивались условия строго постоянства всех технологических характеристик проведения капиллярного контроля: продолжительности пропитки пенетрантом и условий удаления его излишков с поверхности, температуры окружающей среды, расстояния от распылительной головки баллончика с суспензионным проявителем до контролируемой поверхности, условий освещенности и облученности ультрафиолетом и т.д. Определялись следующие основные характеристики индикаторного следа трещины: яркость и площадь заданной зоны следа, суммарный световой поток от этой зоны.

В экспериментах была установлена четкая закономерность - с увеличением продолжительности высыхания слоя проявителя увеличивается и размытость индикаторного следа, что в свою очередь соответствует ухудшению видимости выявляемого дефекта. Например, скорость высыхания слоя проявителя  $\Pi_1$  примерно в 2 раза выше, чем слоя проявителя  $\Pi_4$ , нанесенного на тот же участок поверхности контрольного образца с трещинами при идентичных условиях.

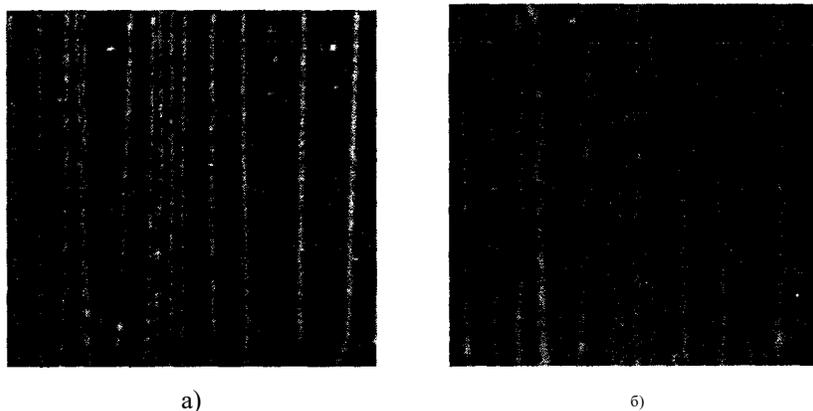


Рис. 1. Индикаторный рисунок при использовании суспензионных проявителей  $\Pi_1$  (а) и  $\Pi_4$  (б)

Из рисунка 1 видно, что проявитель  $\Pi_1$  дает значительно более контрастные индикаторные следы, чем проявитель  $\Pi_4$ . При этом в обоих случаях контрольные образцы обрабатывались одним и тем же пенетрантом в одинаковых условиях.

Влияние температуры окружающей среды на проявляющие свойства. Проведены два цикла экспериментальных исследований, имеющих целью установить:

- влияние температуры окружающей среды на продолжительность высыхания слоя проявителя и, соответственно, на форму и контраст индикаторных рисунков, полученных при использовании люминесцентного пенетранта;
- влияние теплого обдува объекта контроля на высыхание слоя проявителя, на форму и контраст индикаторных рисунков.

Использовались те же пенетрант Magnaflux ZL-19B и проявители пяти марок, что и в серии экспериментов при постоянной температуре.

Измерения производились в следующем диапазоне значений температуры окружающей среды:  $-12\text{ }^\circ\text{C} < T < 18\text{ }^\circ\text{C}$ . Применялся обдув горячим воздухом с температурой струи  $+40\text{ }^\circ\text{C}$ . При этом температура воздуха в области контроля при температуре окружающей среды  $-10\text{ }^\circ\text{C}$  достигала у поверхности образца при обдуве  $+15\text{ }^\circ\text{C}$ .

Было установлено, что при выявлении поверхностной микротрещины заданным люминесцентным набором дефектоскопических материалов с понижением температуры окружающей среды существенно снижаются яркость и контраст индикаторного рисунка дефекта, что вызвано, очевидно, увеличением продолжительности высыхания слоя проявителя. В то же время индикаторный рисунок становится более широким и размытым (рис. 2). Полученные результаты иллюстрируются диаграммами на рис. 3-5.

