

## СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СВАРНОГО СТЫКОВОГО ШВА С ДЕФЕКТАМИ НЕТРЕЩИНОПОДОБНОГО ТИПА (ПОРЫ), ПРЕВЫШАЮЩИМИ НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРАВИЛ РОССИЙСКОГО МОРСКОГО РЕГИСТРА СУДОХОДСТВА

*Нгуен Зюи Линь*

*Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань, Российская Федерация*

Приводятся исследования и анализ структуры дефектов нетрещиноподобного типа (ДНТ), обнаруженных рентгенографическим методом контроля (РМК) в сварном соединении пластины, выполненной из стали марки D36 на основе требований к уровню качества, предъявляемых Правилами Российского морского регистра судоходства (РМРС). Дефекты типа пор, выявленные РМК, анализируются и подвергаются статистической обработке для получения математической модели «основной металл – сварной шов с ДНТ – основной металл», что позволяет проанализировать уровень дефектности сварного шва на основе данных снимка РМК и предложить теоретическую модель потери производственного качества (надёжности) сварного стыкового соединения. Использование РМК в качестве метода для выявления ДНТ в сварном шве позволяет на основе полученных данных найти взаимосвязь между дефектностью шва и эксплуатационной надёжностью (работоспособность). Обоснование сохранения работоспособности сварного шва с ДНТ на этапе монтажа и эксплуатации корпусов судов является достаточно актуальной задачей в современных условиях. Представлены параметры стальной пластины № 3 для исследования влияния ДНТ на прочность многослойного сварного шва. Приведены результаты РМК сварной пластины № 3 с ДНТ для исследования размеров дефектов и уровня дефектности в виде одиночных пор и скопления пор. Рассматриваются расчётная схема для оценки статистических признаков дефектности шва, общая схема компьютерной обработки снимка РМК с ДНТ (поры) в сварном шве пластины № 3, пример компьютерной обработки и анализа дефектов планки № 18, выявленных РМК. Приведены на графике гистограммы и плотность распределения размеров площади дефектов для планок.

**Ключевые слова:** сварной шов, дефекты нетрещиноподобного типа, прочностная надёжность сварного шва, уровень дефектности, оценка дефектности сварного шва.

**Для цитирования:** *Нгуен Зюи Линь*. Статистическое обоснование работоспособности сварного стыкового шва с дефектами нетрещиноподобного типа (поры), превышающими нормативные требования Правил Российского морского регистра судоходства // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 3. С. 25–33. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-25-33.

### **Введение**

Допустимые нормы для дефектов нетрещиноподобного типа (ДНТ) (поры) в сварных швах, указанные в Российском морском регистре судоходства (РМРС) [1], являются по большей части технологическими [2, 3], что позволяет обеспечить завышенный запас прочности сварного соединения. Согласно источникам [1–4] допустимыми считаются менее опасные ДНТ типа пор и неметаллические включения размерами не больше установленных предельных допусков. Тем не менее – наличие внутренних дефектов в сварных соединениях выше предельных допусков не определяет потерю их работоспособности. Опасность дефектов определяется влиянием их характеристик (типы, виды, размеры и т. п.) и зависит от большого количества конструктивных и эксплуатационных факторов, которые необходимо учитывать при оценке уровня дефектности сварного шва. Заявленный в нормативной документации [1] уровень дефектности сварного шва для ДНТ типа пор опирается на результаты рентгенографического метода контроля (РМК) в плоскости сварного шва (длина участка  $L_{\text{шва}} = 100$  мм, ширина участка  $W_p = \text{var}$ ) и определение суммарной площади дефектов размером единичной поры.

### Постановка задачи

Для исследования ДНТ типа пор были допущены некоторые условности и упрощения при получении сварных швов с заданным набором дефектов, что позволяет обеспечить экономию материальных, временных ресурсов и повысить точность получаемых результатов. Сварная пластина для исследования изготовлена из листов прокатного металла марки D36, что подтверждено актом исследования химического состава по ГОСТ Р 52927-2015 [5], толщиной 25 мм, соединённых стыковым сварным швом. Пластины из листов металла марки D36 получены при помощи гильотинных ножниц с учётом направления их прокатки. Для каждой из четырёх пластин была выполнена разделка кромок для подготовки под сварку при помощи механической обработки одной из кромок согласно ГОСТ 5264-80 [6]. Форма подготовленных кромок соответствует сварному шву С21. Сварка пластин выполнялась попарно: № 3.1–3.2/3.3–3.4 (рис. 1) при помощи ручной дуговой сварки с применением электродов типа УОНИ-13/55.

