

УДК 621.9.06

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.103.0.132

## МОДЕЛЮВАННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ШАРУ, НАПЛАВЛЕНОГО ПОРОШКОВИМ ЕЛЕКТРОДОМ

Кассов В. Д., Бережна О. В., Бережний М. О., Ровенський С. Г.  
Донбаська державна машинобудівна академія

**Анотація.** У роботі досліджується проблема формування якісного наплавленого металу в процесі відновлення деталей малих діаметрів із незначними розмірами зношування. Розроблено математичну модель розрахунку складу шару, наплавленого порошковим електродом з примусовим перенесенням металу, що дозволяє коректно враховувати конфігурацію валиків щодо основного металу. Визначено вплив кроку наплавлення та коефіцієнта посилення наплавленого валика на величину частки участі металу попереднього валика наплавленого шару в наступному валику. Зазначено, що за умови дотримання рекомендацій щодо технологічних параметрів процесу необхідний хімічний склад наплавленого металу досягається вже в другому шарі.

**Ключові слова:** порошковий дріт, хімічний склад, крок наплавлення, коефіцієнт посилення.

### Вступ

Підвищення ефективності відновлення працездатності зношених деталей, що мають невеликі діаметральні розміри та незначні втрати робочої поверхні, способом їх нарощування до номінальних розмірів є актуальним завданням. Для таких деталей застосовують наплавлення порошковими електродами з примусовим перенесенням електродного металу [1–4]. Примусове прикладення до частини порошкового дроту вібрації викликає підвищений нерегульований перехід компонентів шихти до зварювальної ванни, оминаючи стадію краплі. Це порушує стабільність хімічної однорідності наплавленого металу, призводить до розкиду механічних властивостей [5–6]. Тому одним з основних завдань є визначення складу металу, наплавленого дротом із заданим хімічним складом.

### Аналіз публікацій

Деталі малого діаметра (вали електродвигунів, вали металообробних верстатів тощо) доцільно ремонтувати наплавленням порошковим дротом. Композиції сердечника складні та багатокомпонентні, вони зазвичай є оптимумом, що тією чи іншою мірою відповідають вимогам до наплавочних матеріалів. Склад сердечника має забезпечувати захист наплавленого металу від дії повітря, легування металу, його розкислення, якісного формування наплавленого металу, легкої відокремлюваності шлакової корки, мінімального розбризкування металу, пор, тріщин, шлакових домішок. Оскільки наплавочні самозахисні порошкові електроди містять у шихті велику кількість (до 40 %) газошлакоутворювальних компонентів, можливі не-

сплавлення валиків один з одним та з основним металом, втрати легуючих елементів на окислення, зашлакування валиків, стікання шлаку. Причинами цього є, по-перше, мала кількість часу існування зварювальної ванни, що властиве процесу з примусовим перенесенням електродного металу, по-друге, зменшення  $I_{зв}$  робочих режимів наплавлення (за яких гарантується висока якість металу) [6–8].

У процесі наплавлення малої кількості шарів для розрахування складу кожного наплавленого шару необхідно враховувати частку участі основного металу та металу попереднього валика у наступному. Концентрацію елемента в першому шарі після стабілізації складу, тобто наплавлення трьох-п'яти валиків, можна визначити за формулою

$$Me' = \frac{1}{1-\delta} [Me_o \vartheta_1 + Me_n (1 - \vartheta_1 - \delta)], \quad (1)$$

де  $Me'$ ,  $Me_o$ ,  $Me_n$  – концентрація елемента в першому шарі основного та наплавленого металу;  $\delta$  – частка участі металу попереднього валика в наступному;  $\vartheta_1$ ,  $\vartheta_1 - \delta$  – частка участі основного та наплавленого металу в металі другого та наступного валиків.

Проте форма перетину посилення наплавленого валика способом з примусовим перенесенням має форму параболи, тому необхідно розрахувати склад металу з огляду на конфігурацію наплавлених валиків один з одним та з основним металом. Це дозволить підвищити точність розрахунку хімічного складу наплавленого металу в цих умовах.

### Мета та постановка завдання

Метою роботи є розроблення математичної моделі розрахунку складу металу, наплавленого порошковим дротом з примусовим перенесенням електродного металу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні завдання:

- розрахувати частку участі металу попереднього валика в наступному залежно від кроку наплавлення та коефіцієнта посилення;
- експериментально визначити крок наплавлення для утворення якісного шару.

