

Іван Петрович Даценко (канд. техн. наук)

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОГО РЕЖИМУ ЗВАРЮВАННЯ БРОНЬОВИХ КОНСТРУКЦІЙ КОЛІСНИХ БРОНЬОВАНИХ МАШИН

На підставі аналізу досвіду застосування панцерових спеціалізованих автомобілів та вимог до захищеності даної групи техніки запропоновано методичний підхід вибору раціонального режиму зварювання конструкцій колісних броньованих машин. Запропонована методика може бути базовою для створення спеціалізованого програмного забезпечення в галузі пошуку раціональних підходів в процесі модернізації та проектування сучасних броньованих спеціалізованих автомобілів.

Ключові слова: панцерові спеціалізовані автомобілі; панцеровий захист; критерій; показник; математична модель; оптимізація; властивості; технічні характеристики.

Вступ

Постановка проблеми. Бойові дії, які ведуться на сьогоднішній день на сході нашої країни, переконливо свідчать, що в питаннях застосування вогневих засобів сторонами відмічається стійка тенденція підвищення їх ефективності, що вимагає підвищувати захищеність засобів транспортування особового складу.

Досвід проведення антитерористичної операції показав, що деякі підрозділи Збройних Сил України та інших військових формувань застосовувались для виконання завдань у більшості випадків на неброньованій техніці. Це призводить до невиправданих втрат особового складу і у ряді випадків, не виконання поставлених завдань. Тому виникає необхідність у підвищенні захисту спеціалізованих автомобілів, що може бути досягнуто за рахунок використання панцерного (броньового) захисту [2], або використання спеціалізованих колісних броньованих машин які виробляються промисловістю України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Із публікацій [6, 7] видно, що питаннями впливу технології виготовлення корпусів на захищеність легкоброньованих бойових машин приділялася недостатня увага. Так в [7] розглянуті зразки броньованих автомобілів провідних країн світу. Порівняльна оцінка рівня захищеності різних зразків бронетехніки є достатньо актуальним питанням. У [6] визначені вимоги до рівня бронезахищеності панцерних автомобілів, але методи порівняльної оцінки рівня захищеності не враховують як впливає на це виробничий процес і потребують додаткового дослідження. Виходячи з цього, виникає потреба щодо удосконалення існуючих методичних підходів, які б дозволили не тільки оцінювати броньовані автомобілі за рівнем захищеності, а також при цьому враховували як технологія виконання корпусу впливає на це.

Мета статті. Враховуючі вищезазначене, стаття присвячена розгляду методичного підходу підвищення якості корпусів колісних броньованих машин за рахунок вибору раціональних режимів електродугового зварювання деталей з урахуванням техніко-економічних та технологічних показників.

Виклад основного матеріалу дослідження

При виробництві колісних броньованих машин для виготовлення корпусу частіш за все використовується з'єднання металевих деталей за допомогою електродугового зварювання. Що в свою чергу призводить до збільшення площі зварних з'єднань на зовнішній поверхні броньових конструкцій корпусу досягає 10-15% [1, 5] від загальної площі машини. Крім того всі види ремонту (поточні, середні, капітальні), які неодноразово виконуються протягом життєвого циклу машини, також включають значний обсяг зварювальних робіт [1]. Ще більший обсяг електрозварювальних робіт при модернізації даної групи техніки. Також слід зазначити що, як правило [1-3] зварні з'єднання мають гірші фізико-механічні властивості порівняно з основним металом що зварюється, тому забезпечення підвищення якості зварних з'єднань є актуальним науковим завданням, яке дозволить підвищити якість машини.

Однією з найважливіших умов забезпечення якості процесу зварювання і отримання металу шва з необхідними фізико-механічними властивостями при високій продуктивності процесу і низької собівартості є правильний вибір параметрів режиму зварювання [2, 3]. Були проведені експериментальні дослідження [5], в ході яких визначено вплив режиму механізованого електродугового зварювання модульованим струмом (табл. 1) на властивості з'єднання. В результаті статистичної обробки експериментальних даних [5] була отримана математична модель (1), яка описує вплив режиму механізованого електродугового зварювання

модульованим струмом на властивості отриманого зварювального з'єднання і є системою поліноміальних рівнянь другого порядку

пов'язаних між собою через показники режиму зварювання (X_i). властивості отриманого зварювального з'єднання.