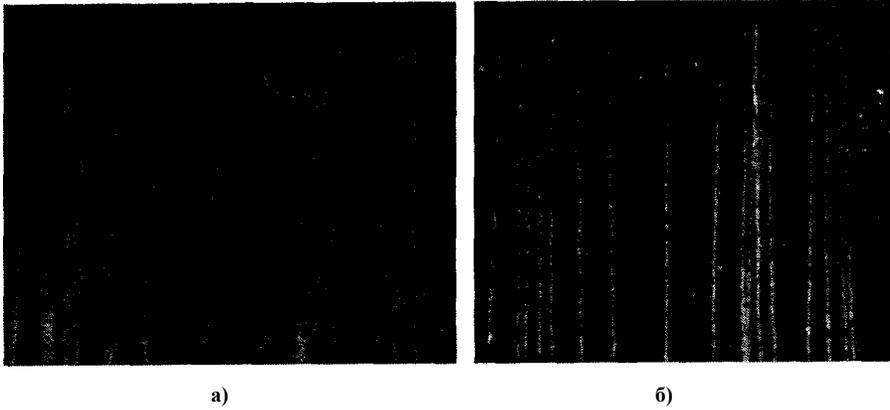


Рис. 2. Индикаторный рисунок при использовании проявителя П<sub>4</sub>:  
 а) проявление дефектов при температуре -5 °С;  
 б) проявление дефектов с применением обдува потоком нагретого воздуха

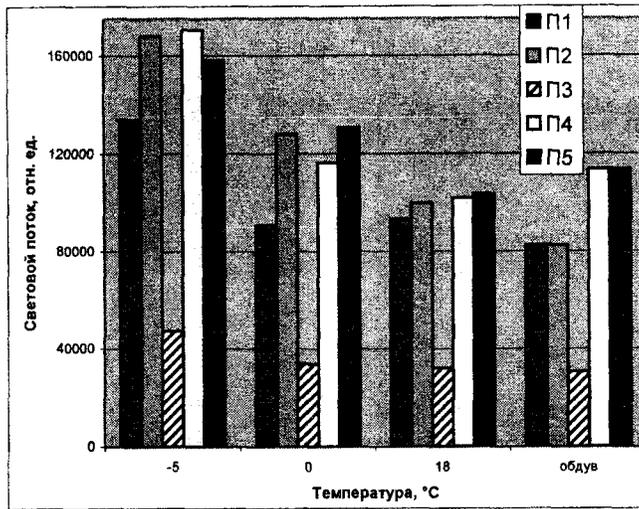


Рис. 3. Влияние температурного режима проявления дефектов на световой поток

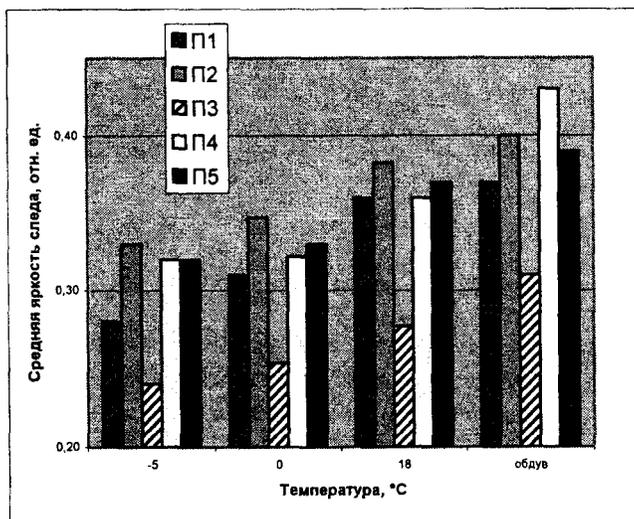


Рис. 4. Влияние температурного режима проявления дефектов на яркость индикации (в относительных единицах)

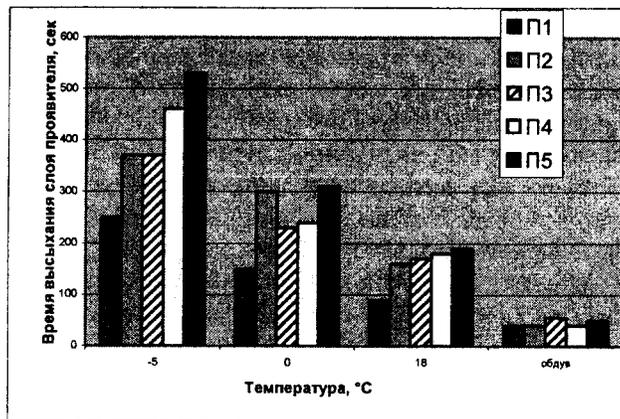


Рис. 5. Влияние температурного режима проявления дефектов на продолжительность высыхания слоев различных проявителей

Видно, что без обдува теплым воздухом (рис. 2, а) индикации менее яркие и размытые. При этом средняя яркость индикаторного рисунка, образованного проявителем П<sub>4</sub> без обдува теплым воздухом, составляет 0,32 относительных единиц, а при обдуве - 0,43 (рис. 2, б). Кроме того, продолжительность полного высыхания слоя указанного проявителя при проведении контроля при температуре -5 °C составляет 460 с, тогда как при использовании обдува теплым воздухом она уменьшается до 40 секунд.

