

## Алгоритм оптимізації технологічних параметрів режиму наплавлення деталей типу «вал» та його реалізація

НОСОВ Д.Г., ПЕРЕМІТЬКО В.В.

Дніпродзержинський державний технічний університет

Розроблено та реалізовано алгоритм який дозволяє визначити технологічні параметри процесу наплавлення у комбінованому магнітному полі, хімічний склад та твердість наплавленого металу в залежності від цих режимів.

Разработан и реализован алгоритм, позволяющий определить технологические параметры процесса наплавки в комбинированном магнитном поле, химический состав и твердость наплавленного металла в зависимости от этих режимов.

Developed and realized an algorithm allowing to define the technological parameters of process of arc surfacing in CMF, chemical composition and hardness of deposited metal depending on these modes.

**Вступ.** Авторами розроблений спосіб наплавлення, що дозволяє значно знизити собівартість процесу шляхом зниження виробничих та матеріальних витрат при його використанні. Системний підхід до питання [1,2,3] дозволив вирішити наступні технологічні завдання: зменшити частку участі основного металу в наплавленому на 30...60%; підвищити продуктивність наплавлення в 1,3...1,8 рази; зменшити витрати на механічну обробку на 35...40% і підвищити службові властивості виробів за рахунок керування конфігурацією й геометричними розмірами перерізу валика, що наплавляється. Реалізувати процес наплавлення валика з керованою його конфігурацією запропоновано в рамках одночасної дії при дуговому напавленні трьох різноспрямованих магнітних полів, тобто, комбінованих магнітних полів (КМП).

**Постановка задачі.** Розрахункових методик визначення параметрів режиму наплавлення в КМП, які б враховували вплив струму наплавлення, напруги дуги, індукції керівних магнітних полів, коефіцієнта наплавлення, швидкості й кроку наплавлення, швидкості подавання електродного дроту, часток участі основного металу в металі іншого та наступних валиків, металу попереднього валика в металі наступного валика та металу, що залишився, після механічної обробки, необхідного числа шарів наплавлення на сьогодні не існує. Тому, через багатофакторність розробленої моделі визначення параметрів режиму наплавлення в КМП [3], процес їхньої оптимізації запропоновано виконувати з використанням засобів ЕОМ.

**Результати роботи.** Для визначення та оптимізації технологічних параметрів режимів наплавлення деталей типу «вал» з використанням КМП розроблено програмний комплекс MCAS-2 (Magnetic Control in Arc Surfacing) який спроектовано у системі програмування Delphi 7.0, Borland Software Corporation.

Блок-схему розрахункової програми наведено на рис. 1.

Початковими даними для розрахунку є:

$D$  – діаметр деталі, мм;

$V_H$  – швидкість наплавлення, м/год.;

$s_0$  – відносне зміщення осі електрода з zenіту, мм;

$h_{не}$  – загальна висота наплавлення тіла обертання після механічної обробки, мм;

$d_e$  – діаметр електродного дроту, мм;

$Me_i$  – вміст легуючих елементів в присадному металі, %.

Алгоритм розрахунку ґрунтується на дослідженнях, виконаних у роботі [3] та складається з наступних етапів:

Етап 1. Задається відносний крок наплавлення  $\alpha=0,7$  та початкова частка металу, що залишився після механічної обробки  $\gamma_M=0,8$ . Число шарів наплавлення  $n$  приймається рівним 1.

Етап 2. Визначається струм наплавлення  $I_n$  за формулою (1):

$$I_n = 140 + 0,7 \cdot D, \quad (1)$$

При цьому, якщо отримане значення  $I_n$  виходить за межі 170...400 А, то струм наплавлення приймається рівним граничному значенню.

Етап 3. Визначається швидкість подавання електродного дроту  $V_{II}$  за формулою (2):

$$V_{II} = 30,06 + 0,7375 \cdot D, \quad (2)$$

При цьому, якщо отримане значення  $V_{II}$  виходить за межі 36...216 м/год., то швидкості подавання електродного дроту приймається рівною граничному значенню.