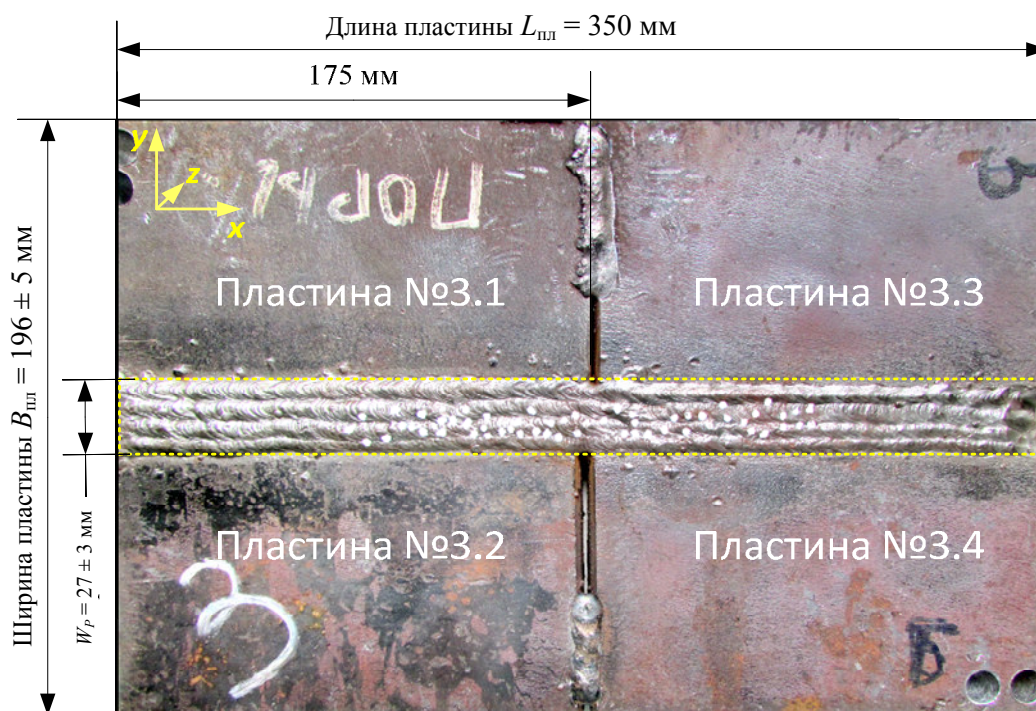


Рис. 1. Параметры стальной пластины № 3 ( $s = s_1 = 25$  мм) для исследования влияния ДНТ на прочность многослойного сварного шва

В сварной шов были искусственно внесены ДНТ типа пор за счёт нанесения капель машинного масла между слоями многослойного шва, что привело к появлению газовых пор в виде одиночных пор, отдельных групп и цепочек вдоль шва. Размер внутренних пор в диаметре колеблется от 0,1 до 2–3 мм, а иногда и более [7].

Основным типом сварных соединений стальных корпусов судов являются продольные многослойные стыковые швы. На продольные швы воздействуют внешние эксплуатационные нагрузки, которые снижают их работоспособность, что определяет прочность и долговечность стального корпуса судна. При изготовлении продольных швов существует риск появления ДНТ в количестве, превышающем нормы, установленные РМРС, за счёт нарушения условий или технологии сварочного процесса.

Стыковой многослойный сварной шов с ДНТ ремонтируется в производственных условиях при помощи вырубке дефектного участка и изготовления нового сварного шва, что увеличивает суммарную стоимость изготовления корпуса судна. Для уменьшения дополнительных затрат целесообразно проанализировать структуру ДНТ типа пор в пластине одним из неразрушающих методов контроля, например РМК, и разработать математическую модель, отражающую изменение технологических и прочностных характеристик исследуемой системы «металл – сварной шов (ДНТ) – металл».

### Результаты исследования

Согласно результатам исследований [4] для оценки влияния включений ДНТ (поры, шлаки) в сварном шве было установлено, что при относительной суммарной площади в сечении шва до 5–10 % они мало влияют на статическую и усталостную прочность соединения. Для пластичных и сравнительно малонагруженных соединений величина ослабления стыкового шва дефектами при статической нагрузке может достигать от 10 до 30 %. Однако остаточные напряжения могут существенно увеличить опасность ДНТ при усталостных нагрузках.

В соответствии с рис. 2 исследование дефектности многослойного продольного сварного шва с искусственно созданными ДНТ гладкой формы (единичные поры и группы пор) выполняется при помощи РМК на основе анализа статистических признаков и показателей дефектности [4].

