



МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ДВИЖИТЕЛИ

УДК 621.791.052.2: 629.123 : 629.5.06

ОБОСНОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ТРЕБОВАНИЙ ПРАВИЛ РЕГИСТРА ПО ПРИМЕНЕНИЮ СВАРНЫХ МУФТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ

В.К. Шурпьяк, канд. техн. наук, ФАУ «Российский морской регистр судоходства», Санкт-Петербург, e-mail: shurpyak.vk@rs-class.org

А.В. Дуля, ООО «Наутик Рус», Санкт-Петербург, e-mail: dulya@nautic-rus.ru

А.С. Статинов, ООО «Наутик Рус», Санкт-Петербург, e-mail: statinov@nautic-rus.ru

В статье проведен сравнительный анализ требований классификационных обществ и отраслевых стандартов к сварным муфтовым соединениям. Определены геометрические параметры муфтовых соединений, регламентируемые различными нормативными документами и проведено их сравнение. Проведен численный эксперимент путем расчета методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния в соединении, нагруженном различными эксплуатационными нагрузками. Полученные данные говорят о том, что коэффициент концентрации напряжений в сварном шве незначительно увеличивается при увеличении диаметра соединяемых труб и область применения сварных муфтовых соединений может быть расширена. В частности, допускаемый диаметр для применения сварных муфтовых соединений в трубопроводах II класса может быть увеличен при соблюдении некоторых дополнительных требований, которые сформулированы в статье в виде нормативного предложения к Правилам Регистра.

Ключевые слова: судовые трубопроводы, сварные муфтовые соединения труб, концентрация напряжений, расчет методом конечных элементов (МКЭ)

SUBSTANTIATION FOR AMENDMENTS IN THE RS RULES REQUIREMENTS FOR THE USE OF SOCKET WELDED JOINTS IN PIPELINES

V.K. Shurpyak, PhD, FAI "Russian Maritime Register of Shipping", St. Petersburg,

e-mail: shurpyak.vk@rs-class.org

A.V. Dulya, LLC "Nautic Rus", St. Petersburg, e-mail: dulya@nautic-rus.ru

A.S. Statinov, LLC "Nautic Rus", St. Petersburg, e-mail: statinov@nautic-rus.ru

The article provides a comparative analysis of the requirements of classification societies and industry standards for welded socket joints. The geometrical parameters of coupling joints, regulated by various normative documents, have been determined and compared. Numerical experiment has been carried out by calculating the finite element stress-strain state in a joint loaded with various operational loads. The data obtained indicate that the stress concentration factor in the weld increases slightly with an increase in the diameter of the pipes being connected, and thus the scope of welded socket joints can be expanded. The allowable diameter for the use of welded socket joints in class II pipelines can be increased subject to certain additional requirements, which are formulated in the article as a prospective normative proposal to the RS Rules.

Keywords: ship pipelines, slip-on sleeve welded joints of pipes, stress concentration, calculation by the finite element method (FEM)

1. ВВЕДЕНИЕ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБ

Конкурентоспособность судостроительного производства неразрывно связана с повышением производительности труда на всех этапах производственного процесса. Особенностью судостроения, в отличие от других отраслей машиностроения, является высокая длительность производственного цикла, что приводит к продолжительному замораживанию существенных материальных и финансовых средств в процессе постройки судна. При этом повышение производительности труда на ранних стадиях производственного процесса не дает существенного роста общей производительности труда, если отсутствует одновременное повышение производительности труда на более поздних стадиях строительства судна. Важность снижения трудоемкости трубопроводных работ объясняется не только значительным их объемом, который составляет 10 — 12 % от общей трудоемкости постройки судна, а на некоторых проектах — до 14 — 17 % [1]. Поскольку изготовление и монтаж судовых трубопроводов производится на поздних стадиях строительства судна, технологичность изготовления и монтажа трубопроводов является существенным фактором для снижения трудоемкости и сокращения сроков строительства судов.

Отработка верфью проектов судов на технологичность способствует снижению трудоемкости трубопроводных работ и уменьшению доли тяжелого физического труда в общей трудоемкости постройки судна. В последнее время при технологической отработке верфями новых проектов судов возникает потребность замены стыковых сварных соединений труб (см. рис. 1) на сварные муфтовые соединения (см. рис. 2) как более технологичные. Но по причине ограничений области применения муфтовых сварных соединений в Правилах Регистра и ИКО это не находит широкого применения. В связи с этим Регистром была проведена работа по сравнению надежности различных допускаемых Правилами Регистра сварных соединений труб с целью рассмотрения возможности расширения области применения нахлесточных сварных швов в соединениях труб в судовых трубопроводах.