Етап 4. Розраховується коефіцієнт наплавлення  $\alpha_n$  та напруга дуги  $U_D$  за формулами (3), (4):

$$\alpha_n = 5,6 + 5,85 \cdot 10^{-2} \cdot I_n - 0,65 \cdot 10^{-4} \cdot I_n^2, \quad (3)$$

$$U_D = 11,00 + 0,055 \cdot I_n, \quad (4)$$

Етап 5. Визначаються основні геометричні розміри (ширина  $b'$ , глибина проплавлення  $h'$  та висота  $g'$ ) валика за формулами (5), (6), (7), уточнюються показники  $\alpha_n$  та  $I_n$ :

$$b' = 0,12415 \cdot \frac{d_e^{1,146} \cdot V_{II}^{0,524} \cdot U_D^{0,488} (1,97 + s_0)}{V_H^{0,447}} \cdot k_b, \quad (5)$$

$$g' = 2,12638 \cdot \frac{d_e^{0,481} \cdot V_{II}^{0,47} \cdot (1,7517 + s_0)}{U_D^{0,418} \cdot V_H^{0,406}} \cdot k_g, \quad (6)$$

$$h' = 4,08 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{d_e^{2,437} \cdot V_{II}^{1,675} \cdot U_D^{0,669} (2,13 + s_0)}{V_H^{0,439}} \cdot k_h, \quad (7)$$

Етап 6. Визначається величина асиметрії валика  $a_g$  за формулою (8):

$$a_g = -\frac{3b}{2} \cdot \frac{4\alpha^4 - 4\alpha^2 - 6\alpha \cdot \gamma_M \cdot \sqrt{1 - \alpha^2} + \gamma_M (2 \cdot \arcsin \alpha + \pi)}{12\alpha^4 - 12\alpha^2 - 6\alpha \cdot \gamma_M \cdot \sqrt{1 - \alpha^2} + \gamma_M (6 \cdot \arcsin \alpha - 3\pi + 4)} \quad (8)$$