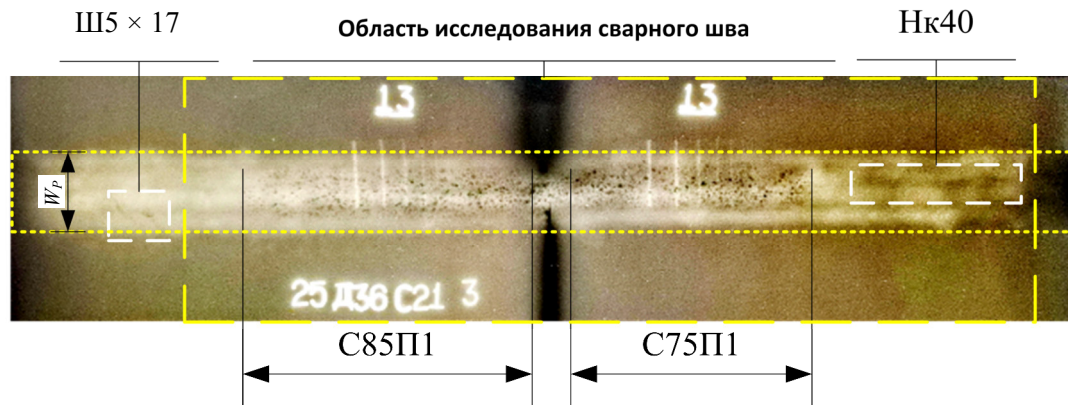


Рис. 2. Результаты РМК сварной пластины № 3 с ДНТ для исследования размеров дефектов и уровня дефектности в виде одиночных пор и скопления пор (тип 2011, 2012, 2013 [1])

При помощи РМК внутренней структуры сварного шва пластины № 3 были определены тип, размеры и место расположения ДНТ в многослойном сварном шве (рис. 2). Во внутренней структуре сварного шва пластины № 3 были обнаружены следующие виды ДНТ (обозначение по ГОСТ 30242-97 и Правилам РМРС [1]):

- одиночные поры (тип 2011) – дефект гладкой формы, при устранении которого требуется вырубка дефекта или его вычищение с последующей заваркой;
- скопление пор (тип 2013) – концентратор напряжения, снижающий локальную прочность и плотность сварного шва (С85П1, С75П1). Для устранения дефекта требуется вырубка дефекта или его вычищение с последующей заваркой;
- шлаковое включение (тип 301) – концентратор напряжения, снижающий прочность сварного шва при малоцикловых нагружениях (Ш5×17). Для устранения дефекта требуется удалить дефектный участок шлифовальным инструментом и заварить;
- непровар корня шва (тип 402) – концентратор напряжений, который приводит к развитию трещин в сварном шве (Нк40). Для устранения дефекта требуется зачистить корень шва и заварить его повторно.

Как известно, ДНТ типа поры является объёмным дефектом, линейные размеры которого определяются следующими параметрами:

- $\Delta_x (\Delta l)$  – по оси  $X$  для оценки длины ДНТ;
- $\Delta_y (\Delta b)$  – по оси  $Y$  для оценки ширины ДНТ;
- $\Delta_z (\Delta h)$  – по оси  $Z$  для оценки глубины залегания ДНТ;
- $\Delta$  – наиболее характеристический классификационный параметр ДНТ;
- $g$  – дефектность контролируемого элемента (классификационный параметр ДНТ).

Расчётное значение дефектности  $g$  будет иметь следующий вид [4]:

$$g = \frac{\sum \Delta S}{S_p},$$

где  $S_p = \{S_p^{XZ}, S_p^{YZ}, S_p^{XY}\}$  – расчётный вектор сечений контролируемого элемента, мм<sup>2</sup>;  
 $\Delta S = \{\Delta S_{YZ}, \Delta S_{XY}, \Delta S_{ZX}\}$  – расчётный вектор площади ДНТ в сечениях контролируемого элемента, мм<sup>2</sup>.

В соответствии с рис. 3 значения элементов вектора  $S_p$  определяются в зависимости от выбранной проекции сварного шва на секущую плоскость:

– проекция площади сварного шва на плоскость ZY (параметры ДНТ для оценки уровней качества по РМРС [1] не нормируются):

$$S_p^{ZY} = \frac{e + (e - 2 \cos(\alpha)h)}{2}h;$$

– проекция площади сварного шва на плоскость XY (параметры ДНТ для оценки уровней качества нормируются по РМРС [1]). Ниже приведены критерии допустимости ДНТ (скопление пор) для уровня качества № 1–3:

$$1: \begin{cases} S_p^{XY} = W_p \times L = A \leq 4 \% \\ 2 \text{ мм} < d \leq 0,2s \end{cases}; \quad 2: \begin{cases} S_p^{XY} = W_p \times L = A \leq 8 \% \\ 3 \text{ мм} < d \leq 0,3s \end{cases}; \quad 3: \begin{cases} S_p^{XY} = W_p \times L = A \leq 16 \% \\ 4 \text{ мм} < d \leq 0,4s \end{cases},$$

где  $L$  – любые (с наибольшей плотностью дефектов) 100 мм длины шва;  $W_p = e$  ( $e$  – ширина сварного шва по ГОСТ 5264-80 [6], мм);  $d$  – максимальный диаметр поры, мм;  $A$  – сумма площадей проекции пор, отнесённая к площади снимка  $W_p \times L$ , мм<sup>2</sup>;

– проекция площади сварного шва на плоскость ZX (параметры ДНТ для оценки уровней качества по РМРС [1] не нормируются):

$$S_p^{ZX} = h \times L,$$

где  $h$  – толщина сварного шва ( $h = s$ ), мм;  $L$  – любые (с наибольшей плотностью дефектов) 100 мм длины шва.

