

УДК 620.179.111

## ВАКУУМНАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ

Деленковский Н.В., Гнусин А.Б.

*Институт прикладной физики НАН Беларуси  
Минск, Республика Беларусь*

Из технической литературы известен процесс вакуумной интенсификации заполнения поверхностных дефектов пенетрантами в капиллярной дефектоскопии [1–3], при котором, как отмечается, значительно повышаются чувствительность и производительность контроля. Также предлагаются возможные схемы реализации такого процесса, основанные на использовании специальных вакуумных камер, введении в них значительных объемов пенетранта, полного погружения в него контролируемых изделий, вакуумирования и последующей пропитки [1, 4, 5].

Существенным недостатком таких способов пропитки является необходимость использования сложных и дорогостоящих вакуумных установок. Реализация каждой из вышеуказанных схем пропитки не экономична из-за неизбежных процессов кипения и испарения легких фракций пенетранта при пониженном давлении, что приводит к существенному ухудшению его рабочих свойств. Пары испарившейся летучей фазы пенетранта попадают в масло вакуумного насоса, которое также быстро теряет свои свойства. Указанные факторы приводят к низкой экономической эффективности вакуумной пропитки с использованием стационарных вакуумных камер, вследствие чего данный способ интенсификации не получил широкого распространения на практике.

В данной работе проведены исследования нового экономичного способа вакуумной пропитки изделий пенетрантами при капиллярном контроле при предельно малых объемах пенетрантов на контролируемых поверхностях.

**Методика проведения исследований.** Для выполнения работы была разработана и изготовлена экспериментальная вакуумная установка, схема и фотография которой представлены на рисунке 1.

Установка состоит из цилиндрического корпуса 1, в котором на кронштейне 2 закрепляется исследуемый образец 3 с искусственными дефектами. Корпус закрывается крышкой 4 с окном 5 из кварцевого стекла, которое обеспечивает эффективное пропускание ультрафиолетового излучения при проведении люминесцентного капиллярного контроля. Вакуумный насос 6 обеспечивает степень разряжения до 10–20 Па. Измерение разряжения производится вакуумметром 7. Введение пенетранта в камеру осуществляется с использованием вакуумного ввода 8.

При проведении экспериментальных исследований использовались автоматизированная

система обработки и анализа видеоизображений [6] и экспериментальные образцы из нержавеющей стали AISI 430 с различными геометрическими характеристиками дефектов, описанные в работе [7], а также контрольные образцы, соответствующие ГОСТ Р ИСО 3452-3–2009 [8]. С целью выявления характера пропитки дефектов и обеспечения возможности визуального контроля данного процесса, разработаны и изготовлены специальные образцы из стекла со целевидными дефектами глубиной 3–40 мм, шириной раскрытия 20–40 мкм и длиной 10–40 мм.

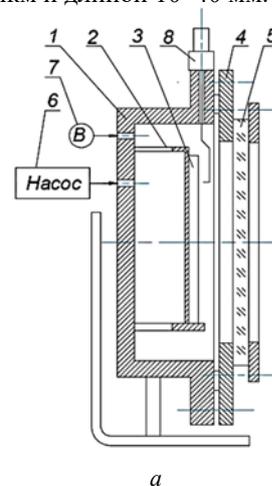


Рисунок 1 – Схема (а) и фотография (б) экспериментальной установки для вакуумной интенсификации процесса заполнения дефектов пенетрантами

Капиллярный контроль образцов осуществлялся в соответствии с СТБ 1172-99 [9]. В экспериментах использовались водосмываемые люминесцентный пенетрант Вycotest FP42 и цветной Sonapen VP-650, а также суспензионный проявитель MR-Chemie MR-70, наносимый на контролируемую поверхность аэрозольным распылением.

Как известно, температура кипения жидкостей с уменьшением давления уменьшается, а скорость испарения тонких слоев жидкости увеличивается. С целью исследования влияния этого процесса на качество капиллярного контроля проведена серия экспериментов. Скорость испарения (летучесть) жидкой фазы тонких слоев пенетрантов в вакууме и при атмосферном давлении исследовалась по увеличению во времени площади растекания единичных капель объемом  $\sim 10 \text{ мм}^3$  на поверхностях контрольных образцов из стали AISI 430.

