

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МОРСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

ГАВРИЛЕНКО ЄВГЕН ДМИТРОВИЧ

УЦК 629.5.081.4

**РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІНИХ ОСНОВ
ВИГОТОВЛЕННЯ СУДНОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ
ЗАСТОСУВАННЯМ РОБОТИЗОВАНОГО ЗВАРЮВАЛЬНОГО
КОМПЛЕКСА**

Спеціальність 05.08.04 “Технологія суднобудування та
судноремонту”

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку 15.08.2000 р. Формат 60x84 1/16 Папір
Maestro Guttenberg. Друк офсетний. Умови, друк. арк. 1.
Тираж 100 прим. Замовлення № 959. Друкарня ТзОВ
"Приват-Поліграфія" 54049, м. Миколаїв, пр-т Жовтневий,
296.

Миколаїв -2000

Дисертацією с рукопис.

Робота виконана в Українському державному морському технічному університеті імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки України.

Науковий

керівник: - кандидат технічних наук, доцент
Драган Станіслав Володимирович,
начальник навчального відділу УДМТУ

Офіційні

опоненти: - заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор Рашковський Олександр Саулович,
завідувач кафедри технології суднобудування ХДМТУ

- кандидат технічних наук, доцент Герасимович Леонід Михайлович, доцент Херсонського економіко-правового інституту

Провідна

установа: - Одеська державна морська академія Міністерства освіти і науки України, м. Одеса.

Захист відбудеться 9 жовтня 2000 р. 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.060.01 Українського державного морського технічного університету імені адмірала Макарова за адресою: 54025, м. Миколаїв, пр. Героїв Сталінграда, 9.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Українського державного морського технічного університету імені адмірала Макарова за адресою: 54025, м. Миколаїв, по. Героїв Сталінграда, 9.

Квасницький В.Ф.

1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Вихід продукції суднобудування України на світовий ринок обумовив необхідність підвищення технологічного рівня складально-зварювального виробництва, у тому числі у відношенні жорсткості вимог до якості металоконструкцій і зниження трудомісткості корпусних робіт. Виробництво великих суднових корпусних інструкцій типу об'ємних днищових секцій, яке характеризується малою серійністю та багатономенклатурністю, належить до найбільш трудомістських і складних видів суднобудівних робіт. Надзвичайно несприятливі умови праці в міждонному просторі і дефіцит висококваліфікованих зварників обумовили доцільність вибору принципово нового засобу автоматизації зварювального виробництва - роботизованого технологічного комплексу (РТК) для дугового зварювання об'ємних корпусних конструкцій.

Найвні в науковій літературі дані в основному присвячені проблемі впровадження зварювальних робіт у машинобудуванні, де порівняно невеликі розміри і маса конструкцій дозволяють збирати їх з необхідною точністю і позицію вати маніпуляторами.

Значна маса (до 160т) та габарити (23х11х2м) об'ємних корпусних конструкцій великотоннажних суден, що містять у собі велику кількість різноманітних деталей та вузлів, зумовлюють недостатню для роботизованого зварювання точність складання з'єднань і не дозволяють позиціювати секції при зварюванні. Такі конструкції мають також складну внутрішню структуру та обмежений простір міждонних відсіків, що обмежує маніпуляції зварювального інструменту.

Тому розробка конструктивно-технологічних рішень для успішного застосування РТК для дугового зварювання об'ємних суднових корпусних конструкцій в умовах автоматизованого виробництва є актуальною проблемою для суднобудування. Вирішення цієї проблеми вимагає встановлення рівня технологічності типових об'ємних секцій в умовах виготовлення із застосуванням РТК для дугового зварювання.

Зв'язок з науковими програмами. Дисертаційна робота включає розробки, виконані відповідно до плану НДР УДМТУ Міністерства освіти і науки України за темою № 11/1165 "Розробка проектно-конструкторських рішень і технологічних основ роботизації зварювання великогабаритних суднокорпусних конструкцій" (№ держреєстрації 01964012388).

Мета роботи та задачі досліджень. Основною метою роботи є удосконалення технології виготовлення об'ємних секцій з використанням РТК для дугового зварювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

розробити комплекс вимог та показників для оцінки рівня технологічності об'ємних секцій в умовах автоматизованого виробництва;

розробити нові конструктивно-технологічні показники, що визначають придатність конфігурації внутрішньосекційних елементів об'ємної секції до роботизованого зварювання;

визначити припустимі відхилення лінії сполучення і зазори в з'єднаннях дни-

щових об'ємних секцій для зварювання з використанням РТК та дослідити точність складальних робіт в умовах автоматизованого виробництва;

розробити технологічні рекомендації з адаптації РТК до встановлених відхилень у конструкції, удосконалення методики програмування РТК, вибору ефективних зварювальних матеріалів та режимів роботизованого зварювання кутових швів.

Наукова новизна.

1. Удосконалено метод оцінки технологічності об'ємних суднокорпусних секцій із висотою рамного набору до 2,5 м стосовно до умов автоматизованого виробництва шляхом введення нових показників, які встановлюють вплив конструкції вузлів і елементів секції на трудомісткість її формування та зварювання роботизованим способом.

2. Вперше розроблені групи показників для визначення придатності конструкції внутрішньосекційних модулів об'ємних секцій до автоматизованого виробництва. Сукупна оцінка показників, які враховують розташування та доступність зварних з'єднань, маніпуляційні можливості РТК, трудомісткість роботизованого зварювання дозволяє визначити найбільш сприятливу конструкцію модуля та технологію виготовлення секції.

3. Встановлені межі зміни припустимих зазорів і відхилень кінця електроду від осі сполучення в таврових з'єднаннях об'ємних секцій при роботизованому зварюванні суцільними і порошковими дротами вертикальних кутових швів із розрахунковими товщинами 3,2-7,1 мм. Припустимі зазори, що визначені за допомогою намограми складають 1,0...3,0 мм. Розрахункові значення припустимих відхилень не повинні перевищувати 1мм.