Таблиця 1

Параметри режиму механізованого зварювання модульованим струмом (фактори експерименту)

Параметри режиму	Позначення, одиниці виміру	Область значення			Крок варування, ΔX_i
		$X_{i \min}$	$X_{i \text{сеп}}$	$X_{i \max}$	
Напруга джерела струму (X_1)	$U_{XX}, \text{В}$	28	32	36	4
Швидкість подачі зварювальної проволочки (X_2)	$V_{\text{ПР}}, \text{мм/с}$	40	50	60	10
Швидкість зварювання (X_3)	$V_{\text{СВ}}, \text{мм/с}$	5	7	9	2
Частота модуляції (X_4)	$f, \text{с}^{-1}$	9	12	15	4
Амплітуда модуляції (X_5)	$\delta, \text{мм}$	3	5	7	2

$$\left\{ \begin{aligned} H &= 24,8 + \sum_{i=1}^5 k_i \cdot X_i + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 k_{i,j} \cdot X_i \cdot X_j, \\ c_{\text{зтв}} &= 3 + \sum_{i=1}^5 m_i \cdot X_i + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 m_{i,j} \cdot X_i \cdot X_j, \\ b &= 10,6 + \sum_{i=1}^5 z_i \cdot X_i + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 z_{i,j} \cdot X_i \cdot X_j, \\ h &= 2,7 + \sum_{i=1}^5 r_i \cdot X_i + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 r_{i,j} \cdot X_i \cdot X_j, \\ \Psi &= 26,4 + \sum_{i=1}^5 q_i \cdot X_i + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 q_{i,j} \cdot X_i \cdot X_j, \end{aligned} \right. \quad (1)$$

де: $i \geq j$; H – твердість зварювального шва в HRC;

$c_{\text{зтв}}$ – розмір зони термічного впливу (ЗТВ) в мм;

b – глибина проплавлення в мм;

h – ширина зварювального валика в мм;

Ψ – втрати присадного матеріалу в %;

$k_i, k_{i,j}, m_i, m_{i,j}, z_i, z_{i,j}, r_i, r_{i,j}, q_i, q_{i,j}$ – коефіцієнти поліномів співвідношення, що визначаються на підставі статистичної обробки проведених експериментальних досліджень.

Математичну модель (1) може використовуватись для побудови графічних залежностей, а також при виборі раціонального режиму механізованого зварювання модульованим струмом в конкретних умовах.

В статті запропонована методика (рис. 1), основним призначенням якої є: вибір раціонального режиму механізованого електродугового зварювання модульованим струмом, який забезпечить отримання заданих показників якості зварних з'єднань броньованих конструкцій при забезпеченні найменших витрат ресурсів і мінімальних негативних наслідків дії процесу зварювання на оточуюче середовище. Зазвичай реалізація необхідних вимог щодо якості зварних з'єднань пов'язана з необхідністю виконання взаємовиключних заходів. Тому методика спрямована на пошук компромісного рішення.

На першому етапі необхідно визначити вихідні умови, які закладені в конструкторській і технологічній документаціях для проведення зварювальних робіт на броньових конструкціях [1]. В даному випадку це розміри зварювального шва, а саме: глибина проплавлення – b (мм) і ширина зварювального валика – h (мм). Основною умовою вибору раціонального режиму зварювання є оптимізація показників, що дозволять підвищити якість зварювального з'єднання, і при цьому забезпечити найкращі техніко-економічні показники. Такі вимоги можуть бути досягнуті за умови, коли твердість зварювального шва H (HRC) буде максимально можливою, для даного випадку, а розмір зони термічного впливу дуги на основний метал $c_{\text{зт}}$ (мм) і втрати присадного матеріалу Ψ (%) будуть мінімальні. Отримання найкращих показників якості зварного з'єднання можна розглядати, як постановку оптимізаційного завдання, де розмір шва ($b = \text{constant}, h = \text{constant}$) будуть вихідною умовою, а відповідні вимоги – цільовою функцією ($\Psi \rightarrow \min, c_{\text{зт}} \rightarrow \min, H \rightarrow \max$). Але, як показує практика, досягти даного результату не можливо із-за того, що зазвичай поліпшення одного показника призводить до погіршення інших показників. У зв'язку з цим необхідно знайти шлях рішення, який найкращим чином може задовольнити досягнення необхідних показників якості зварювання.