Рис. 1 Сварное соединение труб встык [2]

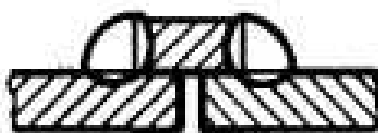


Рис. 2 Сварное муфтовое соединение труб [2]

2. СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА СУДАХ

Любое соединение в трубопроводе — это всегда «слабое место», поэтому в случаях, когда в приоритете надежность и прочность, чаще всего применяют неразъемные методы стыковки элементов. Неразъемные соединения являются самым надежным видом соединения труб и при этом одновременно наиболее экономичными, поскольку при их использовании не требуются фланцы и крепеж, а также исключается ряд операций при изготовлении труб в цехе.

Недостаток неразъемных соединений состоит в том, что при разборке трубопроводов приходится трубы разрезать, в связи с чем нежелательно использовать неразъемные соединения в трубопроводах, подлежащих разборке в эксплуатации при проведении технического обслуживания и ремонта. Кроме того, что сварные соединения более надежны, чем фланцевые и резьбовые, применение сварки дает значительную экономию металла и веса, поэтому если нет необходимости в демонтаже трубопроводов во время эксплуатации и если материалы позволяют такое соединение, то применение сварки наиболее предпочтительно.

При сварке плавлением наиболее надежными являются стыковые соединения труб (см. рис. 1), имеющие высокую прочность как при статических, так и при знакопеременных нагрузках, чем и объясняется их широкое применение. В Правилах классификационных обществ стыковые сварные соединения допускаются для труб любого класса без ограничений по диаметру трубы для любых сред.

По сравнению с другими видами сварки, расход сварочных материалов при сварке встык уменьшается, но выполнение сварки встык требует более высокой квалификации сварщика. Для получения качественного стыкового шва в соединении труб точность сборки должна быть значительно выше, чем в соединениях с применением сварных швов внахлестку. Но главным недостатком стыковых соединений с точки зрения технологичности является необходимость подготовки кромок, так как двухсторонняя сварка для судовых трубопроводов зачастую невозможна. От качества выполнения скоса кромок зависит качество сварного шва и надежность соединения.

Кроме того, для каждого способа сварки выбирают разные виды разделки кромок и качество соединения встык зависит от качества сборки: выдержки строгих допусков на несоосность соединяемых труб, величину сварочного зазора между трубами, смещения кромок, выполнения требований к шероховатости поверхности кромок, подготовленных под сварку. Согласно стандарту [3] шероховатость кромок для сварки встык в общем случае должна быть не более R_a 20 мкм, а при использовании не удаляемых подкладных колец — не более R_a 5 мкм.

Картина усугубляется тем, что применяемые в отечественном судостроении трубы зачастую имеют широкий допуск по толщине стенки, который не позволяет обеспечить выполнение требований по смещению кромок, указанного в стандарте [2] (12 % от толщины стенки, но не более 0,5 мм). Это приводит к необходимости выполнения расточки или раздачи концов соединяемых труб.

По сравнению с соединениями встык соединения внахлестку судовых трубопроводов просты в изготовлении и достаточно технологичны. Требования по шероховатости и к смещению кромок отсутствуют и для таких соединений в стандарте регламентируется только величина зазора между трубой и муфтой. К нахлесточным соединениям судовых трубопроводов относят муфтовые (см. рис. 2) и раструбные сварные соединения (см. рис. 3), пример муфтовых соединений показан на рис. 4. При этом нередко на одной трубе соседствуют стыковые и нахлесточные швы, как это можно видеть на рисунке. Это объясняется тем, что большая часть сварных швов трубопровода выполняется в цеху при изготовлении труб, где обеспечить качественный полный провар значительно проще чем на судне, а окончательную сборку и сварку трубопроводов на судне производят с помощью сварного муфтового соединения.

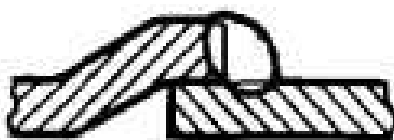


Рис. 3 Сварное раструбное соединение труб [2]



Рис. 4 Сварные муфтовые соединения, выполненные на судне (фото автора)

Применение раструбных сварных соединений не нашло такого широкого применения на судах, как муфтовых. Хотя при выполнении раструбных соединений объем сварки уменьшается в два раза по сравнению с муфтовыми, но для выполнения раструбного соединения необходима технологическая операция развальцовки конца одной из соединяемых труб. Это требует дополнительного технологического оборудования и приводит к пластической деформации и утонению стенки трубы в районе раструба, что отрицательно сказывается на прочности соединения. В районе раструба напряжения в стенке трубы от внутреннего давления увеличиваются примерно пропорционально увеличению диаметра и уменьшению толщины стенки. Кроме того, металл в месте развальцовки остается в наклепанном состоянии, что отрицательно сказывается на усталостной прочности. Остаточные напряжения могут существенно влиять на механические свойства сварного соединения при взаимодействии остаточных напряжений с эксплуатационными.

3. СРАВНЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СВАРНЫМ МУФТОВЫМ СОЕДИНЕНИЯМ ПРАВИЛ РЕГИСТРА С ТРЕБОВАНИЯМИ ДЕЙСТВУЮЩИХ СТАНДАРТОВ И ИКО

Прочность нахлесточных сварных соединений, особенно усталостная прочность, ограничена. Поэтому согласно Правилам Регистра [4] если сварные **стыковые соединения** с полным проваром без специальных мер по обеспечению качества корня шва допускаются для трубопроводов классов II и III без ограничения диаметров, то сварные муфтовые и раструбные соединения независимо от диаметра трубопровода могут применяться без ограничений только для трубопроводов класса III. При этом в Правилах говорится, что в отдельных случаях такие соединения могут использоваться для трубопроводов классов I и II наружным диаметром до 88,9 мм, за исключением трубопроводов, содержащих токсичные среды и при условии исключения эксплуатации при повышенных усталостных нагрузках, коррозии или эрозии. Эти положения повторяют положения унифицированного требования (УТ) МАКО UR P2.7.1 [5].

Кроме того, в Правилах есть требование о том, что такие соединения должны выполняться по национальным стандартам, применение которых согласовывается с Регистром. Таковыми стандартами в российском судостроении являются ГОСТ 16037-80 [2] и ОСТ 5Р.9089-92 [3]. Оба стандарта регламентируют величину зазора между трубой и муфтой (не более 1 мм) и длину муфты l , которая должна быть в диапазоне $40 \div 60$ мм в зависимости от диаметра.

Согласно ОСТ 5Р.9089-92 [3] (см. рис. 5) катет шва и толщина муфты должна быть увеличена на 30 % по сравнению с толщиной стенки трубы. Согласно стандартам, соединения могут применяться в трубах с рабочим давлением до 2,5 МПа. Длина муфты должна составлять не менее 60 мм для труб с DN более 100 мм, 40 мм для труб с DN менее 32 мм и 50 мм при DN в диапазоне от 32 до 108 мм.



Рис. 5 Требование к размерам муфтового соединения согласно ОСТ 5Р.9089-92 [3]

Правила иностранных классификационных обществ (ИКО), BV [6] и других, как и Правила Регистра повторяют требования УТ МАКО UR P2 без каких-либо изменений и дополнений. Некоторым исключением можно считать Правила ABS [7], которые помимо требований МАКО дополнительно регламентируют требования к некоторым геометрическим размерам соединения: зазор между трубой и муфтой должен быть не более 1 мм на сторону, зазор между торцами соединяемых труб внутри муфты не менее 2 мм, размер катета сварного шва не менее 1,1 толщины стенки трубы. Кроме этого, регламентируется длина участка трубы, вставленного в муфту — не менее 9,5 мм.

При этом Правила ABS [7] допускают применение соединений в трубопроводах классов I и II с номинальным диаметром не более 80 мм (3 дюйма). На рис. 6 приведен рисунок из Правил ABS,

регламентирующий геометрию соединения. Из рисунка следует, что длина муфты должна быть не менее 21 мм, а ее толщина стенки должна быть больше, чем у соединяемых труб не менее чем на 10 %.

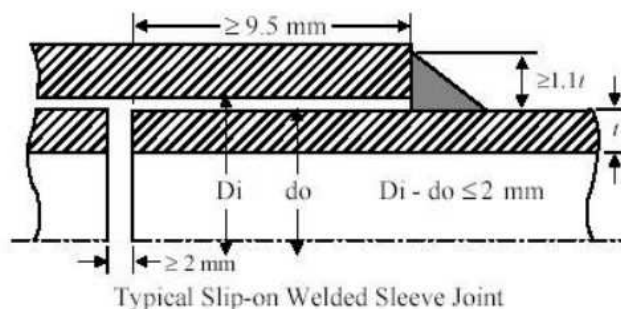


Рис. 6 Требования Правил ABS [7] к геометрии сварного муфтового соединения

4. УСЛОВИЕ РАВНОЙ ПРОЧНОСТИ СВАРНОГО ШВА МУФТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ И СОЕДИНЯЕМЫХ ТРУБ

При проектировании сварных соединений обычно стараются выполнить конструкцию, в которой прочность соединения была бы не меньше прочности основного металла соединяемых деталей под действием тех нагрузок, которые могут возникать в эксплуатации. Классический расчет нахлесточных сварных соединений на основе классического «сопромата» сводится к определению касательных напряжений, возникающих в сечении сварного шва, расположенном под углом 45° к катету шва, как это показано на рис. 7 линией 1-1. На практике угловые швы нахлесточных соединений разрушаются по сечению, проходящему через биссектрису прямого угла поэтому, расчетная высота шва $h = k \cos 45^\circ \sim 0,7k$ (см. рис. 7), а площадь сечения шва будет равна длине окружности, умноженной на расчетную высоту шва h .