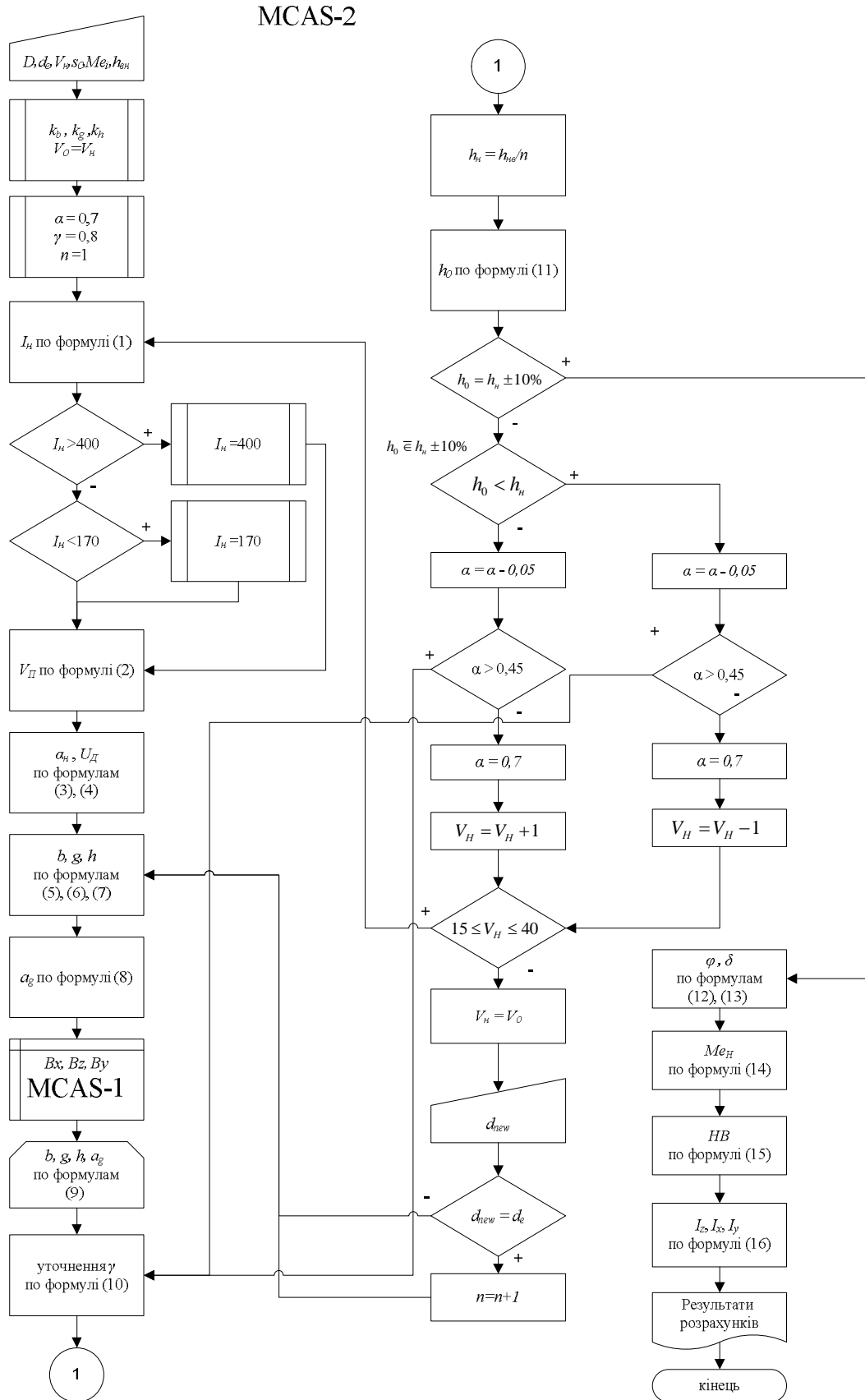


Рис. 1. Блок-схема розрахункової програми MCAS-2

Етап 7. Із системи рівнянь (9) визначаються режим керівного магнітного поля (підпрограма MCAS-1, рис.1), а саме величини осьової складової магнітної індукції  $B_x, B_z, B_y$ , що забезпечують отримання визначених на етапах 5 та 6 геометричних параметрів асиметричного валика:

$$b = 24.12614 - 0.27163B_z - 0.03248B_y - 0.21372B_x + 0.00474B_z^2 + 0.00115B_y^2 + 0.00204B_x^2 + 0.00083B_zB_y + 0.00113B_zB_x + 0.00053B_yB_x;$$

$$a_g = -0.211365 - 0.031212B_z + 0.086273B_y - 0.022159B_x + 0.00052B_z^2 - 0.000433B_y^2 + 0.000105B_x^2 + 0.000533B_zB_y - 0.000417B_zB_x + 0.0008B_yB_x;$$

$$a_h = 0.03066 - 0.051477B_z + 0.076114B_y - 0.002983B_x + 0.000545B_z^2 - 0.000484B_y^2 - 0.000162B_x^2 + 0.000767B_zB_y - 0.000208B_zB_x + 0.000675B_yB_x; \quad (9)$$

$$\gamma_M = \frac{g(b+2a_g) \cdot [\alpha^2(1-\alpha^2)]}{\frac{\pi}{4}g(b-2a_g) + \frac{2}{3}a_g \cdot g - g(b-2a_g) \cdot [\alpha\sqrt{1-\alpha^2}] + \frac{1}{2} [g(b+2a_g) \cdot (\arcsin \alpha - \alpha\sqrt{1-\alpha^2})]} \quad (10)$$

Етап 10. Визначається необхідна висота шару наплавлення в залежності від кількості проходів  $h_n = h_{нв} / n$ .

Етап 11. Розраховується висота напавленого шару  $h_M$  по формулі (11).

$$h_M = \frac{D}{2} \left( \sqrt{I + \frac{K\gamma_M}{3\alpha}} - I \right), \quad (11)$$

де

$$K = \frac{g\alpha_n I_n}{V_n b D \rho_n};$$

$D$  – діаметр деталі, що наплавляється, мм;  
 $\rho_n = 7,85 \cdot 10^{-3}$  г/мм<sup>3</sup> – густина металу наплавлення.

Етап 12. Якщо отримане значення  $h_M = h_H \pm 10\%$ , то виконується перехід до етапу 18.

