

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ НАПЛАВЛЕННЯ З ПРИМУСОВИМ ПЕРЕНОСОМ ЕЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛУ

**Кассов В. Д., Мартиновська О. В.**

Застосування зносостійких покриттів при зміцненні та відновленні деталей машин сприяє підвищенню їх довговічності, але при цьому обмежується труднощами їх механічної обробки. Запропонована оптимізація режиму наплавлення з примусовим переносом матеріалу для відновлення деталей дозволяє визначити оптимальні режими наплавлення, що забезпечує отримання заданих характеристик металу наплавлення за умови мінімального припуску на механічну обробку, що в свою чергу скорочує витрати на відновлення деталі та час роботи. Використання ЕВМ дозволяє найбільш точно вибрати режим наплавлення, який буде економічним та ефективним для конкретних умов.

Применение износостойких покрытий при укреплении и восстановлении деталей машин способствует повышению их долговечности, но при этом ограничивается трудностями их механической обработки. Предложенная оптимизация режима наплавки с принудительным переносом материала для восстановления деталей позволяет определить оптимальные режимы наплавки, что обеспечивает получение заданных характеристик металла наплавки при минимальном припуске на механическую обработку, что в свою очередь сокращает расходы на восстановление детали и время работы. Использование ЭВМ позволяет наиболее точно выбрать режим наплавки, который будет экономическим и эффективным для конкретных условий.

The use of wear-resistant coatings with the strengthening and rebuilding of machine parts contributes to their longevity, but it is limited by the difficulty of machining. The proposed optimization mode surfacing material with forced transfer of details to determine the optimal modes of surfacing that provides a set of metal welding characteristics with minimal machining allowance, which in turn reduces the cost of recovery and the details of the operation. Using the computer allows to select the most accurate surfacing mode, which will be an economic and effective for specific conditions.

Кассов В. Д.

д-р техн. наук, проф., зав. каф. ПТМ

ДДМА

ptm@dgma.donetsk.ua

Мартиновська О. В.

аспірант каф. ПТМ ДДМА

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ.

УДК621.791.75

Кассов В. Д., Мартиновська О. В.

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ НАПЛАВЛЕННЯ З ПРИМУСОВИМ ПЕРЕНОСОМ ЕЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛУ

Розвиток сучасного машинобудування нерозривно пов'язане із забезпеченням підвищення надійності і довговічності деталей машин, широким використанням нових прогресивних технологій їх виготовлення і ремонту, а також зниженням енерго- і матеріалоємності виробництва. У зв'язку з цим величезне значення має забезпечення захисту деталей і конструкцій від зносу на стадії проектування, технологічної підготовки і експлуатації методами модифікування поверхонь і нанесення покриттів [1]. На сьогоднішній день найбільш ефективними, економічно вигідними і активно розвиваючимися технологічними методами нанесення покриттів є наплавлення [2–4]. Але при високих параметрах якості зміцнення не забезпечується економічне відновлення до заданого розміру гранично зношеної поверхні деталі. Тому раціональним представляється поєднання в технологічному процесі відновлення методів зміцнення і обробки [5].

Метою роботи є визначення оптимальних режимів наплавлення, що забезпечують отримання заданих характеристик металу наплавлення за умови мінімального припуску на механічну обробку.

Для досягнення мети були побудовані рівняння регресії, що зв'язують режим наплавлення з технологічними параметрами процесу.

В результаті отримано:

– залежність зварного струму  $I_{св}$  (А) від діаметра деталі, що наплавляється  $D$  (мм):

$$I_{св} = 145 + 0,67D, \quad (1)$$

– залежність коефіцієнта наплавлення  $\alpha_n$  (г/А·ч) і напруги дуги  $U_{\partial}$  (В) від зварного струму

$$\alpha_n = 7,28 + 0,0197 \cdot I_{св}, \quad (2)$$

$$U_{\partial} = 7,13 + 0,06I_{св}, \quad (3)$$

– залежність напавленого валика  $b$  (мм) і коефіцієнта відношення висоти і глибини пропавлення  $\beta$  від зварного струму  $I_{св}$  і швидкості наплавлення  $v_n$  (м/г)

$$b = 3,45 + 0,018 \cdot I_{св} - 0,065 \cdot v_n, \quad (4)$$

$$\beta = 10,66 - 0,0448 \cdot I_{св} - 0,2176 \cdot v_n + 0,00138 \cdot I_{св} \cdot v_n \quad (5)$$

Отже, як видно з формул (1), (3), зварний струм та напруга дуги визначаються діаметром деталі, що наплавляється.