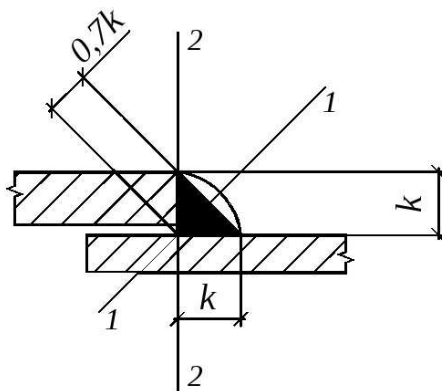


Рис. 7 Расчетное сечение сварного шва

При этом нагрузка определяется как осевая сила, возникающая от действия внутреннего давления, а напряжениями, возникающими в сварном шве от внутреннего давления в окружном направлении, можно не учитывать в рамках применений второй теории прочности, так как деформации сварного шва будут иметь место совместно с трубой и муфтой и нагрузки от внутреннего давления в окружном направлении воспринимаются ими совместно и будут существенно меньше осевых.

Условия прочности в сварном шве определяется для касательных напряжений

$$[\tau] \geq \tau = N/F, \quad (1)$$

где N — осевое усилие, вызванное внутренним давлением p :

$$N = p\pi d^{2/4}, \quad (2)$$

d — наружный диаметр трубы;

F — площадь сечения сварного шва, в плоскости 1-1 как показано на рис. 7:

$$F = \pi d 0,7k, \quad (3)$$

где k — катет шва, как показано на рис. 7.

Примем, что размер катета должен быть несколько больше толщины стенки трубы S и введем коэффициент A , который назовем коэффициентом увеличения сварного шва $A = k/S$. Подставляя (2) и (3) в (1) и учитывая, что $k = AS$, получаем

$$[\tau] \geq \tau = 0,36pd/SA. \quad (4)$$

Сравним полученное значение с напряжениями, которые возникают в материале трубы на удалении от соединения. При расчетах труб и цилиндрических оболочек общепринято использовать третью теорию прочности (максимальных касательных напряжений):

$$[\sigma] \geq \sigma = \sigma_1 - \sigma_3 = pd/2S + p/2. \quad (5)$$

Сравним полученные напряжения, учитывая, что допускаемые касательные напряжения сварного шва $[\tau]$ обычно назначаются равными 0,5 ÷ 0,7 от допускаемых напряжений материала трубы $[\sigma]$:

$$[\tau] = \gamma[\sigma] = (0,5 \div 0,7)[\sigma], \quad (6)$$

где согласно [8, 9] $\gamma = 0,5$ для ручной сварки электродом с ионизирующими покрытиями, $\gamma = 0,6$ для ручной сварки толстопокрытыми электродами, например, Э42 и $\gamma = 0,65$ при сварке вручную в среде защитных газов или электродом Э42А.

Подставив в (6) выражения (4) и (5) получаем условие равной прочности сварного шва и материала трубы в виде уравнения (7):

$$\frac{0,36p}{\gamma} \frac{d}{SA} = pd/2S + p/2. \quad (7)$$

Приняв $\gamma = 0,65$, как для наиболее распространенного способа сварки таких соединений, после простейших преобразований выражение (7) принимает вид

$$A = \frac{1,1d/S}{d/S + 1} \quad (8)$$

Выражение (8) показывает отношение катета сварного шва к толщине стенки, при котором соединение можно считать равнопрочным материалу трубы, а его график приведен на рис. 8.

Из рис. 8 следует, что необходимая для обеспечения равной с трубой прочности величина катета шва зависит не от абсолютных размеров трубы, а от отношения диаметра к толщине стенки, то есть сварные швы в соединениях тонкостенных труб более нагружены по сравнению с толстостенными.

В диапазоне соотношений диаметра к толщине стенки для труб, применяемых на судах (Правила Регистра [4] регламентируют толщину стенок труб для соотношения d/S от 6 до 70) нет необходимости увеличивать катет шва и соответственно толщину стенки муфты более чем на 10 % толщины стенки трубы, что совпадает с требованиями Правил ABS [7].

В свете этого, требования российских стандартов [2, 3] об увеличении этих размеров на 30 % толщины стенки трубы представляются завышенными для труб, применяющихся в судостроении.

Однако приведенные выше расчеты не учитывают концентрацию напряжений, возникающих в соединениях, опасных в эксплуатации в случае возникновения переменных нагрузок. Для расчета коэффициентов концентрации напряжений и определения напряженно-деформированного состояния (НДС) используем метод конечных элементов (МКЭ). Поскольку при прочих равных условиях долговечность и прочность сварной конструкции зависит от величины концентрации напряжений, можно сформулировать задачу, решение которой позволит обосновать расширение области применения сварных муфтовых соединений:

провести расчет методом конечных элементов (МКЭ) для определения величины концентрации напряжений при различных вариантах нагрузок для соединения, допускаемого Правилами и увеличенного размера;

путем анализа полученных результатов определить, как изменяется концентрация напряжений при увеличении размеров труб для различных типов нагрузок, возникающих в эксплуатации.

Если концентрация напряжений не увеличивается существенно, то расширение допустимой области применения возможно. Кроме этого, следует определить параметры соединения, которые влияют на надежность и долговечность и по возможности регламентировать их, введя ограничения, положительно влияющие на качество и надежность соединения.