### Здійснення досліджень та обговорення результатів

Для визначення концентрації елементу в  $n$ -му шарі варто записати формулу (1) так:

$$Me' = \frac{Me_o \vartheta_1}{1-\delta} - \frac{Me_n \vartheta_1}{1-\delta} + \frac{Me_n(1-\delta)}{1-\delta} = Me_n - (Me_n - Me_o) \frac{\vartheta_1}{1-\delta} \quad (2)$$

З формули (2) визначити вміст елементу в інших шарах, якщо замість концентрації елементу в основному металі  $Me_o$  застосува-

ти вміст елементу в наступному шарі (за умови сталості  $\vartheta_1$  та  $\delta$ ). Наприклад:

$$Me^2 = Me_n - (Me_n - Me') \frac{\vartheta_1}{1-\delta} = Me_n - \left[ Me_n - Me_n + (Me_n - Me_o) \frac{\vartheta_1}{1-\delta} \right] \frac{\vartheta_1}{1-\delta} = Me_n - (Me_n - Me_o) \left( \frac{\vartheta_1}{1-\delta} \right)^2$$

Тоді концентрація елементу в  $n$ -му шарі наплавлення дорівнюватиме

$$Me^n = Me_n - (Me_n - Me_o) \left( \frac{\vartheta_1}{1-\delta} \right)^n \quad (3)$$

Таким чином, для розрахування вмісту елементу в  $n$ -му шарі наплавлення необхідно визначити його концентрацію в основному та наплавленому металах, частки участі основного металу в металі другого та наступних валиків  $\vartheta_1$  та частки участі металу попереднього валика у наступному  $\delta$ .

Величину  $Me_n$  можна знайти за формулою (3), а  $\vartheta_1$  та  $\delta$  можна визначити з огляду на те, що формою перетину посилення наплавленого валика є парабола (див. рис. 1) з рівнянням

$$y = ax^2 + h_1,$$

де  $h_1$  – висота посилення.

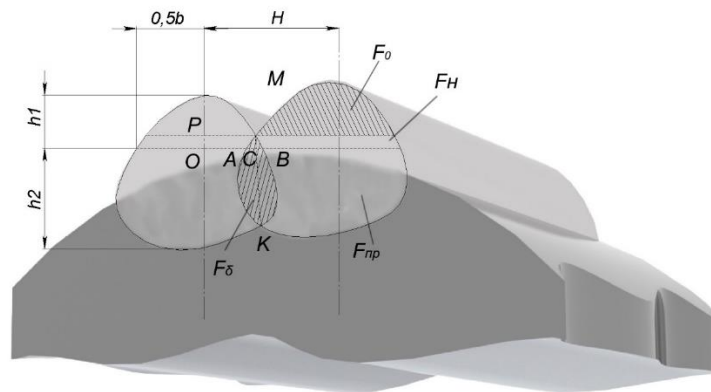


Рис.1. Схема розрахунку частки участі металу попереднього валика в наступному  $\delta = F_{\delta}/(F_{np} + F_n)$

Зі співвідношення

$$a \left( \frac{b}{2} \right)^2 + h_1 = 0$$

знаходимо

$$a = -4 \frac{h_1}{b^2}.$$

Таким чином, форму перетину наплавленого валика можна записати як рівняння

$$y = -\frac{4h_1 x^2}{b^2} + h_1. \quad (4)$$

Знайдемо площу перетину наплавленого валика:

$$F_n = 2 \int_0^{b/2} y dx = 2 \int_0^{b/2} \left( -\frac{4h_1}{b^2} x^2 + h_1 \right) dx = 2 \left[ -\frac{4h_1}{b^2} \cdot \frac{x^3}{3} + h_1 x \right] \Big|_0^{b/2} = 2 \left[ -\frac{4h_1}{b^2} \cdot \frac{b^3}{3 \cdot 8} + h_1 \frac{b}{2} \right] = -\frac{h_1 b}{3} + h_1 b = \frac{2}{3} h_1 b$$

Форму перетину проплавлення основного металу можна подати як напівеліпс з напівосями  $b/2$  та  $h_2$  й записати як рівняння

$$\frac{x^2}{(b/2)^2} + \frac{y^2}{h_2^2} = 1. \quad (5)$$

Отже:

$$y = \frac{2h_2}{b} \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 - x^2}. \quad (6)$$

Тоді площу перетину наплавленого металу визначаємо з рівняння:

$$\begin{aligned} F_{\text{пр}} &= 2 \int_0^{b/2} y dx = \\ &= \frac{4h_2}{b} \int_0^{b/2} \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 - x^2} dx = \frac{4h_2}{b} \left[ \frac{b^2}{2} \arcsin \frac{2x}{b} + \right. \\ &\left. \frac{x}{2} \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 - x^2} \right] \Big|_0^{b/2} = \frac{4h_2}{b} \cdot \frac{b^2}{8} \cdot \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{4} h_2 b \end{aligned}$$