4. Вперше встановлено, що якісне роботизоване зварювання кутових швів у приєднанні набору до полотна секцій забезпечується із використанням суцільних і порошкових дротів за рахунок переносу програм електроконтактними сенсорами. У місцях перетинання рамного набору секцій використовується зварювання порошковим дротом та комбінація поточного пошуку швів дугою і переносу програм сенсорами.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці рекомендацій з удосконалення конструкцій об'ємних секцій в умовах автоматизованого виготовлення з застосуванням РТК для дугового зварювання, практичного використання адаптивних систем і методу аналітичного програмування РТК, вибору ефективних зварювальних матеріалів та режимів роботизованого зварювання, застосування раціональних організаційних форм виробництва об'ємних секцій і апробації отриманих результатів у виробничих умовах.

Впровадження результатів досліджень. Основні результати роботи використані ВАТ суднобудівний завод "Океан" для розробки із застосуванням роботизованого комплексу LIMAT RT 280-6 технологічного процесу виробництва днищових секцій великотоннажних балкерів пр. 17005. У результаті впровадження розробок трудомісткість виготовлення секцій знижується більш ніж на 10%, підвищується якість зварювальних робіт та поліпшуються умови праці.

Розроблена і впроваджена на суднобудівних заводах ВАТ "Океан", ДП "ЧСЗ"

технічна документація на технологію виготовлення із застосуванням зварювання тонкими порошковими дротами днищових секцій балкера пр. 17005 і танкера пр. 17012.

Рекомендації роботи використані при коригуванні проектної документації днищових секцій балкера пр. 17005 (район циліндричної вставки) під роботизоване зварювання на суднобудівному заводі ВАТ "Океан".

Особистий внесок здобувача полягає в науковому обґрунтуванні показників технологічності, розробці конструктивно-технологічних показників і методів їхньої оцінки для умов автоматизованого виробництва судових об'ємних секцій із використанням роботизованого зварювання при з'єднанні елементів рамного набору. За участю автора виконані експериментальні дослідження з визначення припустимих зазорів і відхилень у таврових з'єднаннях під роботизоване зварювання вертикальних кутових швів та оцінці точності складання днищових секцій у виробничих умовах.

Аналіз та обґрунтування результатів роботи виконані автором як особисто (3 публікації), так і за участю інших співавторів (9 публікацій).

Основні наукові положення, що виносяться на захист.

1. Додаткові й дороблені показники, а також методи їхнього визначення для оцінки технологічності великогабаритних судових конструкцій стосовно роботизації дугового зварювання при виготовленні днищових секцій в умовах автоматизованого виробництва.

2. Закономірності, що встановлюють вплив конструктивного виконання днищових секцій на маніпуляційні і програмні функції портального РТК для зварювання.

3. Конструктивно-технологічні показники і методи їхньої оцінки, з використанням яких визначається рівень придатності типових внутрішньосекційних модулів об'ємних секцій до виготовлення із застосуванням роботизованого зварювання.

4. Результати дослідження закономірностей зміни припустимих і фактичних зазорів та відхилень кінця електроду від лінії сполучення в таврових з'єднаннях рамного набору при роботизованому зварюванні вертикальних кутових швів.

5. Результати оцінки відхилень при складанні днищових секцій в умовах існуючого виробництва та розрахункові залежності для прогнозування положення пошукових позицій при просторовій адаптації робота в місцях перетинання рамного набору.

Апробація результатів роботи. Матеріали дисертаційної роботи розглядалися і доповідалися: на щорічних конференціях професорського - викладацького складу УДМУ (м. Миколаїв, 1995-2000 р.); Міжнародному науково-практичному симпозиумі "Проблеми суднобудування: стан, ідеї, рішення" (м. Миколаїв); Міжнародній конференції "Зварювання і споріднені технології - у XXI столітті" (м. Київ, 1998 г.); 1-й Міжнародній конференції по зварювальним матеріалам країн СНД (м. Краснодар, 1998 р.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 12 наукових праць.

Структура та об'єм дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків та списку літератури з 71 джерела. Робота містить 172 сторінки машинописного тексту, з яких 22 сторінки займають додатки. Основний текст ілюструється 26 малюнками та 10 таблицями. В додатках розміщені 5 малюнків та 16 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ містить обґрунтування актуальності теми, сформульовану мету роботи, опис задач досліджень та основних положень, що виносяться на захист.

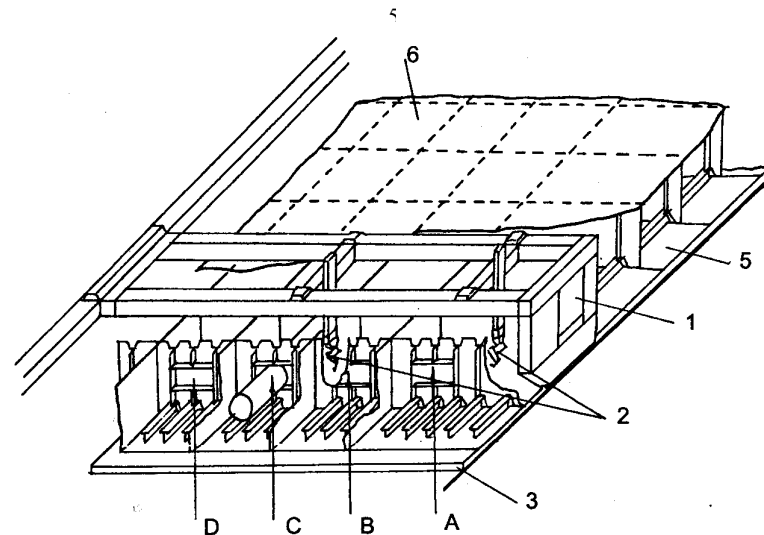
У **першому розділі** розглядаються особливості конструкції і технології виготовлення об'ємних корпусних секцій великотоннажних суден у вітчизняному і закордонному суднобудуванні. Наведені характерні типи суднокорпусних конструкцій і визначені найбільш складні інженерні спорудження - об'ємні днищові секції. На підставі аналізу літературних даних і виробничого досвіду, накопиченого в суднобудуванні України, показано, що найбільш придатними для роботизованого зварювання є площинні днищові секції розташовані в районі циліндричної вставки, з незамкненими міждонними відсіками. Виділено типову схему такої секції і наведена її характеристика.

