

ВАКУУМНАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ЗАПОЛНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПЕНЕТРАНТАМИ ПРИ КАПИЛЛЯРНОМ КОНТРОЛЕ

© 2019 г. Н.В. Деленковский^{1,*}, А.Б. Гнусин^{1,**}

¹Институт прикладной физики НАН Беларуси, Беларусь 220072 Минск, ул. Академическая, 16

*E-mail: delenkovsky@iaph.bas-net.by; **dubel@iaph.bas-net.by

Поступила в редакцию 18.04.2018; после доработки 09.07.2018;
принята к публикации 13.07.2018

Проведены экспериментальные исследования вакуумной интенсификации процесса заполнения дефектов в образцах из нержавеющей стали и стекла проникающими жидкостями при капиллярном контроле. Полученные результаты показали высокую эффективность применения вакуумной пропитки при малых объемах пенетрантов на контролируемых поверхностях, особенно при выявлении дефектов с раскрытиями 1—3 мкм. Установлено, что чувствительность контроля повышается на 30—100 % по сравнению с традиционной технологией.

Ключевые слова: капиллярная дефектоскопия, капиллярный контроль, пенетрант, проявитель, вакуум.

DOI:10.1134/S01303082190100093

ВВЕДЕНИЕ

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 [1]. Также предлагаются схемы реализации такого процесса, основанные на использовании специальных вакуумных камер. Такой способ предполагает введение в камеру значительных объемов пенетранта с полным погружением в него контролируемых изделий или же обильным покрытием контролируемых поверхностей пенетрантом перед вакууммированием [1, 4, 5].

Существенным недостатком применения такого способа 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 практической ценности вакуумной пропитки с использованием стационарных вакуумных камер, вследствие чего данный способ интенсификации не получил широкого распространения на практике.

Учитывая вышеизложенное, представляется актуальной разработка нового экономичного способа бескамерной вакуумной пропитки изделий пенетрантами при капиллярном контроле. Основой такого способа могут стать исследования процесса заполнения поверхностных дефектов изделий в вакууме при предельно малых объемах пенетрантов на контролируемых поверхностях, что и является целью настоящей работы.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для выполнения работы была разработана и изготовлена экспериментальная вакуумная установка, схема и фотография которой представлены на рис. 1.

Установка состоит из цилиндрического корпуса 1 объемом 250 см³, 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 [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

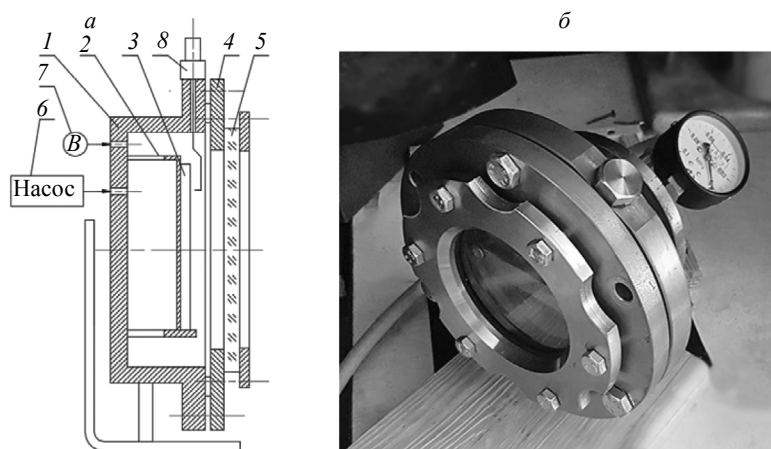


Рис. 1. Схема (а) и фотография (б) экспериментальной установки для вакуумной интенсификации процесса заполнения дефектов пенетрантами.

разработаны и изготовлены специальные образцы из стекла с щелевидными дефектами, имеющими глубину 3—40 мм, ширину раскрытия 20—40 мкм и длину 10—40 мм. Покадровая видеосъемка процессов пропитки и проявления дефектов в образцах из стекла осуществлялась с использованием цифровой видеокамеры через интервалы времени 3 с.

Капиллярный контроль образцов осуществлялся в соответствии с ГОСТ 18442—80 [9]. В экспериментах использовались водосмываемый люминесцентный пенетрант Bycotest FP42 и цветной пенетрант 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 образцов из стали AISI 430.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рис. 2 представлены данные по кинетике растекания единичных капель исследуемых пенетрантов. Как видно из приведенных графиков, в течение интервала времени 500 с при вакууме 10—20 Па по сравнению с нормальным атмосферным давлением существенного ухудшения растекания капель для обоих пенетрантов не наблюдалось. Средняя толщина слоев пенетрантов при нанесении и растекании капель через 3—6 с в обоих случаях составляла $\sim 0,1 \text{ мм}$. Кипение в вакууме