Етап 13. Якщо отримане значення  $h_M \notin h_H \pm 10\%$  при  $h_M > h_H$ , то швидкість наплавлення збільшується  $V_H = V_H + 1$ , та розрахунок повторюється з етапу 2 до  $V_H \leq 40$ . Якщо  $h_M \in h_H \pm 10\%$  при  $h_M < h_H$ , то швидкість наплавлення зменшується  $V_H = V_H - 1$ , та розрахунок повторюється з етапу 2 до  $V_H \geq 15$ .

Етап 14. Якщо розрахунок на етапі 13 не дає позитивного результату, то зменшується відносний крок наплавлення  $\alpha = \alpha - 0,05$  і розрахунок повторюється з етапу 6 до  $\alpha = 0,5$  включно.

Етап 15. Якщо розрахунок на етапі 14 не дає позитивного результату, то відносний крок наплавлення приймає вихідне значення  $\alpha = 0,7$ . Користувачу пропонується змінити діаметр електродного дроту  $d_e$  та розрахунок повторюється з етапу 5.

Етап 16. Якщо Користувач підтверджує необхідність розрахунку по раніш введеному діаметру  $d_e$  та не

$$h_{max} = 2.813634 - 0.017145B_z + 0.007273B_y - 0.027784B_x - 0.000369B_z^2 + 0.000187B_y^2 + 0.000199B_x^2 - 0.000333B_zB_y + 0.00075B_zB_x - 0.0002B_yB_x;$$

$$h = 0.64659 - 0.010114B_z + 0.023432B_y + 0.007415B_x + 0.000328B_z^2 + 0.000118B_y^2 + 0.000247B_x^2 - 0.0005B_zB_y - 0.000208B_zB_x - 0.000375B_yB_x;$$

$$g = 0.82159 + 0.039053B_z + 0.013432B_y + 0.013665B_x - 0.000727B_z^2 + 0.000198B_y^2 - 0.000097B_x^2 - 0.000033B_zB_y + 0.000125B_zB_x - 0.000275B_yB_x; \quad (9)$$

Етап 8. Уточнюються геометричні параметри асиметричного валика  $b, g, h, a_g$  за формулами (9) за отриманими на етапі 7 значеннями  $B_x, B_z, B_y$ .

Етап 9. Уточнюється показник частки металу, що залишився, після механічної обробки  $\gamma_M$  за формулою (10) за отриманими на етапі 8 геометричними параметрами асиметричного валика.

змінює її, то збільшується кількість проходів (шарів) наплавлення  $n = n + 1$  і розрахунок повторюється з етапу 5.

Етап 17. Якщо розрахунок на етапі 14 не дає позитивного результату, то Користувачу пропонується змінити значення відносного зміщення вісі електрода з зеніту  $s_0$  та розпочати розрахунок наново.

Етап 18. У випадку отримання позитивних результатів попередніх розрахунків, за формулами (12) та (13) визначаються частка участі основного металу в металі другого та наступних валиків  $\varphi$  та частка участі металу попереднього валика в металі наступного валика  $\delta$ .

$$\varphi = \frac{\left( \frac{\pi}{4} h_{max} (b - 2a_h) + 2a_h \cdot h \right) - \frac{\pi}{4} h \cdot (b - H)}{\frac{\pi}{4} (g_{max} (b - 2a_g) + h_{max} (b - 2a_n)) + \frac{2}{3} a_g \cdot g + 2a_n \cdot h} \quad (12)$$

$$\delta = \frac{168,54 \cdot \exp(-3,5486 \cdot \alpha)}{\frac{\pi}{4} [g_{max} (b - 2a_g) + h_{max} (b - 2a_n)] + \frac{2}{3} a_g \cdot g + 2a_n \cdot h} \quad (13)$$

Хімічний склад напавленого металу  $Me_n$  без домішки основного визначають за формулою (14) [4]:

$$Me_n = \frac{Me^n - Me_o \cdot \left( \frac{\varphi}{1-\delta} \right)^n}{1 - \left( \frac{\varphi}{1-\delta} \right)^n}, \quad (14)$$

де  $Me^n$  – вміст легуючого елемента в  $n$ -ому шарі, %;  
 $Me_o$  – вміст легуючого елемента в основному металі, %;  
 $n$  – кількість шарів наплавлення.