Виходячи з маси (до 160 т) і розмірів (23 x 11 x 2 м) днищової секції, що перешкоджають її позиціонуванню, встановлені можливості застосування підвісного і самохідного варіантів установки телескопічного маніпулятора в складі РТК для дугового зварювання (рисі). Доведено, що при обсязі зварювальних робіт, виконаних у вертикальному положенні (до 52%), у порівнянні з нижнім положенням (48%), необхідно застосування функціонально гнучкої маніпуляційної системи - порталного РТК.

При автоматизованому виготовленні днищових секцій зварювальні роботи повинні бути адаптовані до периферійних систем та існуючої технології виробництва конструкцій на площинній базі. Ступінь достатності периферійних функцій залежить від рівня технологічності днищових секцій в умовах автоматизованого виробництва.

Як показали у своїх дослідженнях М. К. Глоzman, А. П. Васильєв, В. С. Михайлов, Є. С. Аграфенін, В.А.Тімченко чисельний метод оцінки технологічності корпусних конструкцій передбачає розрахунок і порівняння базових показників та розробку нових конструктивно-технологічних показників з визначенням коефіцієнтів їхньої вагомості.

Рисі. Схема розташування порталного роботизованого технологічного комплексу при зварюванні днищової секції: 1 - порталний РТК; 2 - маніпулятори; 3 - стенд; 4 - днищова секція; 5 - настил другого дна; 6 - наружна обшивка;



обшивка;

Рівень технологічності корпусних конструкцій характеризує комплексний показник, що визначає відсоток зниження трудомісткості або вартості праці. Використання зазначеного методу і комплексного показника в умовах автоматизованого виробництва стосовно до роботизованого зварювання днищових секцій вимагає переробки змісту деяких базових показників і розробки нових конструктивно-технологічних показників. Формування таких показників та визначення коефіцієнтів їхньої вагомості є складним науковим завданням, пов'язаним з накопиченням експериментальних і статистичних даних.

Другою за значимістю є задача оцінки точності складання днищових секцій і розробка ефективних технологічних рішень щодо адаптації зварювального РТК до встановлених відхилень. Відсутність у науковій літературі даних, які оцінюють технологічні допуски при роботизованому зварюванні кутових швів у вертикальному положенні методом "знизу - вгору" з коливаннями пальника, викликало необхідність вирішення цього завдання, з метою визначення афективних методів адаптації РТК.

Особливістю автоматизованого виробництва днищових секцій із застосуванням зварювального РТК є необхідність удосконалення технології роботизованого зварювання, що може бути досягнуто за рахунок використання принципово нових зварювальних матеріалів (суміші захисних газів та тонких порошкових дротів).

Таблиця 1

Показники оцінки технологічності об'ємних корпусних конструкцій і результати розрахунку для днищових секцій балкера пр. 17005

Показники	Коефіцієнт вагомості	Значення показників за технологічними варіантами			
		1	2	3	4
Кількість площених днищових секцій з висотою набору до 2,5 м – K_{11}	0,10	0,029	0,029	0,04	0,04
Об'єм роботизованого зварювання – K_{12}	0,20	0,134	0,152	0,170	0,176
Трудомісткість роботизованого зварювання – K_{13}	0,10	0,024	0,027	0,037	0,037
Внутрішньопроєктна уніфікація конструкцій днищових секцій – K_{14}	0,10	0,0	0,0	0,022	0,022
Кількість важкодоступних з'єднань в секції – λ_{12}	0,10	0,073	0,08	0,09	0,09
Об'єм роботизованого зварювання в нижньому положенні – λ_{12}	0,05	0,023	0,029	0,025	0,026
Кількість коротких швів в секції – K_{15}	0,05	0,014	0,015	0,017	0,020
Трудомісткість невиробничих затрат – K_{16}	0,05	0,023	0,024	0,022	0,022
Підсумок		0,322	0,351	0,423	0,433

Запропоновано шість груп конструктивно-технологічних показників:

КР - місце розташування зварних з'єднань;

КП - витрати часу на програмне забезпечення;

КД - доступність і досяжність зварних з'єднань;

КМ - маніпуляційні можливості зварювального РТК;

КВ - нераціональні позиції поєднання елементів

з'єднань;

КО - вплив довжини з'єднань на можливість виконання технологічних операцій.

Запропоновані показники на відміну від прийнятих стандартами в машинобудуванні дозволяють оцінити технологічність судових корпусних конструкцій, не придатних для позиціонування. При цьому показники груп КР, КП, КМ визначають прямо або непрямо, рівень витрат часу на зварювання, переходи та програмування. Показники груп КД, КВ, КО призначені для оцінки технологічності конструктивного виконання типових зварних вузлів під роботизоване зварювання.

Для вираження показників використані чисельні і якісні методи оцінки. При визначенні трудомісткості показники виражаються в абсолютному, в інших випадках - у відносному вигляді. Комплексна оцінка показників наведена за підсумками розрахунків рейтингових балів із наступною відповідністю рівнів придатності конструкції до роботизованого зварювання: 4 - чудовий; 3 - сприятливий; 2 - задовільний; 1 - обмежений.

