

## КОНТРОЛЬНЫЕ ОБРАЗЦЫ ДЛЯ КАПИЛЛЯРНОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

© 2024 г. Н.В. Деленковский<sup>1,\*</sup>, А.Б. Гнусин<sup>1,\*\*</sup>

<sup>1</sup>Институт прикладной физики НАН Беларуси,  
Беларусь 220072 Минск, ул. Академическая, 16  
E-mail: \*delenkovsky@iaph.bas-net.by; \*\*dubelxp@gmail.com

Поступила в редакцию 19.01.2024; после доработки 30.01.2024  
Принята к публикации 30.01.2024

Разработаны образцы для капиллярной дефектоскопии, на которых возможны измерения на оптическом микроскопе как ширины раскрытия поверхностных дефектов, так и их глубин при одновременном соблюдении условий невыхождения полостей дефектов на боковые грани образцов. Приведены экспериментальные данные по зависимостям площадей следов дефектов после проявления от их раскрытий в диапазоне 0,5—8,5 мкм и глубин 40—860 мкм. С использованием корреляционного анализа показана статистическая значимость вышеуказанных параметров.

*Ключевые слова:* капиллярная дефектоскопия, капиллярный контроль, чувствительность капиллярного контроля, образцы для капиллярного контроля, пенетрант, проявитель.

## REFERENCE BLOCKS FOR PENETRANT TESTING

N.V. Delenkovsky<sup>1,\*</sup>, A.B. Gnusin<sup>1,\*\*</sup>

<sup>1</sup>Institute of Applied Physics, Belarus 220072 Minsk, Akademicheskaya str., 16  
E-mail: \*delenkovsky@iaph.bas-net.by; \*\*dubelxp@gmail.com

Reference blocks for penetrant testing have been developed, allowing measurements using an optical microscope of both the opening width of surface defects and their depth. In this case, the condition that defect cavities do not extend onto the side faces of the blocks is met. Experimental data on the dependence of the defect's indications area after development on their width (0.5—8.5 μm) and depth (40—860 mm) are presented. Using correlation analysis, the statistical significance of the above parameters is shown.

*Keywords:* penetrant testing, penetrant sensitivity, reference block, penetrant product family, penetrant, developer.

DOI: , EDN:

## ВВЕДЕНИЕ

Качество капиллярной дефектоскопии в значительной мере зависит от чувствительности набора применяемых дефектоскопических материалов, которая по существующим отечественным и зарубежным стандартам определяется с использованием контрольных образцов. В настоящее время в зависимости от вида таких образцов существуют два различных способа определения чувствительности контроля.

Согласно первому способу, основанному на сравнении результатов капиллярного контроля испытуемых дефектоскопических материалов с эталонными [1], контрольные образцы изготавливают в виде латунных пластин, покрытых никельхромовыми гальваническими покрытиями с толщинами 10—50 мкм [2]. Дефекты на покрытиях в виде ряда трещин получают или путем деформации растяжения образцов (тип 1), или ударной нагрузкой (тип 2). Глубины трещин принимаются равными толщине гальванических покрытий. Ширины раскрытия дефектов в стандарте [2] для образцов обоих типов непосредственно не нормируются. Для образцов типа 1 приводится только требование необходимого отношения ширины раскрытия дефектов к их глубинам, которое должно составлять 1:20 [2].

Существенным недостатком рассматриваемых образцов является то, что трещины в гальванических покрытиях на образцах типа 1 неподобны реальным дефектам изделий:

– такие трещины незамкнуты и выходят на края образцов, что приводит к легкому удалению воздуха из полостей дефектов при их пропитке пенетрантом и искажению результатов контроля по сравнению с использованием дефектов с замкнутыми полостями соответственно;

– ширины раскрытия и глубины полостей реальных дефектов на изделиях могут на 1—1,5 порядка и более превышать аналогичные параметры трещин на образцах с гальваническими покрытиями.

Кроме того, приводимые в стандарте [2] данные о геометрических размерах дефектов не могут относиться к метрологической аттестации образцов. В указанных стандартах также не указан обоснованный способ проверки качества самих эталонных дефектоскопических материалов.

Второй способ определения чувствительности дефектоскопических материалов основан на применении контрольных образцов, изготавливаемых обычно из нержавеющей стали без применения покрытий и содержащих один замкнутый тупиковый дефект, не выходящий на края образца [3—7].

Несомненным достоинством таких образцов является полное подобие их дефектов, представляющих замкнутые, не выходящие на края образца полости, реальным трещинам на металлических изделиях.