Для вибору швидкості і шагу наплавлення отримуємо наступні залежності:

$$\pi \cdot e \cdot D \cdot L_n \cdot \rho_n + \pi \cdot e^2 \cdot L_n \cdot \rho_n = \frac{\gamma \cdot \alpha_n \cdot I_{св} \cdot \pi \cdot D \cdot L_n}{10^3 \cdot v_n \cdot \alpha \cdot b},$$

де  $e$  – висотою напавленого слою після механічної обробки;

$D$  – діаметр деталі, що наплавляється, мм;

$\rho_n$  – щільність напавленого шару,  $7,85 \cdot 10^{-3} \text{ г/мм}^3$ ;

$L_n$  – довжина відновлення, мм;

$\gamma$  – частка металу, що залишилась після проточки,  $\text{г/А} \cdot \text{год.}$ ;

$\alpha_n$  – коефіцієнт наплавлення, ;

$I_{св}$  – зварний струм, А;

$v_H$  – швидкість наплавлення, м/г.

Звідки

$$\rho_H \cdot e \cdot (D + e) - \frac{\gamma \cdot \alpha_H \cdot I_{зв} \cdot D}{10^3 \cdot v_H \cdot \alpha \cdot \beta} = 0,$$

Замінюючи  $b$  за формулою (4) отримуємо

$$v_H \cdot (3,45 + 0,018 \cdot I_{зв} - 0,065 \cdot v_H) \cdot \alpha \cdot \rho_H \cdot e \cdot (D + e) \cdot 10^3 - \gamma \cdot \alpha_H \cdot I_{зв} \cdot D = 0,$$

Позначуючи через

$$\alpha = 10^3 \cdot \alpha \cdot \rho_H \cdot e \cdot (D + e),$$

отримуємо наступне квадратне рівняння

$$0,065 \cdot \alpha \cdot v_H^2 - (3,45 + 0,018 \cdot I_{зв}) \cdot \alpha \cdot v_H + \gamma \cdot \alpha_H \cdot I_{зв} \cdot D = 0 \quad (6)$$

Визначення оптимальних режимів наплавлення доцільно виконувати з використанням ЕВМ. При цьому можна отримати гаму режимів і вибір певного режиму пов'язано з конкретними умовами. Алгоритм розрахунку наведено на рис. 1.

Вихідні данні для розрахунку:  $h_H$  – загальна висота наплавлення після механічної обробки;  $m$  – максимальна кількість слоїв наплавлення;  $D$  – діаметр деталі, що наплавляється;  $v_{\min}$ ,  $v_{\max}$  – мінімальна та максимальна швидкість наплавлення.

Автоматизований розрахунок за алгоритмом ведеться у наступній послідовності:

– визначається зварний струм  $I_{св}$  за формулою (1). При цьому, якщо отримане значення виходить за межі 170–230 А, то зварний струм приймаємо граничному значенню;

– розраховуються коефіцієнт наплавлення  $\alpha_H$  та напруга дуги  $U_D$  за формулами (2), (3);

– число слоїв наплавлення  $n$  вважається рівним  $I$ ;

– визначається висота шару, котрий наплавляється  $e = h_H / n$ ;

– задається відносний крок наплавлення  $\alpha$ , рівний мінімальному значенню  $\alpha_{\min} = 0,5$ ;

– розраховується швидкість наплавлення  $v_H$  за формулою (6);

– якщо отримане значення швидкості наплавлення  $v_H$  знаходиться в допустимих межах  $v_{\min} - v_{\max}$ , то розраховуються інші параметри процесу наплавлення:  $b$  – за формулою (4),  $H = \alpha \cdot b$ ;  $\beta$  – за формулою (5),  $\delta$  – за формулою (5,9) та виводиться до друку.