Другий розділ присвячений дослідженню технологічності об'ємних судових корпусних секцій в умовах автоматизованого виробництва. Показано необхідність дотримання додаткових вимог до технологічності конструкцій, у тому числі: досягнення технологічної однотипності конструктивно-геометричних ознак типових вузлів і внутрішньосекційних елементів; забезпечення доступності і досяжності місць зварювання; вибору раціональних методів формування секцій і організаційних форм застосування РТК.

Базуючись на приведених положеннях, виконаний аналіз об'ємних секцій на прикладі балкера пр. 17005, що дозволило визначити придатність до виготовлення на площинній базі з застосуванням роботизованого зварювання групи днищових секцій в середній частині корпусу судна. У кожній із конструкцій виділено три структурні групи характерних модульних внутрішньосекційних елементів - вінків, утворених перетинанням рамного набору. Виділені вічки відрізняються між собою габаритними розмірами, розташуванням конструктивних елементів насичення та кількістю поздовжніх ребер жорсткості. Експериментально визначені позиції доступних та недоступних зварних з'єднань у вічках секцій і витрати часу на програмування, просторову адаптацію, переходи та суто зварювання. Встановлено, що паралельний метод формування секцій не забезпечує роботизоване зварювання до 10% вічок від загальної їх кількості. Роздільний метод формування приводить до утворення вічок без додаткових конструктивних елементів насичення і створює необхідні передумови для використання зварювального РТК.

На підставі наведених технологічних вимог і отриманих експериментальних результатів розроблена система показників, яка характеризує технологічність об'ємних секцій в умовах автоматизованого виробництва з застосуванням зварювального РТК (табл. 1). За допомогою показників розраховані рівні технологічності конструкцій днищових секцій балкера пр. 17005 за чотирима технологічними варіантами виготовлення:

- 1- паралельний метод без зміни конструктивного виконання секцій;
- 2- паралельний метод зі зміною конструктивного виконання секцій;
- 3- роздільний метод без зміни конструктивного виконання секцій;
- 4- роздільний метод зі зміною конструктивного виконання секцій; Отримані

значення узагальнених показників дозволили визначити, що найбільш високий рівень технологічності об'ємних секцій при використанні роботизованого зварювання досягається шляхом зміни форми вирізів у перетинанні набору і застосування роздільного методу формування секцій. Такі заходи підвищують рівень технологічності конструкцій на 11% у порівнянні з базовим варіантом.

У третьому розділі наведені результати розробки конструктивно-технологічних показників, які оцінюють придатність внутрішньосекційних модулів об'ємних секцій до роботизованого зварювання.

З використанням показників виконана порівняльна оцінка придатності типових вічок днищових секцій А, В, С, D стосовно до РТК LIMAT RT-280-6 (рис. 1). Встановлено, що розміри і конструкція вічок типу А, В забезпечує всі умови для застосування роботизованого зварювання. Рейтинговий бал складає 56 і 54 балів відповідно. Вічки типу С і D (рейтингові бали 33 і 37) характеризуються низьким рівнем придатності до використання зварювального РТК і потребують застосування роздільного методу формування секцій.

З метою підвищення технологічності об'ємних секцій запропоновано збільшити ширину вирізів у вузлах перегинання поздовжніх ребер жорсткості та поперечного рамного набору. Зазначені зміни дозволяють виконати роботизоване зварювання коротких швів у всіх вічках днищових секцій без перепрограмування позицій і кутів установки зварювального пальника.

У четвертому розділі досліджені закономірності зміни зазорів у вертикальних таврових з'єднаннях і відхилення кінця електроду від осі сполучення в приєднанні конструктивних елементів рамного набору для кутових швів із розрахунковими товщинами $\alpha_r = 3,2...7,1$ мм і встановлені їх припустимі межі при роботизованому зварюванні. Відповідно до діючих у суднобудуванні вимог міжнародних класифікаційних товариств прийняті розрахункові схеми оцінки (рис.2), що встановлюють зазор b розрахункову товщину і проплавлення e_1 як основні геометричні параметри кутового шва, а заниження розрахункової товщини $\Delta\alpha_r$ та проплавлення корню шва - як допоміжні параметри. При оцінці відхилень δ кінця електроду від осі сполучення з'єднання головним параметром визначено нерівнобічність кутового шва Δk .

Виходячи із того, що зазор у з'єднанні при роботизованому зварюванні суцільним (С. П.) і порошковим (П. П.) дротом викликає зменшення поперечного перетину кутового шва, тобто його розрахункової товщини $\Delta\alpha_r$, та коливання параметру проплавлення e_1 , у роботі отримані відповідні розрахункові залежності.

Виходячи із того, що зазор у з'єднанні при роботизованому зварюванні суцільним (С. П.) і порошковим (П. П.) дротом викликає зменшення поперечного перетину кутового шва, тобто його розрахункової товщини $\Delta\alpha_r$, та коливання параметру проплавлення e_1 , у роботі отримані відповідні розрахункові залежності.