Существенный недостаток образцов заключается в том, что требования вышеуказанных стандартов относятся только к аттестации ширины раскрытия дефектов. Аттестация дефектов по глубине стандартами не предусматривается, и фактически этому важному параметру не уделяют никакого внимания как производители образцов, так и потребители. Это связано с тем, что измерения и аттестация замкнутых дефектов по глубине методами неразрушающего контроля крайне затруднительна и не может быть выполнена на существующих контрольных образцах с необходимой точностью.

Данный факт приводит к неоднозначности и искажению результатов контроля при проверке качества дефектоскопических материалов на образцах разных производителей, в результате чего существенно снижаются чувствительность и качество контроля в целом. При этом необходимо отметить, что предположение о значительном влиянии глубины дефектов на чувствительность капиллярного контроля следует как из простого логического рассуждения и понимания сущности капиллярного контроля, так и из экспериментальных данных, полученных нами ранее [8]. Поэтому несомненна и актуальна задача разработки методики, которая позволила бы с достаточной точностью выполнять средствами неразрушающего контроля измерения и аттестацию глубин дефектов на контрольных образцах при условии сохранения замкнутости их полостей.

В Институте прикладной физики НАН Беларуси нами разработана технология получения дефектов на образцах для капиллярной дефектоскопии, которая эффективно решает вышеуказанную задачу. Технология позволяет получить на контрольных образцах ряд поперечных дефектов с одинаковыми глубинами, расположенных строго на одной линии.

Контрольный образец изготавливают из нержавеющей стали в виде прямоугольной металлической пластины с рядом исходных поперечных дефектов одинаковой глубины  $H$ , которые выходят на края образца (рис. 1) [9]. По длинам каждого из дефектов дополнительно выполняют перемычки 2 и 4, разделяя их на ряд других, более мелких дефектов необходимой длины. На таком контрольном образце обеспечиваются как замкнутость полостей основных дефектов 3 (их края не выходят на боковые поверхности образца), так и возможность точного измерения глубин на дополнительных боковых дефектах 1 и 5, выходящих на края образца, с помощью оптического микроскопа с точностью до  $\pm 0,01$  мм.

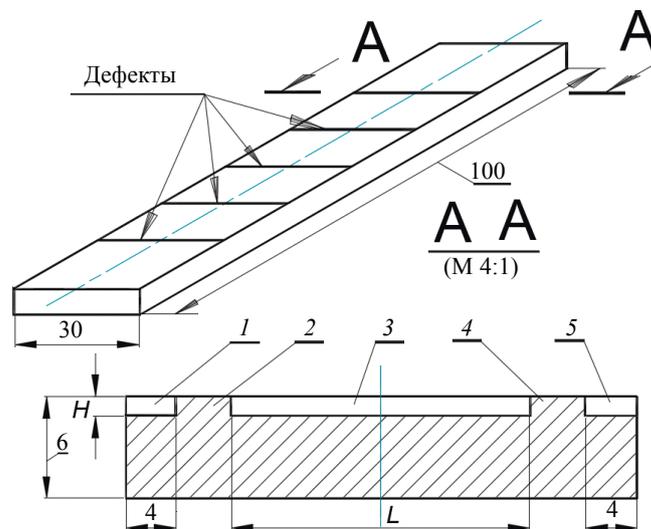


Рис. 1. Контрольный образец для капиллярной дефектоскопии.

С использованием разработанных контрольных образцов нами проведены комплексные исследования по определению влияния ширины раскрытия дефектов и их глубин на чувствительность капиллярного контроля.

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

При проведении экспериментальных исследований нами использовалась автоматизированная система обработки и анализа видеоизображений [10], позволяющая проводить измерения площадей следов дефектов после их проявления.

Были изготовлены 20 образцов из нержавеющей стали AISI 430 (08X17) в виде прямоугольных металлических пластин с размерами 100×30×6 мм (см. рис. 1). Каждый образец содержал по 5 исходных поперечных дефектов с одинаковыми раскрытиями и глубинами в его пределах, которые, как указано выше, дополнительно разделялись двумя перемычками на три дополнительные дефекта. Длины  $L$  основных дефектов  $3$  (см. рис. 1) принимались для первых десяти образцов 17 мм, для последующих десяти — 15 мм. Ширины раскрытия исходных дефектов варьировались на каждом образце в пределах 0,5—8,5 мкм, а глубины — в пределах 40—860 мкм. Результаты исследований подвергались корреляционному анализу средствами приложения Microsoft Excel.