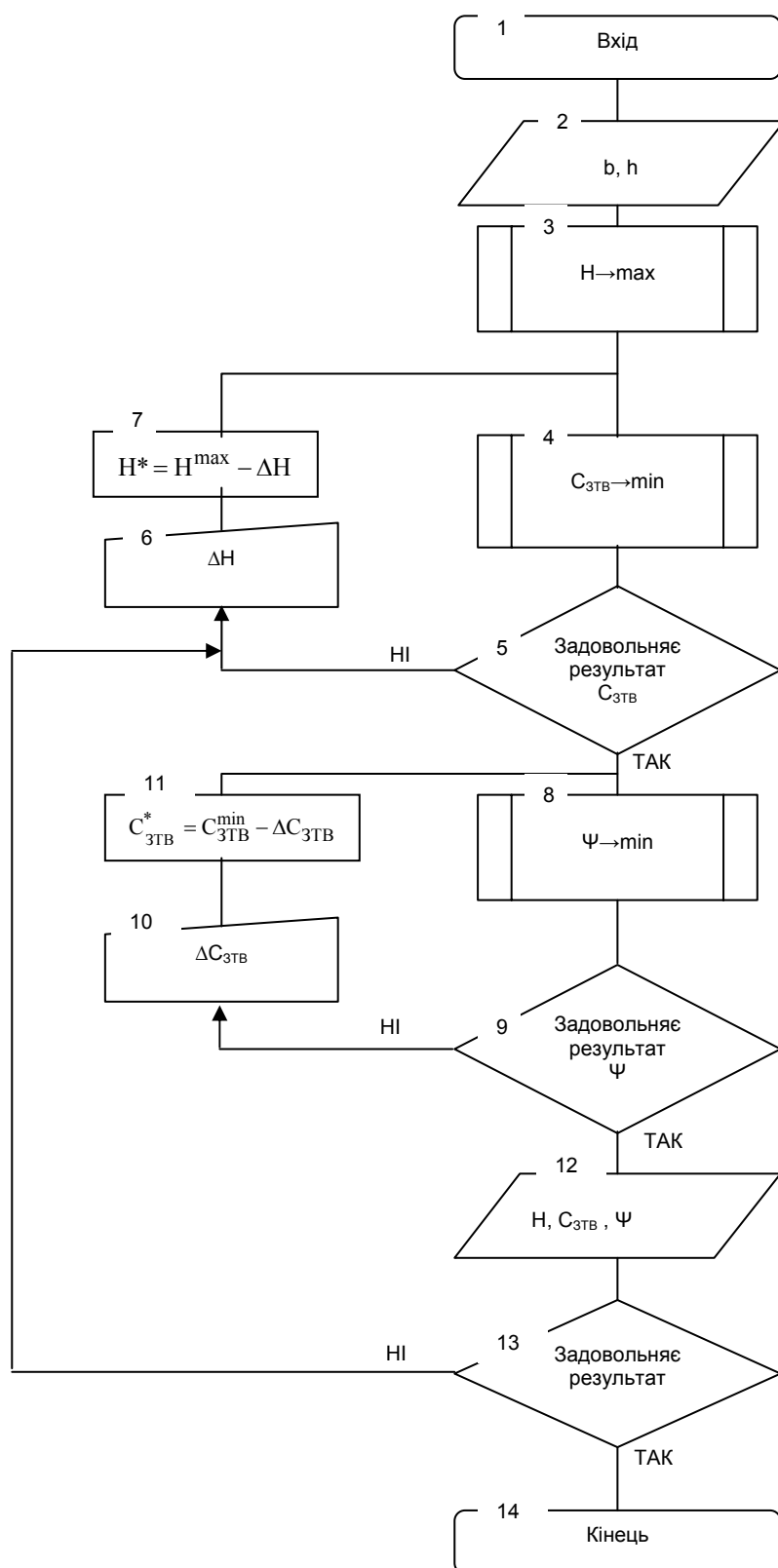


Рис. 1 Алгоритм рішення оптимізаційної задачі.

Для даного завдання доречно вибрати побудову компромісного рішення, який в літературі [5] висвітлюється як: “Метод послідовних поступок”. Приймаємо, що показники ефективності розташовані в порядку убудання: спочатку твердість зварювального шва (H), потім розмір зони термічного впливу ($c_{зт}$) і втрати присадного матеріалу (Ψ). Для простоти можна вважати, що

кожен з них повинен досягти максимуму, для цього досить змінити знак показника.