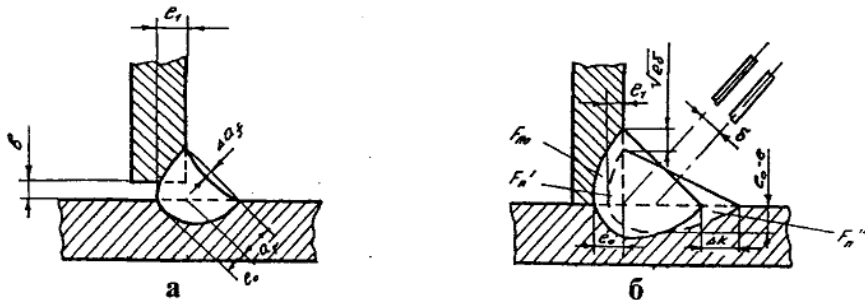


Рис.2 Основні геометричні параметри кутових швів при оцінці припустимих: а) зазорів; б) відхилень (F_n , F_n' , F_n'' - площі зон проплавлення)

З урахуванням вимог міжнародних стандартів EN 25817, ISO 6520 до граничних умов $[\Delta\alpha_r]$ і $[\Delta b]$ у роботі встановлені припустимі зазори в таврових з'єднаннях, що забезпечують якісне роботизоване зварювання вертикальних швів секції (рис.3). Для роботизованого зварювання суцільними дротами в середовищі CO_2 для $\alpha_r = 3,2...7,1$ мм припустимі зазори складають 1,8...3,0 мм. Найбільший вплив на граничний розмір зазорів має форма провару і характер розподілу глибин проплавлення у корені шва при зварюванні з коливаннями пальника. Показано, що жорсткі обмеження припустимих зазорів для зварювання в суміші газів ($82\%Ar + 18\%CO_2$) викликані утворенням специфічної форми провару та коливаннями глибини проплавлення в районі теоретичного центру кореня шва. При роботизованому зварюванні кутових швів порошковими дротами без коливань пальника, у порівнянні зі зварюванням суцільними дротами, діапазон припустимих зазорів складає 1,0...2,0 мм, в основному за рахунок можливого зсуву проплавлення за теоретичний центр шва.

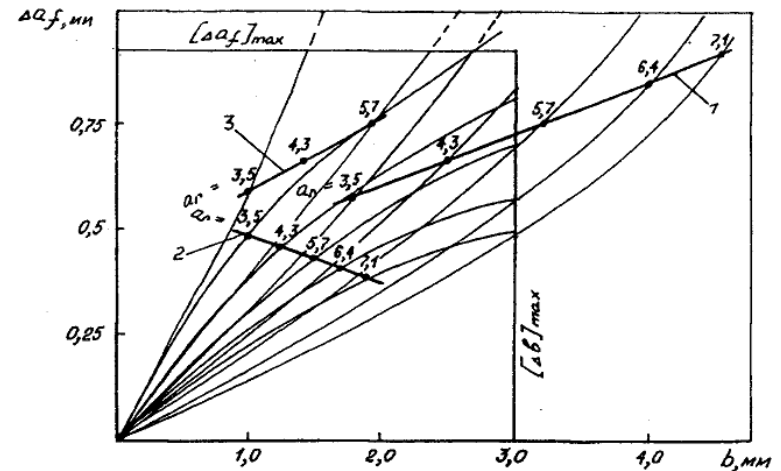


Рис.3. Взаємозв'язок між заниженням розрахункової товщини та припустимими зазорами в таврових з'єднаннях при роботизованому зварюванні у вертикальному положенні: 1- С. П. + CO_2 ; 2- С. П. + ($82\%Ar + 18\%CO_2$); 3- П. П. + CO_2

Для оцінки припустимих відхилень кінця електроду від осі сполучення у вертикальних таврових з'єднаннях за умови, що нерівнобічність Δk кутового шва викликає зменшення глибини зони проплавлення на периферійних ділянках наплавленого металу (рис.2,б), отримана розрахункова формула:

$$[\delta] = \frac{0,7 \cdot \dot{\alpha}_r \cdot (e_1 - e_0 + \Delta k) + 0,5 \cdot \Delta k \cdot (e_0 - e_1)}{\dot{\alpha}_r + 0,7 \cdot (\Delta k + e_1)}$$

Розрахунковим шляхом і експериментально визначена функціональна залежність $e(e_1) = f(\Delta k)$, що дозволила встановити необхідність більш точного наведення кінця електроду на лінію стику при роботизованому зварюванні у вертикальному положенні в порівнянні з нижнім. Припустимі відхилення кінця електроду для цих випадків складають відповідно: $[\delta]_B \leq 1 \text{ мм}$; $[\delta]_H \leq 2 \text{ мм}$.

У роботі експериментально встановлені відхилення, що виникають при виготовленні, установці і фіксації елементів рамного набору площинних днищових секцій. При складанні елементів рамного набору (стрингери, флори) у вертикальних з'єднаннях довжиною l_1 підсумкові відхилення ліній сполучення Δ_{max} визначаються похибками виготовлення стрингера $\Delta_{\text{н}}$ (с) і флора $\Delta_{\text{н}}$ (ф), а також відповідними кутами зсуву α і β внаслідок установки набору на полотни секції. Найбільше відхилення Δ_{max} залежить від місця розташування вертикальних з'єднань по довжині стрингерів l у секції. Розраховані відхилення у перетинанні рамного набору для секції балкера пр. 17005 подані у вигляді алгебраїчних і тригонометричних виражень на підставі статистичної обробки та апроксимації експериментальних даних (табл. 2).

Встановлений розрахунком діапазон відхилень Δ_{max} у вертикальних зварних з'єднаннях уздовж поздовжніх рамних зв'язків при виконанні просторової адаптації зварювального робота електроконтактними сенсорами складає 10...20 мм і необхідна поточна адаптація зварювального робота. Для виконання такої адаптації запропонований просторовий перенос програм з визначенням базових позицій орієнтації, та поточний пошук шва дугою з використанням для зварювання рутитового порошкового дроту.

Для зварних з'єднань у приєднанні рамного набору до настилу 2-го дна в нижньому положенні відхилення і зазори не перевищують 3 мм. У цьому випадку якісне роботизоване зварювання досягається використанням суцільних та порошкових дротів із застосуванням просторової адаптації електроконтактними сенсорами.