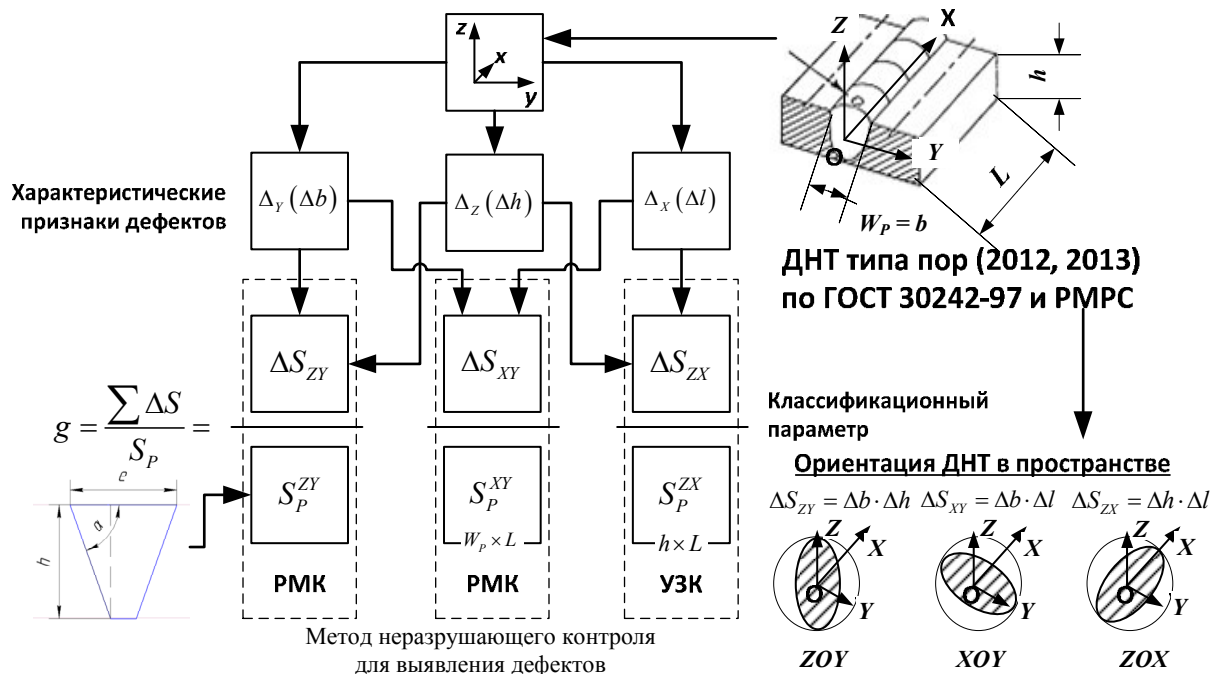


Рис. 3. Расчётная схема для оценки статистических признаков дефектности шва

Анализ суммарной площади проекции ДНТ (поры) на плоскость XY доказал (см. рис. 2), что для участка С85П1 уровень дефектности составил 17 %, а для участка С75П1 – 16,3 %, что превышает требования РМРС [1] для уровней качества с 1 по 3. Для оценки размеров дефектов

и уровня дефектности использовались статистические признаки в плоскости рентгеновского снимка –  $\{\Delta l, \Delta b, 0\}$ , что не позволяет получить полную картину изменения надёжности (работоспособности) сварного шва с ДНТ.

Для статистической оценки значимости выявленных признаков дефектности сварного шва с ДНТ (поры), представленных на рис. 2, снимок РМК был подвергнут компьютерной обработке. Компьютерная обработка снимка (рис. 4) была выполнена на основе авторской методики [8, 9], разработанной для анализа статистических признаков ДНТ.