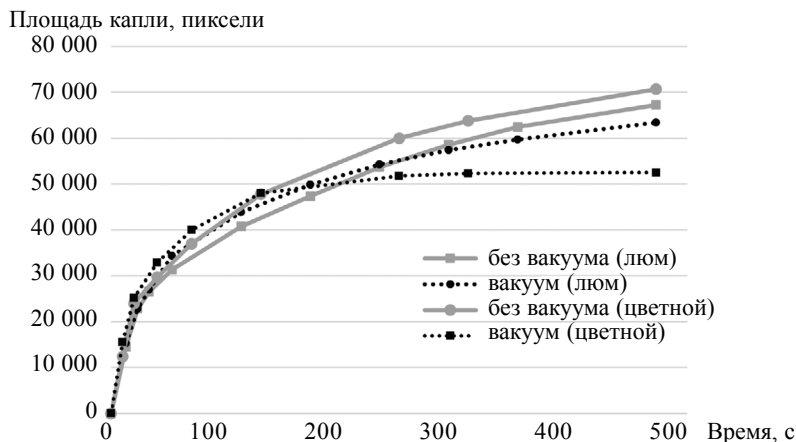


Рис. 2. Кинетика растекания единичных капель пенетранта по поверхности образца из стали AISI 430.

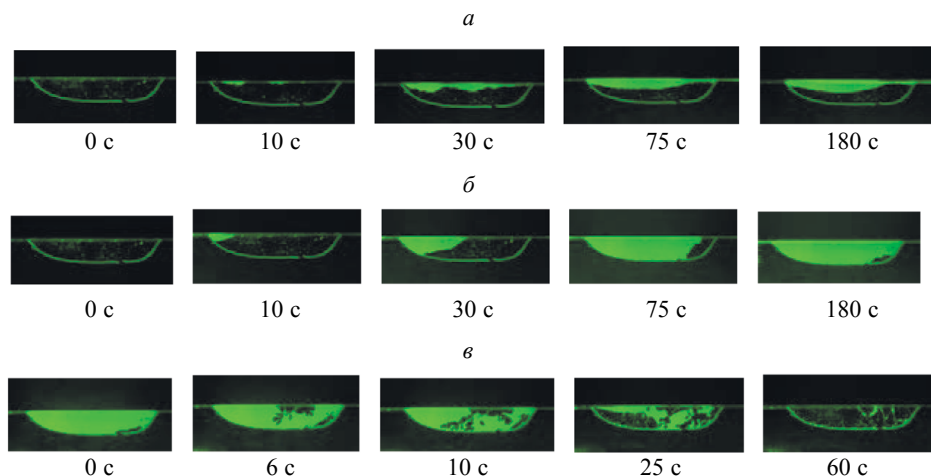


Рис. 3. Пропитка и проявление дефекта длиной 35 мм, глубиной 8 мм и раскрытием 15—25 мкм в образце из стекла при атмосферном давлении:
а — пропитка при полном покрытии устья дефекта пенетрантом; *б* — пропитка при нанесении пенетранта в левой части дефекта; *в* — проявление дефекта.

жидкой фазы пенетрантов в таких слоях не выявлено. В дальнейших экспериментах использовался способ нанесения пенетрантов на контролируемую поверхность при помощи кисти. При этом обеспечивалась толщина слоя пенетранта, сравнимая с толщиной, получаемой при растекании единичной капли объемом $\sim 10 \text{ мм}^3$ через интервал времени 3—6 с.

На рис. 3 представлены фотографии процессов пропитки и проявления щелевидного дефекта в образце из стекла при атмосферном давлении. Как видно из рис. 3*а*, при покрытии пенетрантом всего устья дефекта и исключении возможности удаления воздуха из его полости (стандартные условия пропитки) объем заполненной пенетрантом полости через 180 с после начала процесса впитывания не превышает 30—40 % от объема всей полости дефекта. При нанесении пенетранта не по всей площади дефекта, а только у его края, когда обеспечиваются условия беспрепятственного удаления воздуха из его полости, степень пропитки увеличивается до 90—95 % (рис. 3*б*). На рис. 3*в* представлены кадры проявления полностью заполненного пенетрантом дефекта. Экспериментально установлена высокая скорость процесса проявления исследуемого дефекта проявителем MR-70. В полости дефекта при этом формируются потоки воздуха, которые со стороны устья дефекта, проникая вглубь, достигают его дна. Полное извлечение пенетранта наблюдается уже через 60 с после начала процесса проявления.

Перед исследованием процесса вакуумирования устье дефекта в образце из стекла полностью покрывалось по всей длине слоем пенетранта. Далее образец помещался в вакуумную камеру и производилась откачка воздуха до 10—20 Па. При этом через 3—6 с наблюдалось формирование газовых пузырей над полостью дефекта (рис. 4*б, в*), что связано со значительным поверхностным