Таблиця 2

Розрахунок відхилення Δ_{max} ліній сполучення у вертикальних зварних з'єднаннях

База виміру Δl_1	Розрахункова формула
0...500	$\Delta_{\text{max}} = \frac{\sqrt{(2948,2+1) - 54,2}}{4,7} + \sqrt{(2,9 \cdot 10^{-3} \pm tg\alpha)^2 + (4,22 \cdot 10^{-3} \pm tg\beta)^2}$
501...1000	$\Delta_{\text{max}} = \frac{\sqrt{(2948,2+1) - 54,2}}{4,7} + l_1 \cdot \sqrt{(2,9 \cdot 10^{-3} \pm tg\alpha)^2 + (4,22 \cdot 10^{-3} \pm tg\beta)^2}$
1000...1400	$\Delta_{\text{max}} = \frac{\sqrt{(2948,2+1) - 54,2}}{4,7} + \sqrt{(5,8 - 2,9 \cdot 10^{-3} \cdot l_1 + tg\alpha \cdot l_1)^2 + (0,072 \pm 0,145 \sqrt{(tg\alpha + tg\beta)^2 - l_1^2})^2}$
1400...2000	$\Delta_{\text{max}} = \frac{\sqrt{(2948,2+1) - 54,2}}{4,7} + \sqrt{(5,8 - 2,9 \cdot 10^{-3} \cdot l_1 + tg\alpha \cdot l_1)^2 + (8,68 - 4,22 \cdot 10^{-3} \cdot l_1 + tg\beta \cdot l_1)^2}$

У п'ятому розділі наведені технологічні рекомендації з практичного використання отриманих результатів на суднобудівних підприємствах України.

Для забезпечення можливості роботизованого зварювання усіх зварних з'єднань у днищових секціях рекомендується використовувати роздільний метод формування конструкцій. При паралельному методі формування і зварювання роботами досягається зниження розрахункової трудомісткості виготовлення днищових секцій на 30..35%. Застосування цього методу виготовлення секцій на підприємстві ВАТ "Океан" дозволило зменшити реальну трудомісткість складально - зварювальних робіт на 10%.

Результати експериментальних досліджень дозволили рекомендувати оптимальні сполучення основних параметрів режимів для роботизованого зварювання суцільними дротами у суміші газів (82% Ar + 18%CO₂) і порошковими дротами у середовищі CO₂. Для роботизованого зварювання днищових секцій рекомендується використовувати тонкі порошкові дроти діаметром 1,2 мм рутитового типу марок ППс - ТМВ7 (ТУУ 19369185. 008 - 96), АН 21 (ГОСТ 26271 - 84), РЗ 6113S (Т 463 РС 2 Н 5 за EN 758), ОК Tubrod 15.13 (Т 462 РМ 1 Н 5 за EN 758).

Показано, що зазначені дроти при зварюванні вертикальних з'єднань забезпечують підвищення швидкості і продуктивності наплавлення в 1,5 - 2 рази в порівнянні з суцільними дротами. При цьому встановлено, що якість зварних з'єднань у перетинанні рамного набору і його приєднанні до настилу 2-го дна відповідає вимогам міжнародних класифікаційних товариств. Обрані порошкові дроти рекомендовані для роботизованого зварювання без коливань пальника з поточною адаптацією й аналітичною розробкою зварювальних програм.

Основні результати роботи і розроблену технічну документацію впроваджено на суднобудівному підприємстві ВАТ "Океан" при організації технологічного процесу автоматизованого виробництва днищових секцій із використанням РТК LIMAT RT 280 - 6. Результати досліджень використані ДП "ЧЗС" для промислового освоєння технології автоматичного зварювання об'ємних корпусних секцій танкера проекту 17012. Рекомендації з удосконалення конструктивного виконання днищових секцій балкера пр. 17005 використані проектною організацією "Чорноморсуднопроект" для коригування проектної документації.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що в умовах автоматизованого виробництва рівень технологічності суднових об'ємних корпусних конструкцій забезпечується виконанням вимог до технологічної однотипності форми та розмірів внутрішньо-секційних модульних елементів і доступністю зварних з'єднань в секції. Виявлено, що для автоматизованого виготовлення із застосуванням зварювального РТК найбільш

придатні об'ємні днищові секції з висотою рамного набору до 2 м, розташовані в районі циліндричної вставки корпусів великотоннажних суден.

2. Запропоновані додаткові та перероблені показники оцінки технологічності об'ємних секцій для умов автоматизованого виробництва із застосуванням роботизованого зварювання. Встановлено, що для днищових секцій зниження трудомісткості виготовлення до 10%) досягається комплексом конструктивно-технологічних заходів, у тому числі застосуванням роздільного методу формування і зміни форми вирізів у перетинанні набору.

3. Розроблено нові конструктивно-технологічні показники та методи їхньої оцінки, що дозволяють визначити рівень придатності типових вічків об'ємних секцій для виготовлення із застосуванням РТК. На прикладі балкера пр. 17005 доведено: до 90% типових вічок площинних днищових секцій придатні для роботизованого зварювання із застосуванням РТК LIMAT RT-280-6 (ВАТ "Океан")

4. Комплексна оцінка показників дозволила визначити, що із 90% типових вічок площинних днищових секцій балкера пр. 17005 найбільш технологічні до 46 % вічок без елементів обмежуючих маніпуляцію. Доведено, що збільшення рівня технологічності усіх вічок досягається за рахунок використання роздільного методу формування секцій і зміни форми вирізів у перетинанні набору.

5. Встановлено, що припустимі зазори у вертикальних таврових з'єднаннях об'ємних секцій при роботизованому зварюванні суцільними дротами в середовищі CO_2 для кутових швів з розрахунковими товщинами $\alpha = 3,2...7,1$ мм не повинні перевищувати 1,8...3,0 мм. Для роботизованого зварювання суцільними дротами в суміші 82% Ag + 18% CO_2 межі зміни зазорів для $\alpha = 3,2...7,1$ мм складають 1,0...2,0 мм. При зварюванні порошковим дротом у середовищі CO_2 кутових швів діапазон припустимих зазорів складає 1,0...2,0 мм.