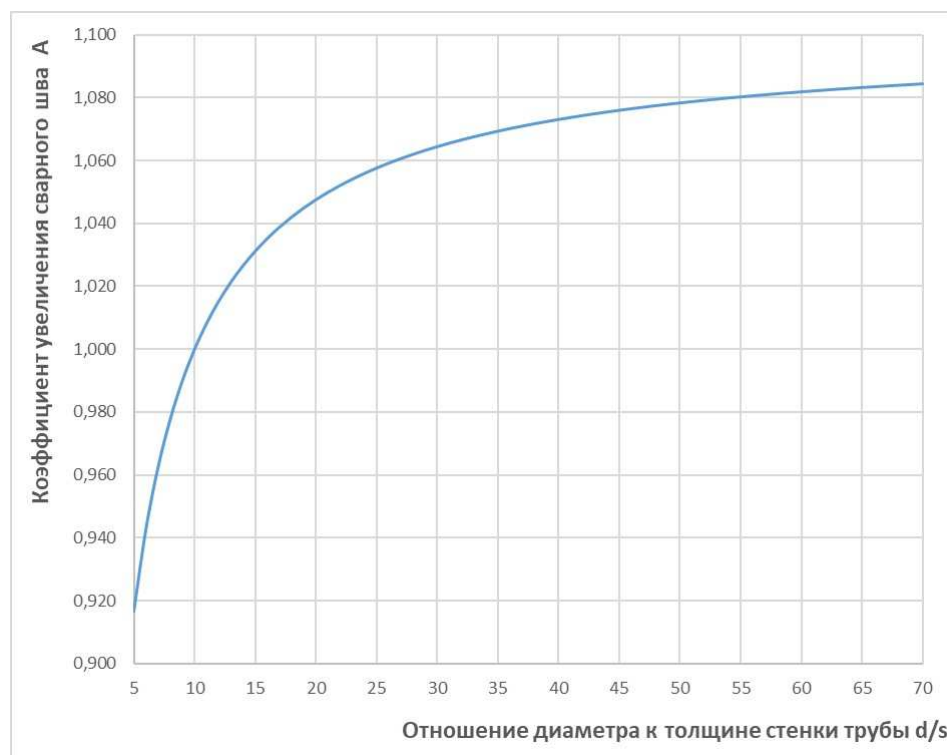


Рис. 8 Коэффициент увеличения сварного шва $A = K/S$ при котором соединение можно считать равнопрочным материалу трубы

5. РАСЧЕТ МЕСТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ НАГРУЗКИ

Любые сварные соединения, за исключением стыковых с механическим снятием усиления шва, являются причиной местной концентрации напряжений, вызванной формой соединения. В этом случае для оценки и сравнения работоспособности различных типов сварных соединений необходимо располагать методами определения характеристик напряженно-деформированного состояния для тел сложной формы. Наиболее эффективным и универсальным путем инженерного анализа прочности конструкций является численный расчетный метод. Численный метод применим для любых сложных конструкций и при самых разнообразных внешних воздействиях. Эту задачу в настоящее время можно решить с применением метода конечных элементов (МКЭ).

Детальный численный анализ позволяет в максимальной степени определить очаги концентрации напряжений и оценить величину возникающих местных напряжений. Использование численных методов анализа позволяет выполнять многовариантные расчеты с учетом особенностей конкретной конструкции, действующих нагрузок и получать высокую достоверность результатов расчета. Для расчета была использована программа ANSYS с использованием объемного конечного элемента, показанного на рис. 9.

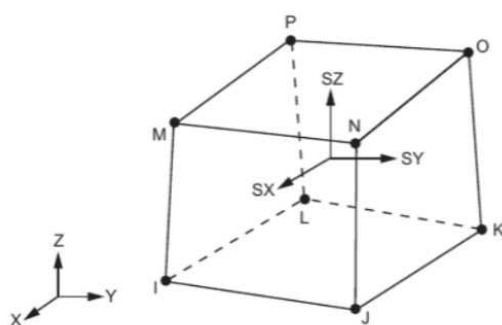


Рис. 9 Тип конечного элемента

ПК ANSYS — универсальная программа, основанная на использовании МКЭ, существующая и развивающаяся на протяжении последних 30 лет. Она является общепризнанной в мировой практике программой, использующейся для инженерных расчетов при решении линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твердого тела.

Создание трехмерной геометрической модели для выполнения последующего анализа осуществляется в геометрическом препроцессоре ПК ANSYS с использованием стандартного набора команд и примитивов. Разбивка детали на конечные элементы показана на рис. 10.