**Результаты исследований.** Полученные данные по кинетике растекания единичных капель исследуемых пенетрантов показали отсутствие существенного ухудшения растекаемости капель. Средняя толщина слоев пенетрантов при нанесении и растекании капель через 3–6 с составляла  $\sim 0,1 \text{ мм}$ . Кипение в вакууме (10–20 Па) жидкой фазы пенетрантов в таких слоях не выявлено.

Перед исследованием процесса вакуумирования контролируемые поверхности образцов полностью покрывались слоем пенетранта. Далее образцы помещались в вакуумную камеру и производилась откачка воздуха до 10–20 Па. При этом через 3–6 с наблюдалось формирование газовых пузырей над полостью дефекта, что связано со значительным поверхностным натяжением пенетранта. При разгерметизации камеры и воздействии атмосферного давления начинался быстрый процесс пропитки полости дефекта, который через 15–20 с приводил к заполнению полости дефекта на 80–85%. Повторное проведение цикла вакуумирования и пропитки незначительно увеличило степень заполнения полости дефектов (до  $\sim 90\%$ ).



Рисунок 2 – Сравнительные диаграммы по пропитке дефектов пенетрантами при использовании вакуумной интенсификации

На рисунке 2 представлены характерные сравнительные диаграммы, из которых можно сделать вывод о том, что после вакуумной пропитки образцов при проведении капиллярного контроля площадь следов дефектов увеличивается на 30–100 % (по сравнению с традиционной технологией контроля).

Также установлено, что для контрольных образцов с дефектами глубиной 30–50 мкм и раскрытием 1,5–3 мкм [8] аналогичное увеличение площади следов дефектов составляет 20–40 %.

**Выводы.** Проведены экспериментальные исследования вакуумной интенсификации процессов заполнения дефектов в образцах из нержавеющей стали AISI 430 и стекла проникающими жидкостями при проведении капиллярного контроля. Использование вакуумной пропитки существенно повышает чувствительность капиллярного контроля (в 1,3–2 раза), особенно при выявлении дефектов с малыми раскрытиями 1–3 мкм.

Полученные результаты могут стать основой для разработки экономичной бескамерной вакуумной пропитки изделий пенетрантами при капиллярном контроле.

#### Литература

1. Неразрушающий контроль: Справочник в 8 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 4: В 3 кн. Кн. 3: М.В. Филинов. Капиллярный контроль. 2-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2006. – 736 с.
2. Богданов Е.А. Основы технической диагностики нефтегазового оборудования. М.: Высшая школа, 2006. – 279 с.
3. Калинин Н.П., Калинин А.Н. Капиллярный контроль: учебное пособие для подготовки специалистов I, II и III уровня. Томск, ТПУ, 2010. – 292 с.
4. Michael Schröder, Christoph Biedermann, Reinhard Vilbrandt. On the applicability of dye penetrant tests on vacuum components: Allowed or forbidden? // Fusion Engineering and Design. October 2013. – Vol. 88 (9–10). P. 1947–1950.
5. Патент 6342400 В1 США. Dye penetrant test for semiconductor package assembly sol-der joints / Kevin M. DePetrillo. Оpubл. 29.01.2002.
6. Мигун Н.П., Гнусин А.Б., Волович И.В. Компьютеризированная система определяет качество дефектоскопических материалов // Промышленная безопасность. 2004. – №1. – С. 34–36.
7. Деленковский Н.В., Гнусин А.Б. Оценка глубины поверхностных дефектов при капиллярном контроле // Дефектоскопия. – 2017. – № 3. – С. 74–78.
8. ГОСТ Р ИСО 3452-3–2009. Контроль неразрушающий. Проникающий контроль. Часть 3. Испытательные образцы.
9. СТБ 1172-99. Контроль неразрушающий. Контроль проникающими веществами (капиллярный).