6. Встановлено, що роботизоване зварювання у вертикальному положенні, в порівнянні з нижнім, вимагає більш точного наведення електроду на лінію сполучення інструктивних елементів у таврових з'єднаннях об'ємних секцій та припустимі відхилення складають, $[\delta]$ в ≤ 1 мм і $[\delta]$ н ≤ 2 мм відповідно.

7. Доведено, що в результаті складання елементів днищових секцій у вертикальних таврових з'єднаннях розкид відхилень ліній сполучення А тах складає 10...20 мм і необхідна поточна адаптація та зварювання у середовищі CO_2 з використанням тонкого порошкового дроту.

8. Розроблено та впроваджено на суднобудівних підприємствах ВАТ "Океан" і ДП "ЧСЗ" технологічні рекомендації по вибору суцільних та порошкових дротів, оптимальних режимів, методу аналітичного програмування, раціональних організаційних форм для автоматизованого виробництва суднових конструкцій із застосуванням портального РТК для зварювання. Внаслідок впровадження результатів розробок трудомісткість виготовлення секцій зменшується на 10% поліпшуються умови праці і досягається якість продукції, яка відповідає вимогам міжнародних класифікаційних товариств.

Основний зміст дисертації опубліковано в наступних роботах:

1. Драган С.В., Гавриленко Е.Д., Кулагина М.А. Особенности технологической подготовки производства при роботизированной сварке крупных судокорпусных конструкций // 36. наук. пр. - Николаїв: УДМТУ- 1996.- С.41-44.

2. Гавриленко Е.Д., Драган С.В., Кошкин К.В. Программирование перемещений сварочного робота при изготовлении крупных судокорпусных секций // 36. наук. пр. - Николаїв: УДМТУ, 1998. - Вип.3(351). - С.108-111.

3. Гавриленко Е.Д. Применение гибких роботизированных систем для дуговой сварки в производстве судокорпусных конструкций // 36. наук. пр. - Николаїв: УДМТУ, 1998 - Вип. 4 (352). - С. 198-200.

4. Гавриленко Е.Д. Новые рутиловые порошковые проволоки и их роль в автоматизации, роботизации производства судокорпусных конструкций // 36. наук. пр.- Николаїв: УДМТУ, 1998. - Вип.5 (353). - С. 132-139.

5. Технологические возможности повышения эффективности судокорпусного производства / В.Ф.Квасницкий, С.В.Драган, Е.Д.Гавриленко, Ю.В.Солониченко //36. наук. пр. - Николаїв: УДМТУ, 1998.-ВНп.7 (355).-С.69-80.

6. Гавриленко Е.Д. Разработка основных принципов адаптации роботизированных систем в производстве объемных судокорпусных конструкций //36. наук, пр.- Николаїв: УДМТУ, 1998. - Вип.7(355).-С.212-217.

7. Влияние проектно-технологических факторов при роботизированной технологии изготовления крупногабаритных судокорпусных конструкций/ В.Ф.Квасницкий, С.В.Драган, Е.Д.Гавриленко, Ю.В.Солониченко, П.М. Тишук //36. наук. пр. - Николаїв: УДМТУ, 1998.-Вип.8 (356).-С.68-79.

8. Оценка эффективности применения тонких порошковых проволок при сварке судокорпусных конструкций/ В.Ф.Квасницкий, С.В.Драган, Е.Д.Гавриленко, Н.П.Романчук, Ю.В. Солониченко, Г.М. Иващенко, А.А. Мазур //Автоматическая сварка.-1999.-№11.-С.4-7.

9. Драган С.В., Гавриленко Е.Д., Солониченко Ю.В. Технологические особенности роботизированной сварки угловых швов крупных судокорпусных секций //Тезисы докладов Междунар. конференции "Сварка и родственные технологии -в XXI век"(23-25 ноября, Киев).-Киев: ИЭС им. Е.О.Пагона. -1998.-С. 51-52.

10. Гавриленко Е.Д., Драган С.В. Технологические особенности роботизованого зварювання великих суднових конструкцій // Матеріали симпозиуму "Проблеми суднобудування: стан, ідеї, рішення " (8-10 жовтня, Николаїв). Николаїв:УДМТУ-1997.-С. 189-190.

11. Гавриленко Е.Д. Драган С.В. Технологические особенности применения сплошных и порошковых проволок для роботизированной сварки судокорпусных конструкций //Сб. докладов 1-й Междунар. конференции "Состояние и перспективы развития сварочных материалов стран СНГ" (22-26 июня, 1998г, Краснодар).-Москва, 1998.-С. 100-102.

12. Эффективность применения тонких порошковых проволок при механизированной и роботизированной сварке в судостроении / В.Ф.Квасницкий, С.В.Драган, Е.Д.Гавриленко, Ю.В. Солониченко, Г.М. Иващенко //Тезисы докладов Междунар. конференции "Сварка и родственные технологии в -XXI век"(23-25 ноября, Киев).- Киев: ИЭС им. Е.О.Пагона. -1998. -С. 51-52.

. Особистий внесок здобувача. Роботи [3,4,6] виконані здобувачем особисто. В роботах [1,2,7] здобувач виявив закономірності впливу конструктивного виконання внутрішньосекційних модулів об'ємних секцій на програмні та маніпуляційні функції портального РТК для зварювання. В роботах [5,8] здобувачем отримані й обґрунтовані експериментальні дані, що визначають доцільність використання

порошковых дробов для роботизованого зварювання об'ємних секцій на суднобудівних підприємствах України та країн СНД.

АНОТАЦІЯ

Гавриленко Є.Д. Розробка конструктивно - технологічних основ виготовлення суднових конструкцій із застосуванням роботизованого зварювального комплексу - Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.08.04 - Технологія суднобудування та судноремонту - Український державний морський технічний університет, Миколаїв, 2000.