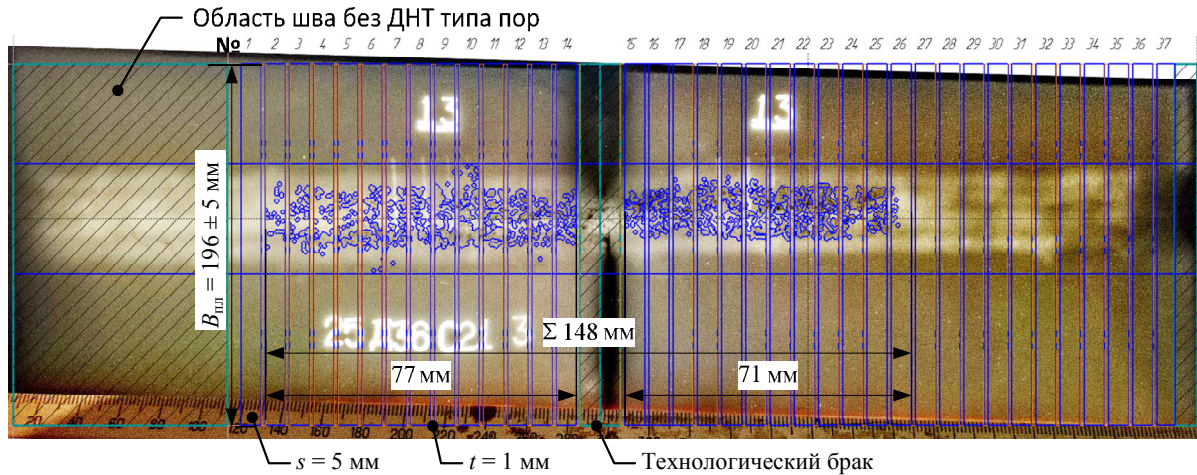


Рис. 4. Общая схема компьютерной обработки снимка РМК с ДНТ (поры) в сварном шве пластины № 3

В соответствии с рис. 4 на основе предлагаемой методики область сварного шва с выявленными дефектами ( $L \leq 100$  мм) разбивается на планки (37 шт.), толщина которых намного меньше двух других её размеров. Это позволяет провести теоретическое исследование напряжённого состояния сварного шва с ДНТ типа поры в рамках существующего решения плоской задачи теории упругости (на сварной шов не должны действовать нагрузки, направленные вдоль нормали к плоскости сварного шва [10, 11]).

В соответствии с рис. 5 выделенная область ( $27 \times 5$  мм) для компьютерной обработки содержит ДНТ типа поры, область нахождения которых аппроксимируется диаметром  $d = 1$  мм (диаметр принят исходя из результатов анализа РМК – максимальный диаметр обнаруженных пор).

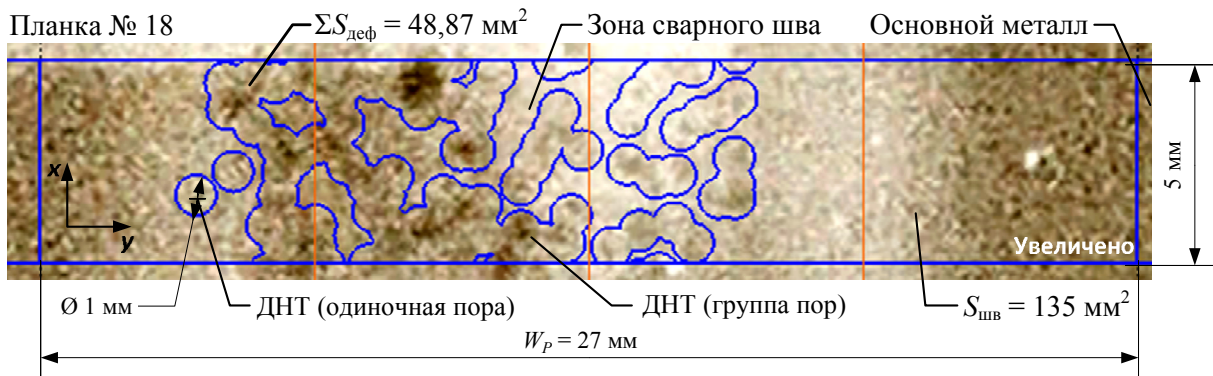


Рис. 5. Пример компьютерной обработки и анализа дефектов планки № 18, выявленных РМК

В результате обработки были выделены 8 зон (при наложении аппроксимирующих областей диаметром 1 мм друг на друга более чем на 15 % – области объединялись в зоны) и 2 единичных ДНТ. Для всех объектов произведён расчёт площади ДНТ –  $\Sigma S_{\text{деф}} = 48,87 \text{ мм}^2$ .

Приведённый на рис. 5 результат анализа выделенных на рис. 4 планок с ДНТ типа поры (планки № 2–26) позволяет произвести статистическую обработку данных для оценки величины характера разброса данных. В соответствии с рис. 6 полученная гистограмма распределения площади соответствует нормальному закону распределения по формуле

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

где  $\mu$  – математическое ожидание;  $\sigma$  – дисперсия;  $x$  – исследуемый признак модели.