– якщо отримане значення  $v_H$  не входить у інтервал, що допускається, то збільшується відносний крок наплавлення  $\alpha$  і розрахунок повторюється з етапу 6;

– якщо при збільшенні  $\alpha$  до  $\alpha_{\max} = 0,8$  швидкість  $v_H$  не входить до інтервалу  $v_{\min} - v_{\max}$ , то збільшується кількість шарів, які наплавляються  $n$ , і розрахунок повторюється, починаючи з етапу 4.

Даний алгоритм реалізовано на мові Паскаль. На рис.2 наведена шкальна номограма для визначення зварного струму  $I_{св}$  та напруги  $U_D$  за діаметром валу, який відновлюють.

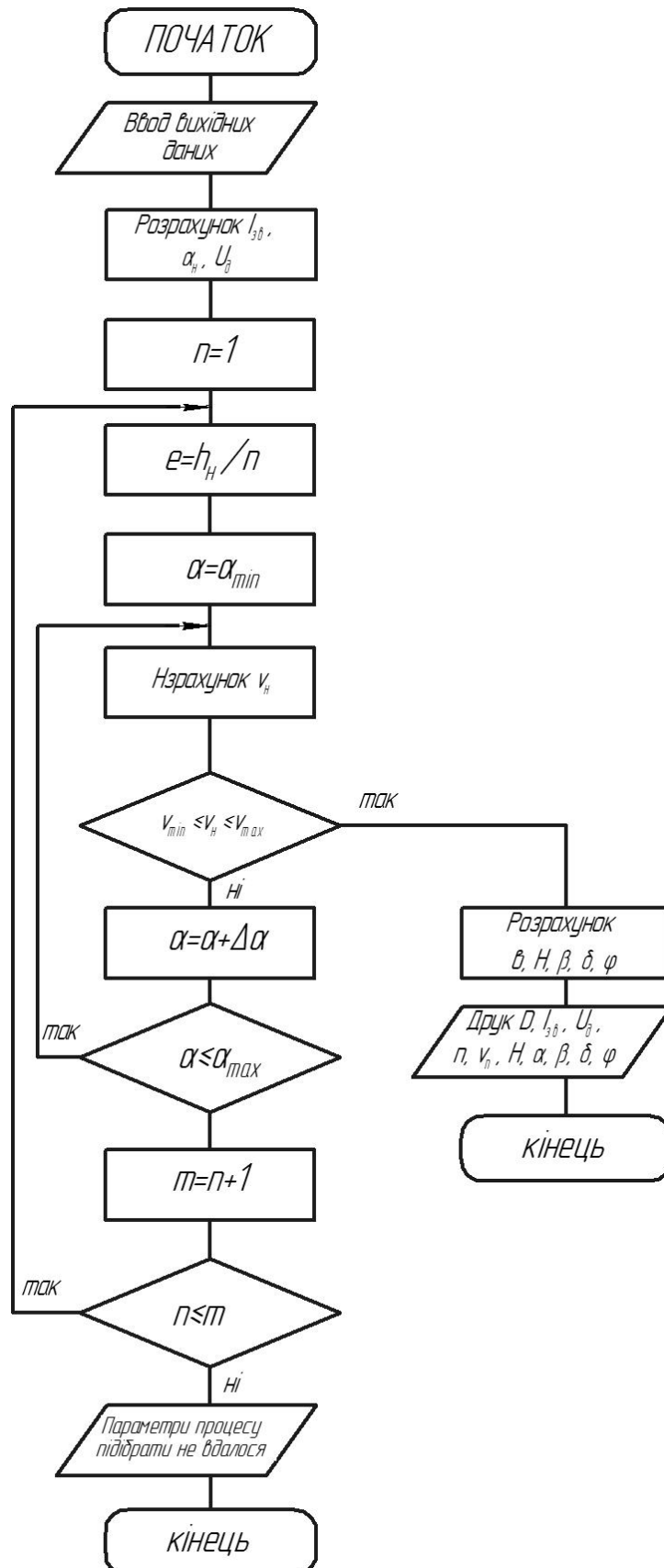


Рис.1. Алгоритм розрахунку параметрів наплавлення з примушеним переносом електродного матеріалу