Из диаграмм следует, что с применением обдува поверхности контроля теплым воздухом (например, с помощью промышленных фенов) не только на порядок сокращается продолжительность стадии проявления, но и обеспечивается получение существенно более ярких и контрастных индикаторных рисунков выявляемых дефектов. Отметим, что такой режим способствует и большей степени извлечения пенетранта из полостей дефектов, обеспечивая повышение чувствительности контроля [3]. Очевидно, что на основании полученных результатов можно решить задачу повышения производительности капиллярного контроля при низких температурах воздуха в зимних условиях.

Исследование корреляции между вязкостью и уровнем чувствительности для различных индикаторных жидкостей. Нами были определены значения вязкости ряда распространенных типов проникающих жидкостей. Установлено, что наиболее чувствительные пенетранты имеют более высокую вязкость, причем рост чувствительности различных индикаторных жидкостей соответствует росту их вязкости (таблица). Данные получены на микроэлектрореометре ВИР 78МЭ<sup>1</sup>. Значения чувствительности соответствует 5-уровневой классификации, которую планируется принять в 2005 г. в новой редакции стандарта ISO EN 3452-2 [4].

Вязкость различных пенетрантов при температуре 18 °C

Пенетрант	Люминесцентный						Цветной	
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	CP <sub>2</sub>	CP <sub>2</sub>				
Уровень чувствительности	0,5	3	2	2	4	0,5	1	0,5
Вязкость, мПа·с	6,33	14,11	10,7	13,62	56,01	2,17	5,84	3,78

Из таблицы следует, что более высокую выявляемость поверхностных дефектов обеспечивают пенетранты с повышенной вязкостью. Особенно эффективно использование таких индикаторных жидкостей при контроле вертикально расположенных поверхностей диагностируемых объектов. В этом случае обеспечивается не только высокая чувствительность, но и достаточная продолжительность контакта жидкости с устьем дефекта, поскольку высоковязкий пенетрант медленнее стекает вниз с поверхности контроля. Следует, однако, учитывать, что, как правило, с увеличением вязкости пенетрантов связано ухудшение смываемости их излишков перед нанесением проявителя.

<sup>1</sup> Авторы признательны В.А. Мансурову за помощь в измерении значений вязкости пенетрантов.

Закключение. Получены количественные данные о влиянии скорости испарения жидкой фазы проявителей разных марок на оптические и геометрические характеристики индикаторных следов дефектов, выявляемых с применением люминесцентных пенетрантов. Показано, что с увеличением продолжительности высыхания слоя проявителя увеличивается и размытость индикаторного следа, что, в свою очередь, соответствует ухудшению видимости выявляемого дефекта. В то же время, чем быстрее высыхает слой проявителя, тем ярче и, соответственно, контрастнее индикаторный рисунок дефекта, однако уменьшаются суммарный световой поток и площадь индикации.

Установлено, что при выявлении поверхностной микротрещины заданным люминесцентным набором дефектоскопических материалов с понижением температуры окружающей среды существенно снижаются яркость и контраст индикаторного рисунка дефекта. В то же время индикаторный рисунок становится более широким и размытым.

Показано, что с применением обдува поверхности контроля теплым воздухом не только на порядок сокращается продолжительность стадии проявления, но и обеспечивается получение существенно более ярких и контрастных индикаторных рисунков выявляемых дефектов.

Установлено, что для всех исследованных в настоящей работе пенетрантов чем выше их вязкость, тем выше и уровень чувствительности. Таким образом, вопреки распространенным утверждениям о целесообразности использования пенетрантов с низкой вязкостью, в ряде случаев следует останавливать выбор на более вязких, чувствительных пенетрантах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мигун Н.П. Проблема пересмотра новых международных стандартов по контролю проникающими веществами // Дефектоскопия. - 2003. - № 6. - С. 78 - 84.
2. EN ISO 3452-3. Non-destructive testing - Penetrant testing - Part 3: Reference test blocks (ISO 3452-3:1998).
3. Мигун Н.П., Гнусин А.Б. О зависимости чувствительности капиллярного контроля от температурного режима стадии проявления // Дефектоскопия. - 2001. - № 6. - С. 93 - 97.
4. EN ISO 3452-2. Non-destructive testing - Penetrant testing - Part 2: Testing of penetrant materials (ISO 3452-2:2000).