Дисертація присвячена питанням удосконалення технології виробництва об'ємних секцій великотоннажних суден із застосуванням РТК для дугового зварювання. У дисертації дороблений чисельний метод та наведені нові показники оцінки технологічності великогабаритних суднових конструкцій в умовах автоматизованого виробництва. Виконано комплексну оцінку технологічності днищових секцій балкера пр. 17005 при використанні порталного РТК фірми "IGM" (п-во ВАР "Океан", м. Миколаїв). Експериментально встановлені технологічні допуски при виконанні роботизованого зварювання вертикальних кутових швів. Виконані дослідження існуючої точності складання типових днищових секцій на суднобудівному підприємстві і запропоновані ефективні методи адаптації РТК. Основні наукові результати роботи знайшли практичне застосування на суднобудівних підприємствах м. Миколаєва (Україна).

Ключові слова: об'ємні секції, технологічність, робототехніка, точність, складання, зварювання, відхилення.

АННОТАЦИЯ

Гавриленко Е.Д. Разработка конструктивно-технологических основ изготовления судовых конструкций с применением роботизированного сварочного комплекса.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.04 - технология судостроения и судоремонта - Украинский государственный морской технический университет имени адмирала Макарова, Николаев, 2000.

Работа состоит из списка условных обозначений, введения, пяти разделов, выводов, перечня использованных источников и приложений. Ее объем составляет 172 страницы. Перечень использованных источников включает 71 наименование.

Раздел 1 посвящен исследованию технологии производства объемных судовых корпусных конструкций в отечественном и зарубежном судостроении. На основе анализа литературных данных и производственного опыта судостроения Украины показано, что наиболее эффективно автоматизированное изготовление плоских днищевых секций крупнотоннажных судов с использованием робототехнологического комплекса для дуговой сварки (РТК). Поставлена задача определения уровня технологичности объемных корпусных конструкций в условиях автоматизированного производства и оценки существующих условий точности сборки днищевых секций на судостроительных предприятиях Украины. Показана необходимость исследований по поиску эффективных организационных форм автоматизированного производства днищевых секций и совершенствованию технологии роботизированной сварки.

Раздел 2 посвящен разработке комплекса требований и показателей для оценки уровня технологичности объемных секций с плоской базой в условиях автоматизированного производства. Установлено, что наибольшее влияние на уровень технологичности днищевых секций при использовании порталного РТК оказывает однотипность конструктивно-геометрических признаков типовых узлов и внутрисекционных модулей. Для всех типов модулей в секциях экспериментально установлены позиции доступных и недоступных сварных соединений, затраты времени на программирование, пространственную адаптацию, переходы и сварку. Разработана система базовых и дополнительных показателей, характеризующих уровень технологичности объемных секций в условиях автоматизированного производства.

Раздел 3 посвящен разработке новых конструктивно-технологических показателей для оценки пригодности отдельных и типовых внутрисекционных элементов под роботизированную сварку. Предложено шесть групп показателей, выявляющих закономерности влияния конструктивного оформления днищевых секций на программные и манипуляционные функции РТК. Выполнена оценка показателей пригодности типовых ячеек днищевых секций балкера пр. 17005 применительно к РТК фирмы "ЮМ" (з-д "Океан") и установлена необходимость поэтапной установки элементов насыщения в ячейках с ограниченным объемом манипуляции.

Раздел 4 посвящен исследованию точности сборки объемных секций в условиях автоматизированного производства и решению вопросов адаптации РТК к установленным отклонениям. Выявлены закономерности и пределы изменения допустимых зазоров в тавровых соединениях рамного набора днищевых секций при роботизированной сварке сплошными и порошковыми проволоками угловых швов с расчетными толщинами 3,2-7,1 мм. Предел изменения допустимых зазоров составляет 1,0-3,0 мм и зависит от комбинации сварочных материалов и расчетной толщины углового шва. Установлена необходимость более точного наведения электрода на линию стыка при роботизированной сварке в вертикальном положении по сравнению с нижним. Экспериментально определены отклонения, образующиеся вследствие изготовления, установки и фиксации элементов рамного набора плоских днищевых секций. Предложено для роботизированной сварки рамного набора секций применять: в вертикальном положении - пространственный перенос программ и текущую адаптацию; в нижнем положении - пространственный перенос программ.

Раздел 5 посвящен разработке технологических рекомендаций по применению рациональных организационных форм производства объемных секций, выбору эффективных сварочных материалов и режимов для роботизированной сварки, практическому использованию адаптивных систем и метода аналитического программирования РТК и апробации полученных результатов на судостроительных верфях г. Николаева (Украина).

Ключевые слова: объемные секции, технологичность, робототехника, точность, сборка, сварка, отклонения.

ABSTRACT

Gavrilenko E.D. Development structurally - technological bases of manufacture of ship constructions with application robotic system for welding. - Manuscript.

A dissertation for a scientific degree of the candidate of technical sciences on a speciality 05.08.04 - technique of shipbuilding and ship repair - Ukrainian state marine technical university,

Nikolaev, 2000.

The dissertation is dedicated to problems of perfecting of the "know-how" of volumetric sections of superships with application robotic system for welding. In a dissertation the numerical method is modified and the new indexes of an estimation of fabricability of large-sized ship constructions in conditions of a computeraided production represented. The complex estimation of fabricability of bottom sections of the bulker is executed at usage gantry robot of corporations "IGM" (plant "Ocean", Nikolaev). Technological tolerances are established at execution of the roboting welding of vertical fillets experimentally. The experimental researches of an existing accuracy of assembly of standard bottom sections at the ship-building operation are executed and the effective methods of adapting robotic system are offered. The base scientific outcomes of operation have found operational use on a shipbuilding yards of the Nikolaev (Ukraine).

Keywords: volumetric sections, fabricability, robotics, accuracy, assembly, welding, tolerances.