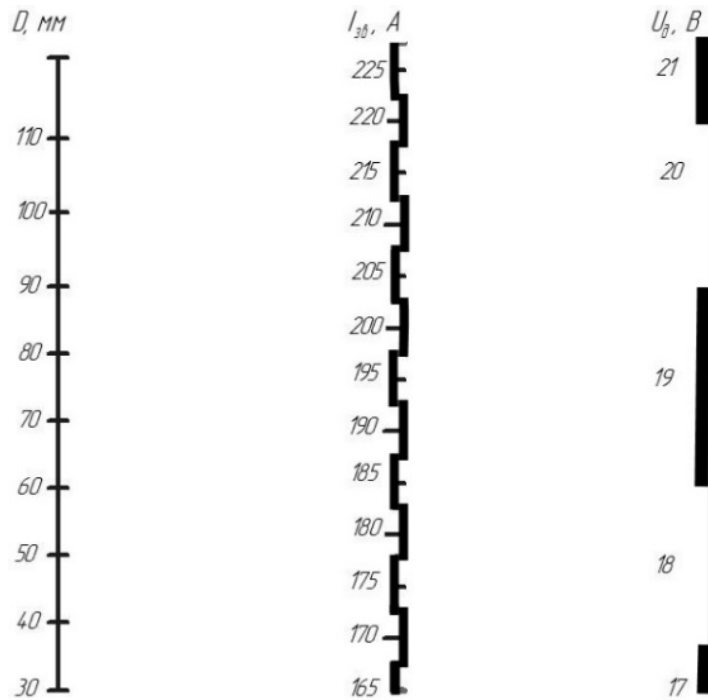


Рис. 2. Номограма для визначення зварного струму  $I_{св}$  і напруги дуги  $U_d$  по діаметру валу  $D$

На рис. 3 – 4 наведені номограми з властивості позначених ліній для визначення кроку наплавлення  $H$  та швидкості наплавлення  $v_H$  по висоті шару, який наплавляється після механічної обробки  $e$  та діаметру валу, що відновлюється  $D$ . Порядок розрахунку по номограмам показано пунктирною лінією.

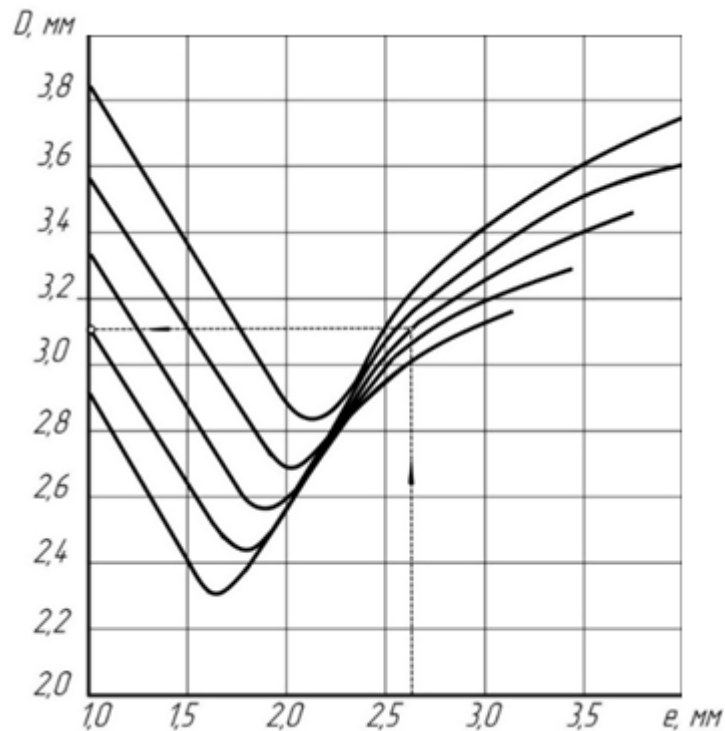


Рис.2. Номограма для визначення кроку наплавлення  $H$  по висоті наплавленого шару після механічної обробки  $e$  і діаметру валу  $D$