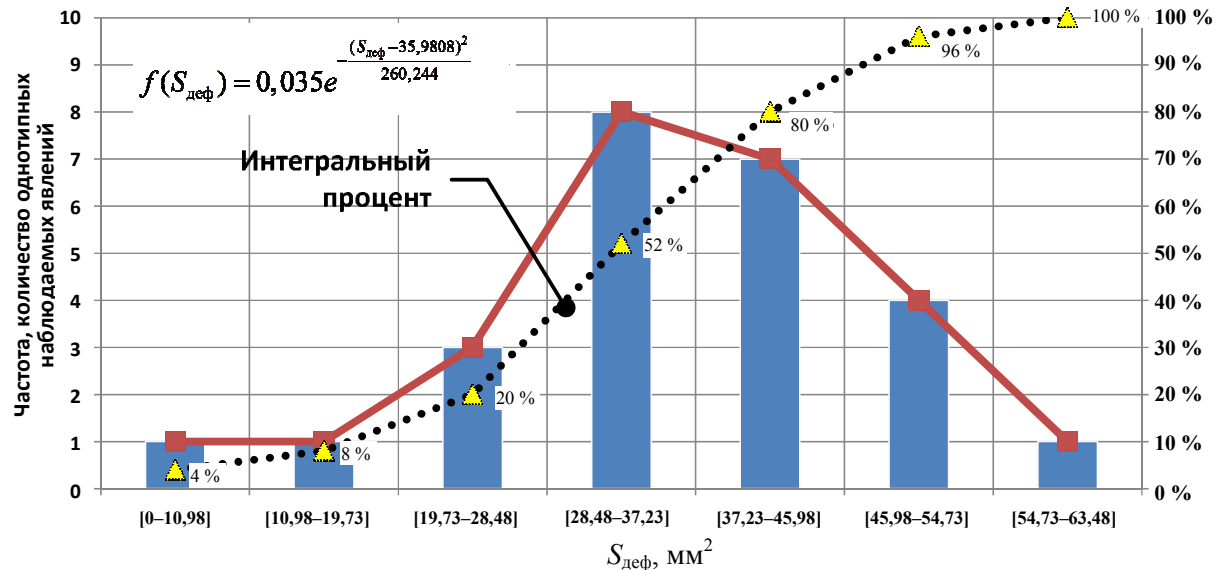


Рис. 6. Гистограмма и плотность распределения размеров площади дефектов для планок ( $\mu = 35,9809$ ;  $\sigma = 11,4071$ )

Статистическая модель полученного распределения соответствует физической модели – качество (прочность) основного металла  $f(R)$  и сварного соединения  $f(\varpi)$  [4] – рассматриваемая в исследовании модель «основной металл – сварной шов с ДНТ – основной металл».

В соответствии с рис. 7 оценка дефектности для выделенных областей (см. рис. 4) планок с ДНТ типа поры проводится по количеству однотипных пор диаметром  $d = 1$  мм.

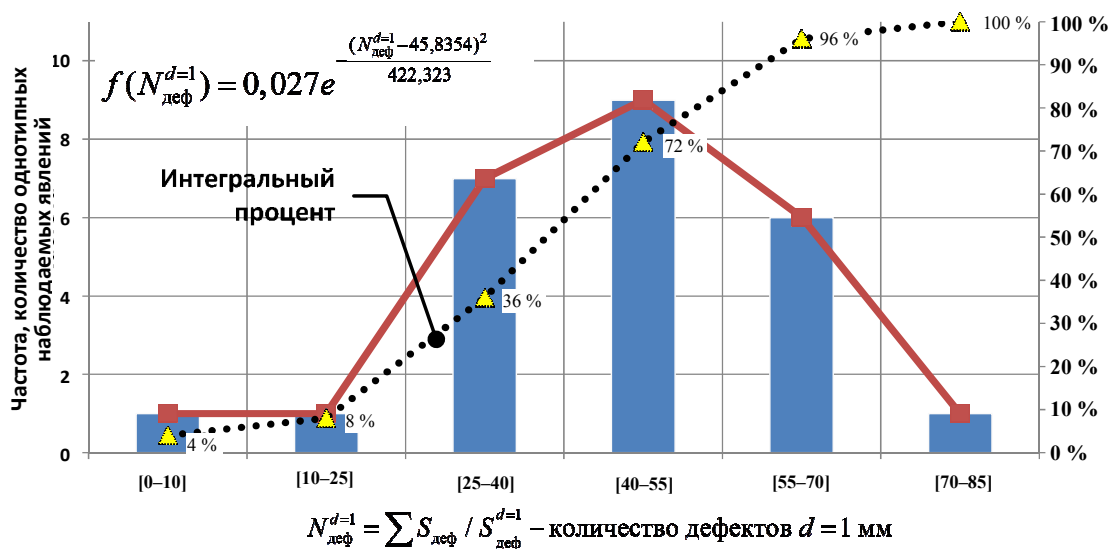


Рис. 7. Гистограмма и плотность распределения количества дефектов  $d = 1$  мм, попавших в плоскость снимка РМК планки ( $\mu = 45,8354$ ;  $\sigma = 14,5314$ )

Полученные значения  $f(\varpi) = f(S_{\text{деф}})$  или  $f(\varpi) = f(N_{\text{деф}}^{d-1})$  отражают прочность сварного шва с точки зрения выявленных РМК статистических признаков дефектности шва с ДНТ типа пор. Согласно данным [4] обнаруженные дефекты при помощи РМК распределены по нормальному закону или по закону Вейбулла, что связано с низкой чувствительностью метода контроля при обнаружении мелких дефектов.