Процедура побудови компромісного рішення можливо звести до наступного (рис.1). З початку знаходиться рішення при якому $H - \max$. При цьому нехтується решта показників і проводиться перетворення рівняння (1) до скороченого вигляду (3):

$$\left\{ \begin{aligned} H &= 24,8 + \sum_{i=1}^5 k_i \cdot X_i + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 k_{i,j} \cdot X_i \cdot X_j, \\ b &= 10,6 + \sum_{i=1}^5 z_i \cdot X_i + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 z_{i,j} \cdot X_i \cdot X_j, \\ h &= 2,7 + \sum_{i=1}^5 r_i \cdot X_i + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 r_{i,j} \cdot X_i \cdot X_j, \end{aligned} \right. \quad (3)$$

де $i \geq j$, а інші показники тотожні значенням що у співвідношенні (1).

У подальшому необхідно обрати такий метод, який дозволить знайти рішення задачі знаходження екстремуму показника H . В даному випадку використано градієнтний метод, а саме метод зв'язаних градієнтів. Як відомо [4], застосування градієнтних методів дозволяє знайти рішення будь-якої задачі нелінійного програмування за кінцеву кількість кроків, але при цьому, в загальному випадку, знайти точку локального екстремуму, за умови що залежність має опуклий (випуклий) характер де він одночасно буде і глобальним.

Процес знаходження рішення задачі за допомогою методу зв'язаних градієнтів полягає в тому, що починаючи з деякої точки $X(k)$ здійснюється послідовний перехід до деяких інших точок до тих пір, поки не виявляється прийнятне рішення початкової задачі. В даному випадку мається на увазі те, що переходи здійснюються до тих пір, поки градієнт функції $f(x_1, \dots, x_5)$ в черговій точці $X_{(k+1)}$ не стане рівним нулю, або рівним достатньо малому числу, що

характеризує точність отримання рішень. Оскільки у нас X_i мають область значення (табл. 1), то рішення може знаходитися на межі області значень але при цьому рішення не будить глобальним рішенням для функції $f(x_1, \dots, x_5)$. Таким чином алгоритм знаходження рішення достатньо простий, але в той же час він громіздкий, оскільки вимагає великих обсягів обчислень, у зв'язку з цим градієнтні методи доцільно реалізувати за допомогою ЕОМ. Для вирішення поставленого оптимізаційного завдання було використано прикладну програму "Matkad" в середовищі якої реалізований метод спряжених градієнтів.

Після знаходження максимального значення твердості зварювального шва H^* , призначається, виходячи з практичних міркувань і точності, деяка поступка ΔH , яку можна допустити для того, щоб обернути в максимум решту показників. Після цього необхідно накласти на значення твердості певні обмеження, щоб даний показник був не менший, ніж $H^* - \Delta H$ і при цьому обмеженні шукаємо рішення, що обертає в мінімум розмір ЗТВ ($c_{зтв}$). При цьому рівняння (1) матиме вигляд (4):

$$\left\{ \begin{aligned} H &= 24,8 + \sum_{i=1}^5 k_i \cdot X_i + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 k_{i,j} \cdot X_i \cdot X_j, \\ c_{зтв} &= 3 + \sum_{i=1}^5 m_i \cdot X_i + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 m_{i,j} \cdot X_i \cdot X_j, \\ b &= 10,6 + \sum_{i=1}^5 z_i \cdot X_i + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 z_{i,j} \cdot X_i \cdot X_j, \\ h &= 2,7 + \sum_{i=1}^5 r_i \cdot X_i + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 r_{i,j} \cdot X_i \cdot X_j, \end{aligned} \right. \quad (4)$$

де $i \geq j$, а інші показники тотожні значенням що у співвідношенні (1).

Використовуючи ЕОМ за допомогою методу градієнтів за кінцеву кількість кроків знаходимо мінімально можливе значення розміру ЗТВ ($c_{зтв}^*$). Після цього призначаємо поступку $\Delta c_{зтв}$, ціною якої ми можемо знайти мінімально можливе значення втрат присадочного матеріалу Ψ^* .

Такий спосіб побудови компромісного рішення прийнятний тим, що при його використанні, можливо визначити ціною якої поступки в одному з показників набуваємо виграшу в іншому показнику. Крім того, свобода вибору рішення, отримана ціною навіть незначних поступок, може виявитися істотною, оскільки в районі максимуму (мінімуму) зазвичай значення показників змінюються слабо.

