

Comparative calculations of the resistance of the X-BOW ship model in OPENFOAM and FREE!ship Plus

Tymoshenko V.F.

Abstract. Comparative calculations of the movement resistance of the ship model with X-BOW bow contours were carried out using CFD OpenFOAM v8 package and FREE!ship Plus program complex in the range of speeds $Fr_L=0.05...0.4$. Recommendations for the use of the OpenFOAM CFD package and the FREE!ship Plus complex programs for use at the initial stages of designing X-BOW type vessels are given.

Keywords. resistance; X-BOW; CFD; OpenFOAM; FREE!ship Plus

УДК 620.172.21

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ КОНЦЕНТРАЦІЇ НАПРУЖЕНЬ В ТАВРОВИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАННЯХ КОНСТРУКТИВНИХ ВУЗЛІВ КОРПУСУ СУДНА

Бокій О.О.¹, Коростильов Л.І.², Лабарткава А.В.³, Матвієнко М.В.⁴

¹ аспірантка кафедри будівельної механіки та конструкції корпусу корабля
olgagromko762@gmail.com

² доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри будівельної механіки та конструкції корпусу корабля *leontyuu.korostilyov@nuos.edu.ua*

³ кандидат технічних наук, доцент кафедри зварювального виробництва Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна,
andreyunik@gmail.com

⁴ кандидат технічних наук, доцент кафедри зварювання Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна, *maksym.matvienko@nuos.edu.ua*

Анотація. Методом математичного моделювання досліджено вплив конструктивних факторів таврового зварного з'єднання на коефіцієнт концентрації напружень (ККН) при статичному навантаженні. Найбільш впливовим фактором на величину ККН є радіус переходу від основного металу до металу зварного шва. Увігнута форма шва забезпечує найнижчі значення локальних напружень.

Ключові слова: таврове з'єднання; коефіцієнт концентрації напружень; метод скінченних елементів; конструктивні фактори

Вступна частина. Корпус судна є складною інженерною спорудою, яка в процесі експлуатації постійно піддається деформації. Міцність деталей та елементів конструкцій корпусу судна за наявності зварних швів в значній мірі залежить від конструктивних факторів зварних з'єднань. Відомо, що при заданих зовнішніх силових факторах, які діють на елемент конструкції з будь-яким зварним швом, на величину коефіцієнтів концентрації напружень (ККН) впливають не властивості матеріалу, а вид концентратора, його гострота і геометричні параметри. На підставі даних теорії пружності [1] встановлено, що форма швів значно впливає на розподіл в них напружень від дії зовнішнього навантаження. Концентрація напружень, зумовлена формою шва, має місце в зоні сполучення шва з основним металом і залежить від величини підсилення шва і радіуса переходу. Кутіві з'єднання характеризуються тим, що в них виникає найбільша концентрація напружень [2]. Таким чином, визначення величин ККН для заданих геометричних розмірів зварних кутових швів для таврового вузла дозволить визначити і оптимізувати конструктивні особливості для виконуваних швів при виготовленні конструктивних вузлів корпусу судна.

За допомогою інженерних методів розрахунку [3-5] неможливо досить повно урахувати конструктивні фактори зварних з'єднань. У зв'язку з цим, виникає необхідність використання числових методів для визначення параметрів напружено-деформованого стану зварних з'єднань.

Метою роботи. Розробка скінчено-елементної моделі таврового зварного з'єднання для визначення і оцінки впливу конструктивних факторів зварних з'єднань на коефіцієнти концентрації напружень при експлуатації вузлів.

Основна частина. Для визначення впливу ККН на міцність та надійність зварного вузла необхідно визначити величину ККН та розміри зони зосередження локальних напружень, в межах яких відбувається сумісна дія локальних напружень із залишковими зварювальними напруженнями.

Закономірності розподілу локальних напружень визначення у зварних з'єднаннях виконаних згідно вимог ГОСТ 14771-76 [7]. Для таврового зварного з'єднання розміри кутових зварних швів визначалися згідно типу ТЗ. Основними геометричними параметрами кутового зварного шва є: опуклість або увігнутість зварного шва, асиметрія катетів, радіус переходу від основного металу до металу шва, зміна величини катету.

Для дослідження локального напруженого стану та величини ККН розроблена плоска модель поперечного перерізу таврового зварного з'єднання у програмному комплексі ANSYS Student 2022 R2 [8]. Досліджуваний зварний зразок має площу симетрії, при цьому навантаження прикладається симетрично з обох сторін, тому, для зменшення витрат часу на обчислення, розрахунки виконували для $\frac{1}{2}$ моделі з призначенням граничних умов симетрії. Розподілене навантаження, прикладене до торця моделі, задане так, щоб номінальні напруження, які діють в місцях віддалених від місця концентрації напружень, дорівнювали 1 МПа і, таким чином, величина напружень в місці концентрації буде характеризувати величину ККН.