Капиллярный контроль образцов осуществляли в соответствии с ГОСТ 18442—80 [3]. Применялись дефектоскопические материалы: люминесцентный пенетрант Vycotest FP42, цветные пенетранты U88 и Rot1001, а также аэрозольный проявитель U89.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рис. 2 приведены результаты люминесцентного капиллярного контроля одного из разработанных образцов.

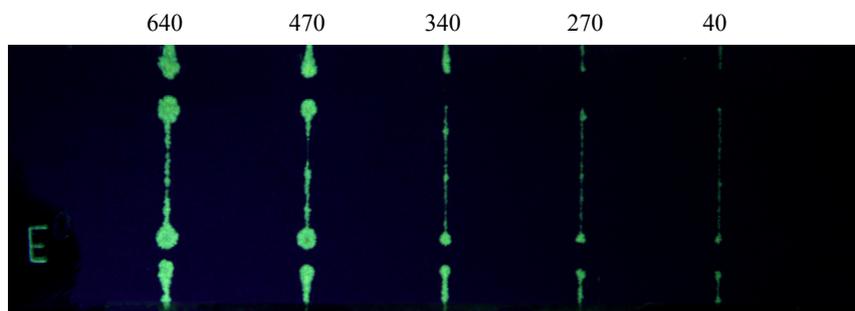


Рис. 2. Результаты люминесцентного капиллярного контроля образца с 5 дефектами с одинаковыми раскрытиями 2—3 мкм и переменными глубинами 40—640 мкм (указаны сверху).

Таблица 1

Результаты корреляционного анализа зависимости площади следов дефектов от их глубины и ширины

№ партии	Пенетрант	Кол-во опытов в партии	Коэффициент корреляции X1 (глубина)	Коэффициент корреляции X2 (ширина)	R-квадрат
1	FP42	145	0,82	0,84	0,87
2	FP42	178	0,74	0,80	0,77
3	FP42	34	0,68	0,69	0,47
4	FP42	44	0,73	0,76	0,53
5	U88	65	0,55	0,57	0,48
6	Rot1001	63	0,40	0,67	0,49

Результаты корреляционного анализа полученных данных представлены в табл. 1, а на рис. 3—5 — данные по влиянию геометрических характеристик дефектов на площади их следов после проявления.

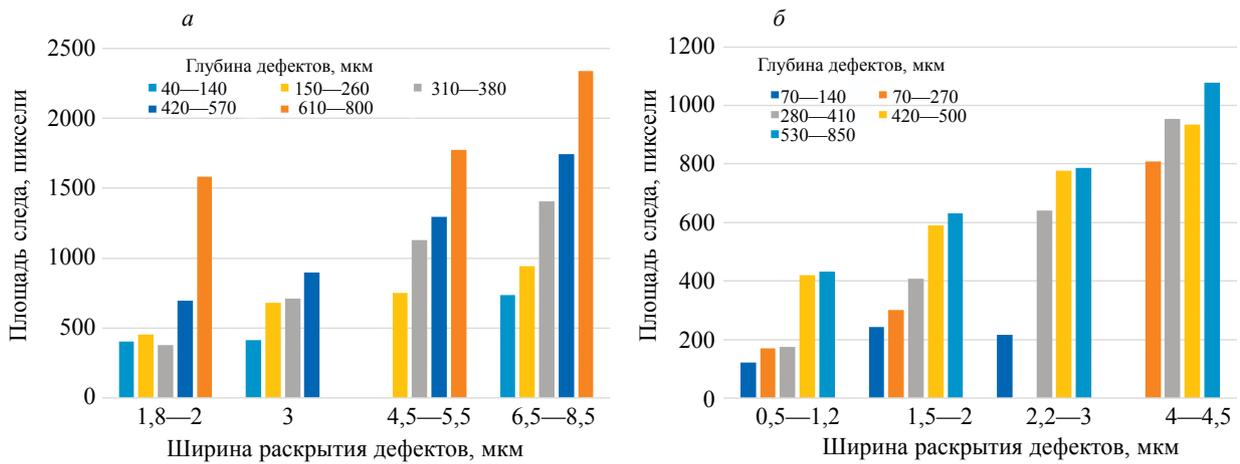


Рис. 3. Зависимости площадей следов дефектов от их глубин в диапазоне 40—850 мкм: *а* — длина дефектов  $L = 17$  мм; *б* —  $L = 15$  мм. Пенетрант — Vucotest FP42.