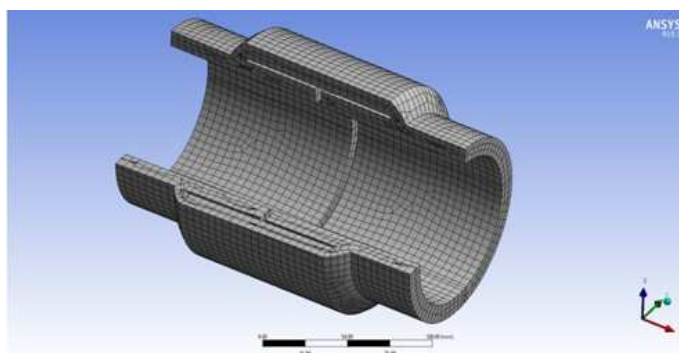


Рис. 10 Разбивка детали на конечные элементы

Были произведены расчеты с двумя видами нагрузки:

нагрузка внутренним давлением жидкости с учетом создаваемого давлением осевого усилия (схема показана на рис. 11); и

нагрузка от внутреннего давления жидкости с осевой нагрузкой и с изгибающим моментом (схема показана на рис. 12).

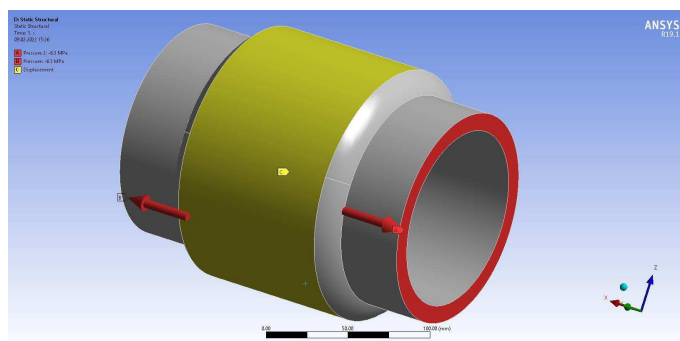


Рис. 11 Схема нагрузки внутренним давлением

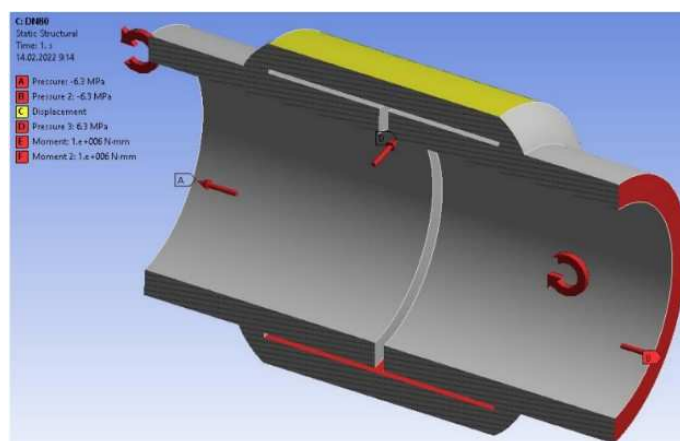


Рис. 12 Схема нагрузки внутренним давлением и изгибающим моментом

На соединение труб в эксплуатации воздействуют постоянные и переменные нагрузки. Постоянные нагрузки возникают от действия внутреннего давления и веса трубы в пролете между подвесками. Переменные напряжения возникают в соединении в результате изменений давления в системе, от изменения изгибающего момента, возникающие в результате вибрации и от совместного действия этих нагрузок.

Следует учитывать, что непровары в нахлесточных соединениях являются неотъемлемой частью даже качественно выполненного сварного соединения. При этом в работе [10] показаны две зоны концентрации напряжений: снаружи в месте перехода наплавленного металла к основному и в месте конструктивного непровара, образующегося в зазоре между соединяемыми деталями (точки *Д* и *Г* на рис. 13). Это совпадает с зонами максимальной концентрации, полученными в расчете. При этом картина максимальных напряжений различна в зависимости от схемы нагрузки:

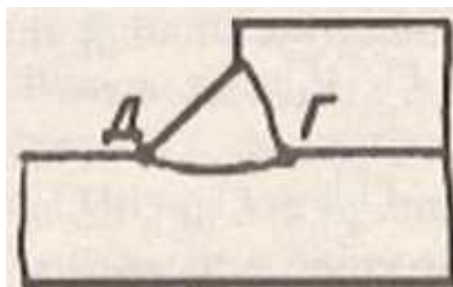


Рис. 13 Очаги концентрации напряжений в сварных нахлесточных соединениях согласно [10]

при нагрузке только внутренним давлением (см. рис. 14) максимальные напряжения возникают у основания сварного шва на внешней поверхности трубы (соответствует точке *Д* на рис. 13) в виде кольцевого концентратора;

в случае дополнения нагрузки от внутреннего давления нагрузкой от изгибающего момента (см. рис. 15), зона максимальных напряжений смещается к другому основанию сварного шва, которое расположено в зазоре между трубой и муфтой (соответствует точке *Г* на рис. 13) и перестает быть кольцевой, располагаясь в плоскости приложенного изгибающего момента (см. рис. 15 и 16).