В этом случае расчётная модель вероятности производственной потери надёжности сварных соединений может быть определена на основании результатов РМК и специальных исследований (например, вскрытия стыкового шва с ДНТ), что позволит установить связь между сигналами от дефектов, реальными дефектами и их влиянием на эксплуатационную надёжность (работоспособность), а также уточнить значения нормативного и порогового размера дефектов сварного шва.

### Выводы

1. Рассмотренные критерии дефектности сварного шва с ДНТ типа пор в Правилах РМРС на основе РМК опираются на представления о типе, размерах и положении дефектов в плоскости сварного шва, что не позволяет оценить глубину залегания и объёмные параметры дефекта. Используемая оценка дефектности не учитывает расположение дефекта относительно структуры шва, что, по нашему мнению, является основанием для снижения уровня требований качества к технологическим дефектам.

2. Предложенный метод анализа ДНТ типа пор позволяет рассматривать общую картину с размером и расположением дефектов с позиции статистической модели качества, которая отражает физическое представление о прочности основного металла  $f(R)$  и сварного соединения  $f(\varpi)$ . На основе предлагаемого подхода появляется возможность предложить модель вероятностного определения нормативного и порогового значения размера ДНТ типа пор.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Сварка.* СПб.: Изд-во ФАУ «РМРС», 2018. Т. 14. 105 с.
2. *Коновалов Н. Н.* Нормирование дефектов и достоверность неразрушающего контроля сварных соединений. М.: Промыш. безопасность, 2006. 111 с.
3. *Шахматов М. В., Ерофеев В. В., Коваленко В. В.* Работоспособность и неразрушающий контроль сварных соединений с дефектами. Челябинск: Изд-во ЦНТИ, 2000. 227 с.
4. *Контроль качества сварки: учеб. пособие / под ред. В. Н. Волченко.* М.: Машиностроение, 1975. 328 с.
5. *ГОСТ 52927-2015.* Прокат для судостроения из стали нормальной, повышенной и высокой прочности. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2017. 61 с.
6. *ГОСТ 5264-80.* Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. М.: Стандартиформ, 2005. 33 с.
7. *Лисин Ю. В. и др.* Техническая диагностика объектов транспорта нефти и нефтепродуктов. СПб.: Недра, 2011. 488 с.
8. *Нгуен З. Л., Кожухарь Е. Д., Рубан А. Р., Гусейнов Р. В., Абачараев И. М.* Определение прочности сварного шва корпуса судна с дефектами нетрещиноподобного типа на основе элементов теории упругости и разрушения // Мор. интеллектуал. технологии. 2019. № 1 (43). Т. 4. С. 37–43.
9. *Нгуен З. Л., Кожухарь Е. Д., Рубан А. Р., Гусейнов Р. В., Абачараев И. М.* Анализ и разработка метода оценки прочностной надёжности сварного соединения с дефектами нетрещиноподобного типа // Мор. интеллектуал. технологии. 2019. № 1 (43). Т. 4. С. 44–49.
10. *Филин А. П.* Прикладная механика твёрдого деформированного тела. М.: Наука, 1975. Т. 1. 832 с.
11. *Мусхелишвили Н. И.* Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 648 с.

Статья поступила в редакцию 28.05.2019

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Нгуен Зюи Линь* – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры судостроения и энергетических комплексов морской техники; Phoenix\_472@mail.ru.



**STATISTICAL SUBSTANTIATION OF OPERABILITY  
OF WELDED BUTT JOINT  
WITH NON-CRACK-LIKE DEFECTS (PORES) EXCEEDING  
REGULATORY REQUIREMENTS OF THE RULES  
OF THE RUSSIAN MARITIME REGISTER OF SHIPPING**