Етап 19. Виходячи з відомих залежностей хімічного складу напавленого металу, виконується розрахунок твердості напавленого шару  $HB$  за формулою (15) [4]:

$$HB = -107 + 1,25w_0 + 565 \left( C + \frac{Mn}{8} + \frac{Si}{7} + \frac{Cr}{9} + \frac{Cu}{10} + \frac{Ni}{13} + \frac{P}{15} \right) \quad (15)$$

де  $C, Mn, Si, \dots, P$  – масова частка відповідного елемента у наплавленому металі;  $w_0$  – критична швидкість охолодження для певної марки сталі.

Етап 20. Для пристрою електромагнітного впливу на дугу ПЕМВД [5] залежність індукції магнітного поля від струму котушок електромагнітів була визначена експериментально, шляхом прямого вимірювання. Технологічні режими для керівних магнітних полів у вигляді струмів котушок  $I_z, I_x, I_y$  визначаються за формулами (16):

$$\left. \begin{aligned} I_z &= 0,16667 \cdot Bz + 1 \\ I_x &= 0,12195 \cdot Bx + 1 \\ I_y &= 0,09901 \cdot By + 1 \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Етап 21. Визначені параметри виводяться на друк та формується протокол у вигляді файлу *.txt*.

Оцінка комплексу у лабораторних та промислових умовах показала високий рівень його верифікації. Впровадження його на машинобудівних підприємствах дозволило розробити технологічні рекомендації для наплавлення зносостійких сплавів при відновленні деталей типу «вал».

#### Висновки

Для визначення та оптимізації технологічних параметрів процесу наплавлення, хімічного складу наплавленого металу та його твердості розроблено розрахунко-

вий алгоритм та спроектовано програмно-розрахунковий комплекс, що дозволяє швидко отримувати достовірні данні, використовуючи які можна автоматизувати процес керування наплавленням з використанням КМП.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Носов Д.Г., Размышляев А.Д. Эффективность применения комбинированных магнитных полей при дуговой накладке под флюсом // Автоматическая сварка. – 2009. – № 3. – С. 20-25.
2. К вопросу о повышении производительности дуговой наплавки посредством внешнего электромагнитного воздействия / Носов Д.Г., Алехина Л. // Сборник трудов VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Инновационные технологии и экономика в машиностроении». – Юрга, 2009.- С. 46-50
3. Носов Д.Г. Оптимізація параметрів режиму наплавлення з використанням комбінованих магнітних полів деталей типу «вал» // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету: (технічні науки)/ Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2009.- С. 29-34.
4. Лебедев Б.Д., Перемитко В.В. Расчетные методы в сварке плавлением: Учебн. пособие. – Днепродзержинск. – 1998. - 285 с.
5. Пат. на корисну модель № 39764 Україна, МПК (2009) В 23 К 9/08. Пальник для наплавлення з зовнішніми електромагнітними діями / Д.Г. Носов, В.В. Перемітько, (Україна). – № 200812070; заявл. 13.10.08; опубл. 10.03.09; Бюл. № 5.

пост. 12.03.2009

## Расчет времени термического обезвоживания шламовой пульпы

ПАСЕНКО А.В., КОРОБОЧКА А.Н., БАЗЫК А.И.

Днепродзержинский государственный технический университет

Отримані математичні залежності для визначення часу сушки шламів водопідготовки електричних станцій.

Получены математические зависимости для определения времени сушки шламов водоподготовки электрических станций.

Mathematical dependences are got for determination of time of drying of particulate matters of preparation of water of the electric stations.

**Введение.** Эффективность утилизации шламовой пульпы, образующейся в результате осветления технической воды в водоподготовительных системах электростанций, во многом определяется экономичностью одного из энерго- и ресурсозатратных технологических процессов - сушки шламового осадка до минимального содержания влаги с использованием низкопотенциальной энергии отходящих газов [1]. Оптимизация процесса сушки требует детального изучения физических процессов, происходящих при удалении влаги,

основными из которых являются эффекты тепло- и массопереноса: теплообмен между поверхностью материала и окружающей средой, испарение влаги с поверхности материала, распространение тепловой энергии и перемещение влаги внутри материала.

На сегодняшний день накоплен огромный опыт в теоретических и экспериментальных исследованиях кинетики процесса сушки пористых материалов различной дисперсности [2]. Однако, отсутствие единой классификации объектов сушки требует индивидуального