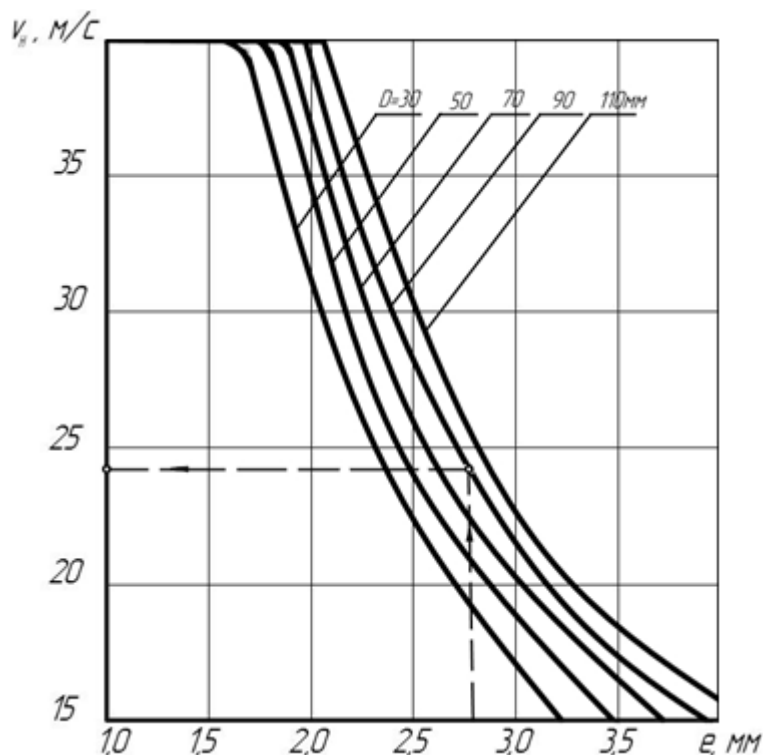


Рис.3. Номограма для визначення швидкості наплавлення  $v_n$  за висотою наплавленого слою після механічної обробки  $e$  і діаметру валу  $D$

### ВИСНОВКИ

Проведена оптимізація режимів наплавлення з примусовим переносом електродного металу, що забезпечують отримання заданих властивостей металу наплавлення при умовах мінімального припуску. Розроблені номограми для визначення зварного струму, напруження дуги, кроку та швидкості наплавлення за висотою наплавленого шару після механічної обробки і діаметру деталі, що відновлюється.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Easterling K. *Tomorrow's materials* / K. Easterling. – London: The Institute of Metal, 1988. – 315 p.
2. Патон Б.Е. Проблемы сварки на рубеже веков / Б.Е. Патон // *Автоматическая сварка*. – 1999. – №1. – С. 4–15.
3. *Mathematic modeling of detail's restoration combined process* / O. Berezshnaya, Ju. Chepel, N. Tsyvinda, A. Pikilnyak // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2015. – №10. – P. 198–201. – [Електроннийресурс] SCOPUS
4. *Development of welding equipment for the production of layered tapes* / O. Berezshnaya, Ju. Chepel, N. Tsyvinda, A. Pikilnyak // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2015. – №12. – P. 332–338. – [Електроннийресурс] SCOPUS
5. Бережная Е. В. *Методологические аспекты технико-экономического анализа эффективности выбора варианта инженерного решения* / Е.В. Бережная, Ю.А. Чепель, Е.В. Мартыновская // *Науковий Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. – Краматорськ: ДДМА. – 2015. – №1 (16E). – С. 116–124.

Стаття надійшла до редакції 22.05.2016 г.