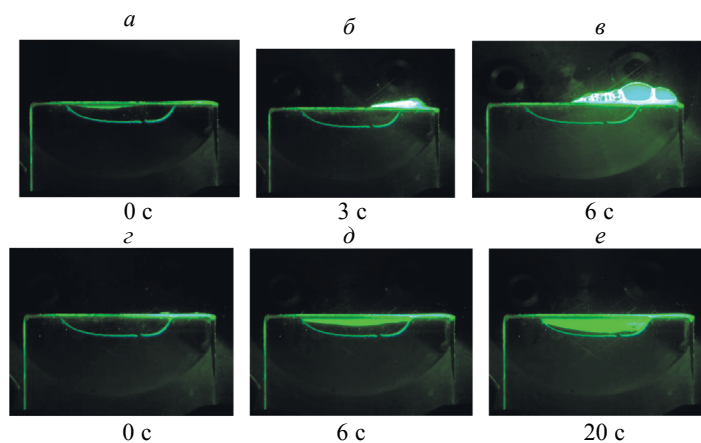


Рис. 4. Пропитка дефекта длиной 35 мм, глубиной 8 мм и раскрытием 15—25 мкм в образце из стекла при использовании вакуумирования:
а, б, в — вакуумирование до 10—20 Па (выдержка 0, 3 и 6 с); *г, д, е* — пропитка при атмосферном давлении после вакуумирования (выдержка 0, 6 и 20 с).

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 % (рис. 4е). Повторное проведение цикла вакуумирования и пропитки незначительно увеличило степень заполнения полости дефекта (до ~90 %).

С учетом полученных данных в последующих исследованиях вакуумной пропитки дефектов в образцах из стали AISI 430 принят однократный режим их пропитки при выдержке в вакууме в течение 10—15 с, разгерметизации камеры и выдержки при атмосферном давлении в течение 120 с.

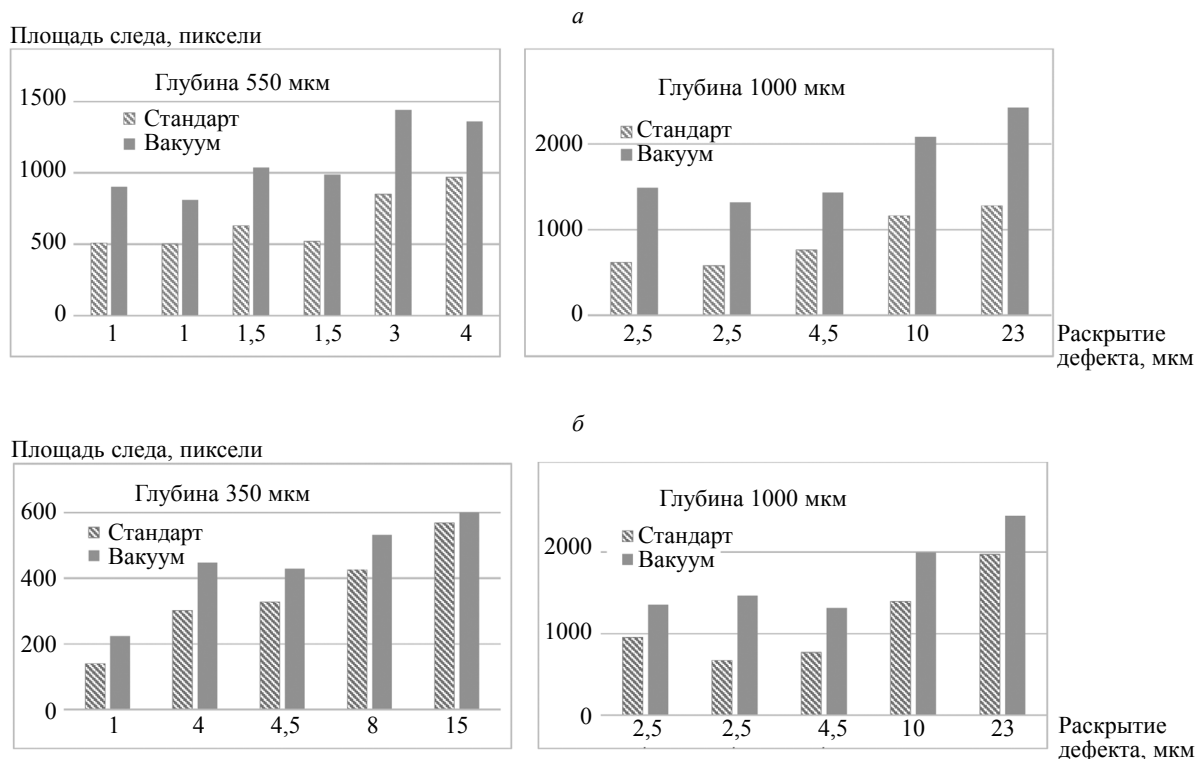


Рис. 5. Сравнительные диаграммы по пропитке дефектов пенетрантами при использовании вакуумной интенсификации: а — люминесцентный пенетрант Bycotest FP42; б — цветной пенетрант Sonapen VP-650.

На рис. 5 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) для обоих исследуемых пенетрантов.

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

ВЫВОДЫ

Проведены экспериментальные исследования вакуумной интенсификации процесса 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. Калиниченко Н.П., Калиниченко 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. V. 88 (9—10). P. 1947—1950.
 5. Kevin M. DePetrillo. Dye penetrant test for semiconductor package assembly solder joints / Пат. 6342400 В1 США. 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. ГОСТ 18442—80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования.
-