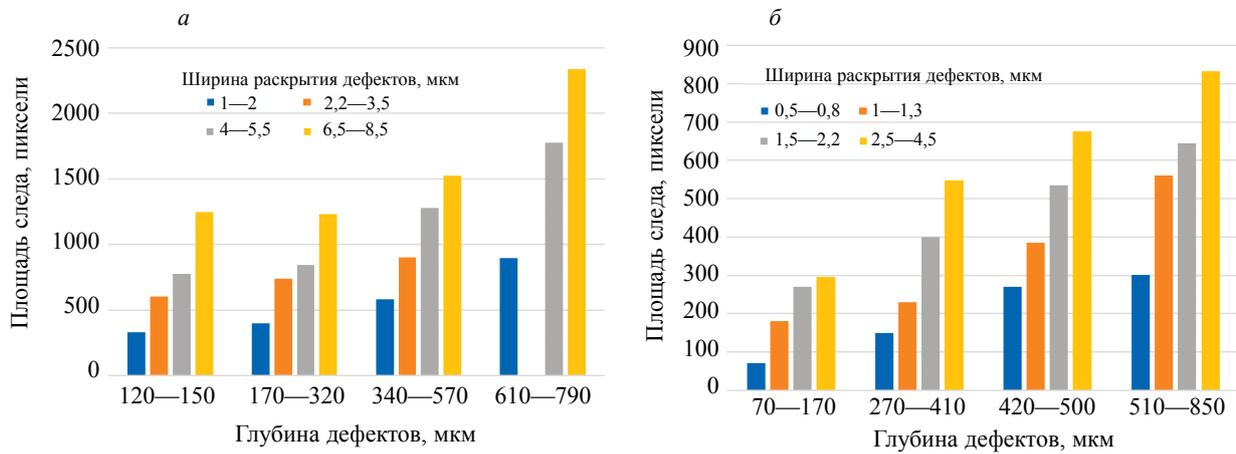


Рис. 4. Зависимости площадей следов дефектов от их ширин раскрытия в диапазоне 0,5—8,5 мкм: *а* — длина дефектов  $L = 17$  мм; *б* —  $L = 15$  мм. Пенетрант — Vucotest FP42.

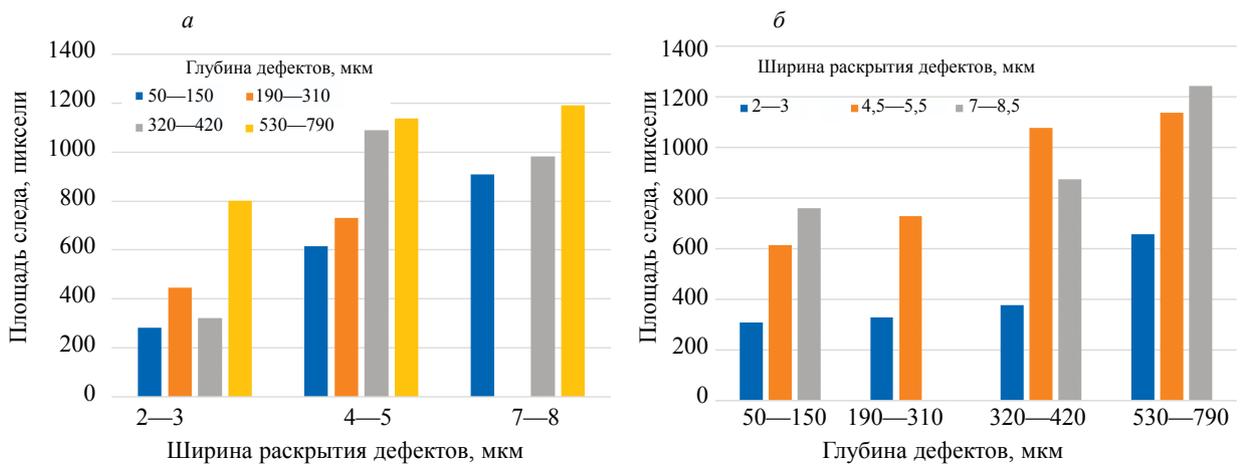


Рис. 5. Зависимости площадей следов дефектов от их глубин (*а*) и ширин раскрытия (*б*). Пенетрант — U88; длина дефектов  $L = 17$  мм.