Таким чином, площа перетину шару

$$F = F_H + F_{\text{пр}} = \left(\frac{2}{3} h_1 + \frac{\pi}{4} h_2\right) b. \quad (7)$$

Площа криволінійного трикутника  $AMB$

$$\begin{aligned} F_{AMB} &= 2 \int_{H/2}^{b/2} \left(\frac{4h_1}{b^2} x^2 + h_1\right) dx = 2 \left[ -\frac{4h_1}{b^2} \cdot \right. \\ &\left. \frac{x^3}{3} + h_1 x \right] \Big|_{H/2}^{b/2} = -\frac{8h_1}{b^2} \cdot \frac{b^3}{3 \cdot 8} + 2 \frac{h_1 b}{b^2} + \frac{8h_1}{b^2} \cdot \frac{H^3}{8 \cdot 3} - \\ &- \frac{2h_1 H}{2} = -\frac{h_1 b^3}{3b^2} + h_1 b + \frac{h_1 H^3}{3b^2} - h_1 H = \\ &- \frac{h_1 b}{3} + h_1 b + \frac{h_1 b}{3} \left(\frac{H}{b}\right)^3 - h_1 b \left(\frac{H}{b}\right) = \frac{2}{3} h_1 b - \\ &- h_1 b \left[ \frac{H}{b} - \frac{1}{3} \left(\frac{H}{b}\right)^3 \right] \end{aligned}$$

Площа криволінійного трикутника  $AKB$

$$\begin{aligned} F_{AKB} &= 2 \int_{H/2}^{b/2} \left(\frac{2h_2}{b} \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 - x^2}\right) dx = \\ &= \frac{4h_2}{b} \left[ \frac{b^2}{8} \arcsin \frac{2x}{b} + \frac{x}{2} \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 - x^2} \right] \Big|_{H/2}^{b/2} = \\ &= \frac{4h_2}{b} \left( \frac{b^2}{8} \arcsin \frac{2b}{2b} + \frac{b}{4} \sqrt{\left(\frac{b^2}{4} - \frac{b^2}{4}\right)} \right) - \\ &= \frac{4h_2}{b} \left( \frac{b^2}{8} \arcsin \frac{2H}{2b} + \frac{H}{4} \sqrt{\left(\frac{b^2}{4} - \frac{H^2}{4}\right)} \right) = \frac{4h_2}{b} \cdot \frac{b^2}{8} \cdot \\ &= \frac{\pi}{2} - \frac{4h_2}{b} \cdot \frac{b^2}{8} \cdot \arcsin \frac{H}{b} - \frac{4h_2}{b} \cdot \frac{H}{4 \cdot 2} \sqrt{b^2 - H^2} = \\ &= \frac{\pi h_2 b}{4} - \frac{h_2 b}{2} \arcsin \frac{H}{b} - \frac{h_2 H}{2} \sqrt{1 - \left(\frac{H}{b}\right)^2} \end{aligned}$$

Тоді площа криволінійного чотирикутника  $AMBK$  дорівнює

$$\begin{aligned} F_{AMBK} &= \frac{2}{3} h_1 b - h_1 b \left[ \frac{H}{b} - \frac{1}{3} \left(\frac{H}{b}\right)^3 \right] + \frac{\pi h_2 b}{4} - \\ &- \frac{h_2 b}{2} \arcsin \frac{H}{b} - \frac{h_2 H}{2} \sqrt{1 - \left(\frac{H}{b}\right)^2} \end{aligned} \quad (8)$$

Якщо  $\alpha$  – крок наплавлення  $H/b$ , то

$$\delta = \frac{F_{AMBK}}{F} = \frac{\left[ \frac{2}{3} h_1 + \frac{\pi}{4} h_2 - h_1 \left( \alpha - \frac{\alpha^3}{3} \right) - \frac{h_2}{2} \arcsin \alpha - \frac{h_2}{2} \alpha \sqrt{1 - \alpha^2} \right]}{\left( \frac{2}{3} h_1 + \frac{\pi}{4} h_2 \right)}$$

Додаємо коефіцієнт співвідношення висоти посилення  $h_1$  до глибини проплавлення  $h_2$  ( $\beta = h_1/h_2$ ):

$$\delta = \frac{\left[ \frac{\pi}{4} + \frac{2}{3} \beta - \beta \left( \alpha - \frac{\alpha^3}{3} \right) - \frac{1}{2} \arcsin \alpha - \frac{1}{2} \alpha \sqrt{1 - \alpha^2} \right]}{\left( \frac{\pi}{4} + \frac{2}{3} \beta \right)}. \quad (9)$$

Таким чином, частина участі металу попереднього валика в наступному залежить від кроку наплавлення  $\alpha$  та коефіцієнта посилення  $\beta = h_1/h_2$ .