*Nguyen Duy Linh*

*Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation*

**Abstract.** The paper presents the research and analysis of the structure of non-crack-like defects (NCD) detected by X-Ray Inspection (X-RI) method in the welded joint of the plate made of D36 steel in compliance with the quality requirements imposed by the Rules of the Russian Maritime register of shipping (RMRS). Defects (pores) identified by X-RI method are analyzed and subjected to statistical processing in order to obtain the mathematical model “base metal – weld with NCD – base metal”, which helps to analyze the degree of weld imperfection using X-RI photo and offer a theoretical model of losing production quality (reliability) of the welded butt joint. Using X-RI method for detection of NCD in the weld allows to find the relationship between the defect of the seam and operational reliability (performance) on the basis of the data obtained. Justification of saving operation qualities of a welded seam with NCD at a stage of mounting and maintenance of the ship hulls is today an important task. There are presented the parameters of steel plate No.3 for studying NCD influence on the strength of a multi-layer weld. The X-RI results of welded plate No.3 with NCD are shown for studying the size and degree of defects in the form of single pores and accumulation of pores. A design model for assessing statistical signs of a defective weld, a general scheme of computer processing of a X-RI picture with NCD (pores) in the weld of plate No. 3, an example of computer processing and analysis of defects of bar No.18 identified by X-RI are considered. Histograms and distribution of density of the sizes of the defected area for the plates are shown on the graph.

**Key words:** weld, of non-crack-like defects, strength reliability of the weld, degree of deficiency, assessment of the weld imperfection.

**For citation:** Nguyen Duy Linh. Statistical substantiation of operability of welded butt joint with non-crack-like defects (pores) exceeding regulatory requirements of the Rules of the Russian Maritime Register of Shipping. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2019;3:25-33. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-25-33.

*REFERENCES*

1. *Rossijskij morskoy registr sudohodstva. Pravila klassifikacii i postrojki morskikh sudov. Svarka* [Russian Maritime Register of Shipping. Rules for the classification and construction of ships. Welding]. Saint-Petersburg, Izd-vo FAU «RMRS», 2018. Vol. 14. 105 p.
2. Konovalov N. N. *Normirovanie defektov i dostovernost' nerazrushayushchego kontrolya svarnyh soedinenij* [Rationing of defects and reliability of non-destructive testing of welded joints]. Moscow, Promyshlennaya bezopasnost' Publ., 2006. 111 p.
3. Shahmatov M. V., Erofeev V. V., Kovalenko V. V. *Rabotosposobnost' i nerazrushayushchij kontrol' svarnyh soedinenij s defektami* [Efficiency and non-destructive testing of welded joints with defects]. Chelyabinsk, Izd-vo CNTI, 2000. 227 p.
4. *Kontrol' kachestva svarki: uchebnoe posobie* [Welding quality control: teaching guide]. Pod redakciej V. N. Volchenko. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1975. 328 p.
5. *GOST 52927-2015. Prokat dlya sudostroeniya iz stali normal'noj, povyshennoj i vysokoj prochnosti. Tekhnicheskie usloviya* [GOST 52927-2015. Rolling steel of normal, increased and high strength for shipbuilding. Technical specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2017. 61 p.
6. *GOST 5264-80. Ruchnaya dugovaya svarka. Soedineniya svarnye. Osnovnye tipy, konstruktivnye elementy i razmery* [GOST 5264-80. Manual arc welding. Welded joints. Basic types, structural elements and dimensions]. Moscow, Standartinform Publ., 2005. 33 p.
7. Lisin Yu. V. i dr. *Tekhnicheskaya diagnostika ob"ektov transporta nefii i nefteproduktov* [Technical diagnostics of transportation facilities of oil and oil products]. Saint-Petersburg, Nedra Publ., 2011. 488 p.
8. Nguen D. L., Kozhuhar' E. D., Ruban A. R., Gusejnov R. V., Abacharaev I. M. *Opreделение prochnosti svarnogo shva korpusa sudna s defektami netreshchinopodobnogo tipa na osnove elementov teorii uprugosti*



i razrusheniya [Determining strength of weld of the ship hull with of a non-crack-like defects based on elements of elasticity and fracture theory]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2019, no. 1 (43), vol. 4, pp. 37-43.

9. Nguen D. L., Kozhuhar' E. D., Ruban A. R., Gusejnov R. V., Abacharaev I. M. Analiz i razrabotka metoda ocenki prochnostnoj nadyozhnosti svarnogo soedineniya s defektami netreshchinopodobnogo tipa [Analysis and development of a method for assessing strength reliability of a welded joint with non-crack-like defects]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2019, no. 1 (43), vol. 4, pp. 44-49.

10. Filin A. P. *Prikladnaya mekhanika tvordogo deformirovannogo tela* [Applied mechanics of a rigid deformed body]. Moscow, Nauka Publ., 1975. Vol. 1. 832 p.

11. Muskhelishvili N. I. *Nekotorye osnovnye zadachi matematicheskoy teorii uprugosti* [Basic problems of mathematical theory of elasticity]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1954. 648 p.

The article submitted to the editors 28.05.2019

### ***INFORMATION ABOUT THE AUTHOR***

***Nguyen Duy Linh*** – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering Equipment; Phoenix\_472@mail.ru.