В рамках дослідження розраховували зварні з'єднання з розмірами катетів кутового шва 3 та 4 мм. Для визначення впливу конструктивних елементів розглядали гранично допустимі мінімальні та максимальні їх значення згідно визначених норм. Для дослідження впливу геометрії шва у зоні переходу від металу шва до основного металу, використовували узагальнені дані роботи [9] стосовно зміни радіусів переходів у різних зварних з'єднаннях, виконаних дуговим зварюванням. Згідно цих даних, розміри радіусів переходу можуть бути в діапазоні від 0,1 до 1,0 мм. Співвідношення катетів зварного шва 1:1 та 1:1,2.

В результаті розрахунків встановлено, що найбільш впливовим фактором на величину ККН є радіус переходу від основного металу до металу зварного шва. Збільшення радіусу переходу від 0,1 мм до 1,0 мм дозволяє зменшити величину ККН: для рівнокатетного та асиметричного шва на 46,4% - 48,6%; для шва з опуклістю – на 56,3%; для увігнутого шва – на 14,2%. При збільшенні величини катету з 3 мм до 4 мм, величина ККН майже не змінюється і становить 1,853 та 1,861 відповідно при радіусі переходу 1,0 мм. Це дозволяє використовувати збільшений катет для підвищення міцності зварного з'єднання та зменшення напружень в перерізі шва. Асиметрія катетів зварного шва при співвідношенні величин катетів $K1:K2 = 1:1,2$ призводить до зменшення величини ККН на 5%, 2,4% та 0,9% в порівнянні з рівнокатетним швом для радіусів переходу 0,1; 0,5; 1,0 мм відповідно. Опукла форма кутового зварного шва призводить до збільшення ККН на 20%, 4,7% та 2% в порівнянні з формою шва без підсилення при збільшенні радіусів переходу з 0,1 до 0,5 і 1,0 мм. Увігнута форма шва, величиною до 30% від катету, забезпечує найнижчі значення ККН на рівні 1,792-1,537, у порівнянні з іншими формами шва. Порівняння результатів моделювання з результатами можливих аналітичних розрахунків [3] (величина катету) показало відносну похибку 8...12%. Для визначення достовірності моделі стосовно досліджень впливу на величину ККН асиметрії катетів зварного шва, його опуклості чи увігнутості необхідно провести експериментальні дослідження.

Висновки. Розроблена 2-D скінчено-елементна модель зварного вузла з граничними умовами симетрії за результатами верифікації розрахунків стосовно величини катету має відносну похибку до 12 %, відповідає умовам достовірності і може бути використана для визначення величини коефіцієнту концентрації напружень і впливу конструктивних факторів на концентрацію напружень. Найбільш впливовим фактором на величину ККН є радіус переходу від основного металу до металу зварного шва. Збільшення розміру катету при зварюванні рівнокатетних швів практично не впливає на величину ККН. Увігнута форма шва забезпечує найнижчі значення ККН.

ЛІТЕРАТУРА

- [1]. Петерсон Р. Коэффициенты концентрации напряжений / Р. Петерсон. – Пер. с англ. – М.: Мир. – 1977. – 302 с.
- [2]. Gurney T.R. Fatigue of welded structures / Gurney T.R. –London: Cambridge University Press, 1979. – 456 p.
- [3]. Навроцкий Д.И. Расчет сварных соединений с учетом концентрации напряжений / М.: Машиностроение, 1968. - 171 с.
- [4]. Кархин В.А. Концентрация напряжений в стыковых соединениях / В.А. Кархин, Л.А. Копельман // Свароч. производство. – 1976. – №2. – С. 6-7.
- [5]. Турмов Г.П. Определение коэффициентов концентрации напряжений в сварных соединениях / Г.П. Турмов // Автоматическая Сварка. – 1976. – №10. – С. 14-17.
- [6]. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L., Fox D. D. The finite element method for solid and structural mechanics. – Elsevier, 2014. – 657 p.
- [7]. ГОСТ 14771-76 Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
- [8]. <https://www.ansys.com/academic/students>
- [9]. Винокуров В.А. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности / В.А. Винокуров, С.А. Куркин, Г.А. Николаев. – М. : Машиностроение, 1996. – 576 с.

Determination of stress concentration coefficients in t-weld joints of structural nodes of the ship's hull

О. Bokii¹, L. Korostylov², A. Labartkava³, M. Matviienko⁴

¹⁻³ Admiral Makarov National University of Shipbuilding

⁴ Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. Using the method of mathematical modeling, the influence of the constructive factors of the T-weld joint on the stress concentration coefficient (SCC) under static loading was investigated. The most influential factor on the value of SCC is the transition radius from the base metal to the weld metal. The concave shape of the seam ensures the lowest values of local stresses.

Key words: T-weld joint; stress concentration coefficient; finite element method; constructive factors