Как видно из табл. 1, коэффициенты множественной линейной корреляции  $X_1$  (глубина) и  $X_2$  (ширина) значимы и примерно равны между собой, что указывает на существенную значимость и равенство влияния рассматриваемых геометрических характеристик дефектов на чувствительность контроля. Данный факт дополнительно подтверждается значимостью статистического критерия  $R$ -квадрат (коэффициента детерминации), показывающего, какая доля дисперсии значений исследуемых площадей следов дефектов определяется переменными  $X_1$  и  $X_2$ .

Характер и существенную значимость влияния ширин раскрытия и глубин дефектов на площади их следов после проявления и, следовательно, чувствительность капиллярного контроля также можно видеть из диаграмм, приведенных на рис. 3—5.

## ВЫВОДЫ

Разработаны образцы для капиллярной дефектоскопии, на которых возможны измерения на оптическом микроскопе как ширин раскрытия поверхностных дефектов, так и их глубин при одновременном соблюдении условий не выхождения полостей дефектов на боковые грани образцов.

Экспериментально с использованием корреляционного анализа установлено существенное влияние ширин раскрытия и глубин дефектов в контрольных образцах на чувствительность капиллярного контроля.

Представляется обоснованной необходимость внесения в соответствующие стандарты дополнений по учету глубин дефектов на контрольных образцах для капиллярной дефектоскопии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р ИСО 3452-2—2009. Контроль неразрушающий. Проникающий контроль. Часть 2. Испытания пенетрантов. М.: Стандартинформ, 2011.
2. ГОСТ Р ИСО 3452-3—2009. Контроль неразрушающий. Проникающий контроль. Часть 3. Испытательные образцы. М.: Стандартинформ, 2011.
3. ГОСТ 18442—80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования. М.: Издво стандартов, 1987.
4. ГОСТ Р 50.05.09—2018. Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме контроля. Унифицированные методики. Капиллярный контроль. М.: Стандартинформ, 2018.
5. РД-13-06—2006. Методические рекомендации о порядке проведения капиллярного контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах. 2011.
6. СТБ 1172—99. Контроль неразрушающий. Контроль проникающими веществами (капиллярный). Основные положения. Мн: БелГИСС, 1999.
7. Мигун Н.П., Деленковский Н.В., Гнусин А.Б. Новые средства определения чувствительности дефектоскопических материалов для капиллярного контроля // Метрология и приборостроение. 2007. № 2. С. 16—18.
8. Деленковский Н.В., Гнусин А.Б. Оценка глубины поверхностных дефектов при капиллярном контроле // Дефектоскопия. 2017. № 3. С. 74—78.
9. Деленковский Н.В. Патент на полезную модель № 13255. Контрольный образец для капиллярной дефектоскопии. Республика Беларусь, Национальный Центр интеллектуальной собственности, 2023.08.30.
10. Мигун Н.П., Гнусин А.Б., Волович И.В. Компьютеризированная система определяет качество дефектоскопических материалов // Промышленная безопасность. 2004. № 1. С. 34—36.

## REFERENCES

1. GOST R ISO 3452-2—2009. Non-destructive testing. Penetrant testing. Part 2. Testing of penetrant materials. M.: Standardinform. 2011.
2. GOST R ISO 3452-3—2009. Non-destructive testing. Penetrant testing. Part 3. Reference test blocks. M.: Standardinform. 2011.
3. GOST 18442—80. Non-destructive testing. Capillary methods. General requirements. M.: Izdatelstvo standartov. 1987
4. GOST R 50.05.09—2018. Conformity assessment system for the use of nuclear energy. Conformity assessment in the form of control. Unified methods. Liquid penetrant control. M.: Standardinform. 2018.
5. RD-13-06—2006. Methodological recommendations on the procedure for carrying out penetrant testing of technical devices and structures used and operated at hazardous production facilities. 2011.

6. STB 1172—99. Non-destructive testing. Penetrant testing. General requirements. Mn.: BelGISS, 1999.
  7. *Migoun N.P., Delenkovsky N.V., Gnusin A.B.* New means for determining the sensitivity of product families for penetrant testing // *Metrology and instrument-making*. 2007. № 2. P. 16—18.
  8. *Delenkovsky N.V., Gnusin A.B.* Estimation of the depth of surface defects in penetrant testing // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. 2017. №3. P. 74—78.
  9. *Delenkovsky N.V.* Patent № 13255. Reference test block for penetrant testing // Republic of Belarus, National Center for Intellectual Property, 2023.08.30.
  10. *Migoun N.P., Gnusin A.B., Volovich I.V.* A computerized system determines the quality of penetrant materials // *Industrial Safety*. 2004. № 1. P. 34—36.
-