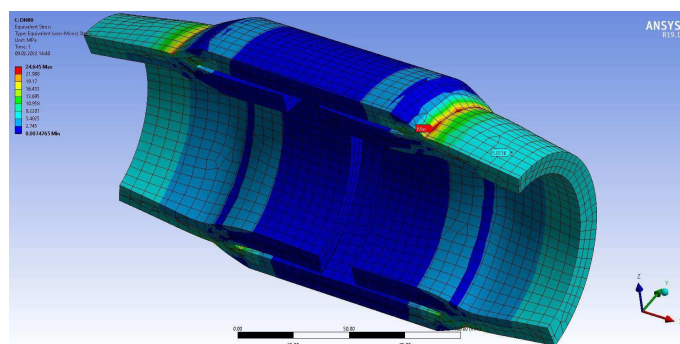


Рис. 14 Расположение зоны максимальных напряжений в сварном муфтовом соединении при нагрузке внутренним давлением

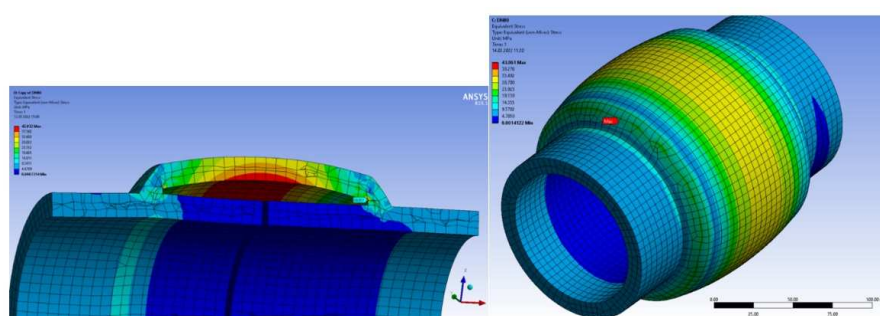


Рис. 15 Расположение зоны максимальных напряжений при нагрузке внутренним давлением и изгибающим моментом

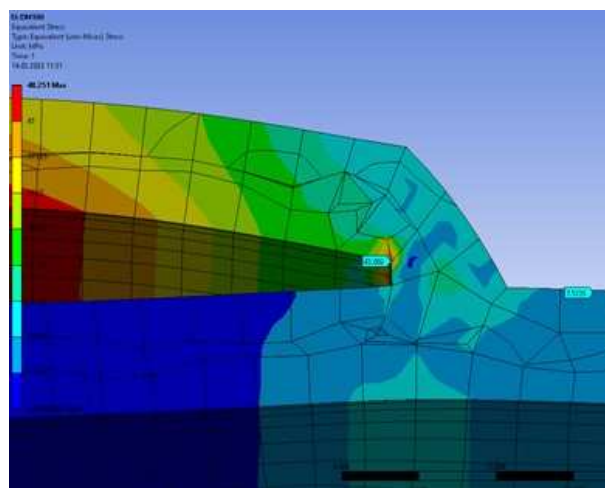


Рис. 16 Эквивалентные напряжения в сечении втулки трубы DN100 при нагрузке внутренним давлением и изгибающим моментом

Сравнивая численные значения коэффициентов концентрации напряжений можно отметить следующее: при увеличении диаметра соединяемых труб с DN80 до DN100 существенного увеличения коэффициента концентрации напряжений не происходит, увеличение составляет около 3,5 % в обоих вариантах нагрузки; после приложения изгибающего момента коэффициент концентрации напряжений увеличивается значительно с 4,2 ÷ 4,4 в зависимости от диаметра до 5,7 (примерно на 35 %).

6. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА

1. Полученные в результате расчетов расположение очагов концентрации напряжений в соединении совпадает с указанными в [10], что можно рассматривать как подтверждение корректности расчета.

2. С увеличением диаметра соединяемых труб величина концентрации напряжений увеличивается незначительно. Изменения составляют не более 3,5 %, что позволяет допустить расширение области применения сварных муфтовых соединений при выполнении каких-либо дополнительных условий, обеспечивающих долговечность.

3. Коэффициент концентрации напряжений при воздействии изгибающего момента значительно выше (в 1,35 раза) по сравнению со случаем, когда трубопровод нагружен только внутренним давлением. Это может служить основанием считать, что возникновение знакопеременных напряжений под воздействием вибрации значительно опаснее для соединения чем изменения величины внутреннего давления. Для уменьшения напряжений этого рода можно сформулировать дополнительное требование для уменьшения вибрации — в районе соединения должна быть установлена жесткая подвеска и/или опора для уменьшения амплитуды возможных колебаний трубы в районе применения сварной муфты.

4. Расчет не позволяет определить влияние длины муфты на величину концентрации напряжений, так этот параметр не варьировался при выполнении расчетов. Поскольку требования к этому параметру различны в отечественных стандартах [2, 3] и в требованиях Правил ABS [7], а другие нормативные документы его не регламентируют, имеет смысл выполнять нормы отечественных стандартов, так как в этом случае нормы Правил ABS [7] будут выполнены. Исследование влияния длины муфты на коэффициент концентрации напряжений в соединении может быть задачей дальнейших исследований.

7. ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО РАСШИРЕНИЮ ДОПУСТИМОЙ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВАРНЫХ МУФТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРАВИЛАХ РЕГИСТРА

Отказаться от ограничений применений сварных муфтовых соединений для трубопроводов II классов, за исключением трубопроводов, содержащих водяной пар и токсичные среды, можно допустить при выполнении следующих дополнительных требований.

1. Муфта должна иметь толщину стенки, соответствующую требованиям части VIII «Системы и трубопроводы» Правил Регистра для расчетов труб на прочность, но не менее чем на 10 % больше толщины стенок соединяемых труб.

2. Катет шва должен быть не менее чем на 10 % больше толщины стенок соединяемых труб.

3. Зазор между муфтой и трубой должен быть не более 1 мм на сторону.

4. Между торцами соединяемых труб должен быть предусмотрен гарантированный зазор не менее 1 мм.

5. Марка стали соединяемых труб и муфты должна быть одинаковой.

6. Должны быть приняты меры по предотвращению вибрации путем дополнительного крепления трубопровода в районе установки муфты.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный сравнительный анализ требований различных нормативных документов и проделанные расчеты позволяют сформулировать дополнительные требования к сварным муфтовым соединениям для повышения их надежности, что позволяет расширить область применения таких соединений без ущерба для безопасности. Ограничения по применению раструбных соединений должны остаться без изменений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.В. Общая технология судостроения/В.В. Андреев. — Л.: Судостроение, 1984. — 184 с.
2. ГОСТ 16037-80 Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. — Межгосударственный стандарт, ИПК Издательство стандартов, переиздание с Изменениями, 1999.
3. ОСТ 5Р.9089-92 Сварка дуговая. Соединения сварные стальных судовых трубопроводов. Типы, конструктивные элементы и технические требования.
4. Правила классификации и постройки морских судов. Часть VIII. Системы и трубопроводы. Российский морской регистр судоходства, 2022.
5. International Association of Classification Societies. IACS UR P2. Rules for piping design, construction and testing Rev.2 Nov 2001. — Electronic Edition of IACS Resolutions, 2021.
6. BV Rules for the Classification of Steel Ships. — NR467 Pt C, Ch 1, Sec 10.
7. ABS RULES FOR BUILDING AND CLASSING MARINE VESSELS, 2022 Pt 4 Ch 6 Sec 2.
8. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. Руководство и справочное пособие. Изд. 3-е. Под ред. С.В. Серенсена — М.: Машиностроение, 1975. — 488 с.
9. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х Т. Т. 3. — 8-е издание, перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестковой, — М.: Машиностроение, 2001. — 864 с.
10. Винокуров В.А. и др. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности / В.А. Винокуров, С.А. Куркин, Г.А. Николаев; Под ред. Б.Е. Патона — М.: Машиностроение, 1996. — 567 с.

REFERENCES

1. Andreyev V.V. *Obshchaya tekhnologiya sudostroyeniya* [General technology of shipbuilding]/ — L.: Sudostroyeniye, 1984. — 184 p.
2. GOST 16037-80 Welded joints of steel pipelines. Basic types, structural elements and dimensions. — Interstate Standard, IPK Publishing House of Standards, Reissue with Amendments, 1999. (In Russian)
3. OST 5R.9089-92 *Svarka dugovaya. Soyedineniya svarnyye stal'nykh sudovykh truboprovodov. Tipy, konstruktivnyye elementy i tekhnicheskiye trebovaniya* [Arc welding. Joints welded steel ship pipelines. Types, structural elements and technical requirements.].
4. Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships. Part VIII. Systems and Piping. Russian Maritime Register of Shipping, 2022.
5. International Association of Classification Societies. IACS UR P2. Rules for piping design, construction and testing Rev.2 Nov 2001. — Electronic Edition of IACS Resolutions, 2021.
6. BV Rules for the Classification of Steel Ships — NR467 Pt C, Ch 1, Sec 10.
7. ABS RULES FOR BUILDING AND CLASSING MARINE VESSELS, 2022 Pt 4 Ch 6 Sec 2.
8. Serensen S.V., Kogayev V.P., Shneyderovich R.M. *Nesushchaya sposobnost i raschet detaley mashin na prochnost. Rukovodstvo i spravochnoye posobiye*. [Bearing capacity and calculation of machine parts for strength. Guide and reference guide]. 3rd ed. 3rd. ed. S.V. Serensen — M.: Mashinostroyeniye, 1975. — 488 p.
9. Anuryev V.I. *Spravochnik konstruktora-mashinostroyitelya* [Handbook of the designer-machine builder]: V 3-kh T. Vol. 3. — 8-ye izdaniye, pererab. i dop. Pod red. I.N. Zhestkovoy, — M.: Mashinostroyeniye, 2001. — 864 p.
10. Vinokurov V.A. et al. *Svarnyye konstruksii. Mekhanika razrusheniya i kriterii rabotosposobnosti* [Welded structures. Fracture mechanics and performance criteria] /V.A. Vinokurov, S.A. Kurkin, G.A. Nikolayev; ed. red. B.Ye. Patona — M.: Mashinostroyeniye, 1996. — 567 p.