Висновки й перспективи подальших досліджень

В теперішній час електродугове зварювання є найбільш розповсюдженим способом з'єднання броньових конструкцій при: виробництві, ремонті та модернізації колісних броньованих машин. Площа зварювальних з'єднань на протязі життєвого циклу і при модернізації броньових об'єктів неухильно збільшується, і відповідно зменшується їх захищеність від засобів поразки. Причому електродугове зварювання в принципі не може забезпечити цілком однакові властивості зварного шва та зони термічного впливу по відношенню до властивостей конструкцій (основного металу), які зварюються. Таким чином, використовуючи математичну модель (1), за допомогою ЕОМ, можливо визначати раціональні

режими механізованого зварювання з'єднання броньових деталей, що у свою чергу електродуговим модульованим струмом для дозволить підвищити якість зварювальних конкретних умов, які забезпечать найкращу якість з'єднань.

Література

1. **Технология ремонта** бронетанковой техники / Под ред. Марютина М. И. – М.: Издание академии бронетанковых войск, 1973. – 592 с. 2. **Технология электрической** сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. акад. Б. Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с. 3. **Думов С. И.** Технология электрической сварки плавлением. – Ленинград: Издательство “Машиностроение”, 1987. – 462 с. 4. **Венцель Е. С.** Исследование операций. – М.: Издательство “Советское радио”, 1972. – 551 с. 5. **Удосконалення технології** відновлення деталей автомобільної техніки при капітальному ремонті: Звіт про НДР (шифр “Дуга”). /; І. П. Даценко, А. В. Гуляєв, В. В. Яблоков та ін. – К. ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2005. – 180 с. 6. **Средства защиты** – НИИ Стали / Официальный сайт НИИ Стали. – Режим доступа до матеріалів: <http://www.niistali.ru>. 7. **Ф. Лапшин.** Броневахтовики / Авторевю – Украина. – К.: Авторевю, 2013. – С. 55 – 60.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА СВАРКИ БРОНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОЛЕСНЫХ БРОНИРОВАННЫХ МАШИН

Иван Петрович Даценко (канд. техн. наук)

Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

На основании анализа опыта применения бронированных специализированных автомобилей и требований к защищенности данной группы техники предложен методический подход выбора оптимального режима сварки конструкций колесных бронированных машин. Предложенная методика может быть базовой для создания специализированного программного обеспечения в области поиска рациональных подходов в процессе модернизации и проектирование современных бронированных специализированных автомобилей.

Ключевые слова: бронированные специализированные автомобили; броневая защита; критерий; показатель; математическая модель; оптимизация; свойства; технические характеристики.

THE METHODOICAL BASES OF RATIONAL MODE CHOICE OF WELDING ARMOR CONSTRUCTIONS OF WHEELED ARMORED VEHICLES

Ivan P. Datsenko (Candidate of Technical Sciences)

National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine

Based on the analysis of experience with specialized armored vehicles and requirements for this group of security appliances it was proposed the methodical approach of choosing the optimal mode of welding the structures of wheeled armored vehicles. The proposed method can be the base for the creation of specialized software in the field of search of rational approaches in the process of modernization and the design of modern armored special vehicles.

Keywords: specialized armored vehicles; armor protection; criteria; indicators; mathematical model; optimization; characteristics; specifications.

References

1. **Maryutina M.I.** (1973), Repair of armored vehicles Technology, [Tekhnologiya remonta bronetankovoi tekhniki], Moscow: Academy of Armored Forces Edition, 592 p. 2. **The technology** of electric welding of metals and alloys melting, (1974), [Tekhnologiya elektricheskoi svarki metallov i splavov plavleniem], Ed. Acad. B.E. Paton, Moscow: Engineering, 768 p. 3. **Dumov S.I.** (1987), The technology of the electric fusion welding, [Tekhnologiya elektricheskoi svarki plavleniem], Leningrad: Publisher “Engineering”, 462 p. 4. **Wenzel E.S.** (1972), Operations research, [Issledovanie operatsii], Moscow: Publisher “Soviet Radio”, 551 p. 5. **Improving recovery** technology components at automotive engineering overhaul, (2005), [Udoskonalennia tekhnologii vidnovlennia detalei avtomobilnoi tekhniki pry kapitalnomu remonti: Zvit pro NDR], I.P. Datsenko, A.V. Gulyaev, V.V. Yablokov, Kyiv: TSNDI OVT ZSU, 180 p. 6. **Remedies** - Research Institute of Steel, Steel Research Institute official website. - Access mode to material: <http://www.niistali.ru> 7. **F. Lapshin.** (2013), [Bronevakhoviki], Autoreview, Ukraine, Kyiv: Auto Review, pp. 55-60.

Отримано: 11.03.2016 року.