Для одержання якісного шару в процесі наплавлення на різних режимах варто крок наплавлення вибрати в межах 0,50–0,70.

Згідно з табл.1, залежно від режимів наплавлення та шлакової системи сердечника порошкового дроту коефіцієнт посилення  $\beta$  змінюється в межах 1,5–3,5. Значення коефіцієнта  $\delta$  у випадку зміни  $\alpha$  та  $\beta$  у зазначених межах наведені в табл.1.

Частина участі основного металу в металі другого та наступних валиків визначається з рівняння

$$\vartheta_1 = \frac{F_{\text{пр}} - F_{AKB}}{F_{\text{пр}} - F_H} = \frac{\frac{h_2 b}{2} \arcsin \alpha + \frac{h_2 \alpha b}{2} \sqrt{1 - \alpha^2}}{\left( \frac{2}{3} h_1 + \frac{\pi}{4} h_2 \right) b} = \frac{h_2 \arcsin \alpha + h_2 \alpha \sqrt{1 - \alpha^2}}{2 \left( \frac{2}{3} h_1 + \frac{\pi}{4} h_2 \right)}$$

Поділивши чисельник та знаменник на  $h_2$ , отримаємо

$$\vartheta_1 = \frac{\arcsin \alpha + \alpha \sqrt{1 - \alpha^2}}{\frac{2}{3} \beta + \frac{\pi}{2}}. \quad (10)$$

Значення коефіцієнта  $\vartheta_1$  у випадку зміни  $\alpha$  та  $\beta$  у зазначених раніше межах наведені в табл. 2.

Таблиця 1 – Залежність частини участі металу попереднього валика в наступному  $\delta$  від кроку наплавлення  $\alpha$  та від коефіцієнта посилення  $\beta$ 

$\alpha$	Значення $\delta$ , якщо $\beta$ дорівнює:				
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
0,50	0,347	0,342	0,338	0,335	0,332
0,51	0,336	0,330	0,327	0,324	0,321
0,52	0,325	0,320	0,316	0,313	0,310
0,53	0,314	0,309	0,305	0,302	0,299
0,54	0,303	0,298	0,294	0,291	0,289
0,55	0,293	0,287	0,283	0,280	0,278
0,56	0,282	0,277	0,273	0,280	0,268
0,57	0,272	0,267	0,263	0,260	0,257
0,58	0,262	0,256	0,252	0,249	0,247
0,59	0,252	0,246	0,242	0,239	0,237
0,60	0,242	0,236	0,233	0,230	0,227
0,61	0,232	0,227	0,223	0,220	0,218
0,62	0,222	0,217	0,213	0,210	0,208
0,63	0,213	0,208	0,204	0,201	0,119
0,64	0,204	0,198	0,195	0,192	0,190
0,65	0,194	0,189	0,186	0,183	0,181
0,66	0,185	0,180	0,177	0,174	0,172
0,67	0,176	0,172	0,168	0,165	0,163
0,68	0,168	0,163	0,159	0,157	0,155
0,69	0,159	0,154	0,151	0,148	0,146
0,70	0,151	0,146	0,143	0,140	0,138

Таблиця 2 – Залежність частини участі основного та наплавленого металу в металі другого та наступного валиків  $\vartheta_1$  від кроку наплавлення  $\alpha$  та від коефіцієнта посилення  $\beta$ 

$\alpha$	Значення $\vartheta_1$ , якщо $\beta$ дорівнює:				
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
0,50	0,268	0,226	0,195	0,172	0,153
0,51	0,273	0,230	0,199	0,175	0,156
0,52	0,278	0,234	0,202	0,178	0,159
0,53	0,282	0,238	0,206	0,181	0,162
0,54	0,287	0,242	0,209	0,184	0,164
0,55	0,292	0,246	0,212	0,187	0,167
0,56	0,296	0,250	0,216	0,190	0,170
0,57	0,301	0,254	0,219	0,193	0,172
0,58	0,306	0,258	0,223	0,196	0,175
0,59	0,310	0,261	0,226	0,199	0,178
0,60	0,315	0,265	0,229	0,202	0,180
0,61	0,319	0,269	0,232	0,205	0,183
0,62	0,324	0,273	0,236	0,207	0,185
0,63	0,328	0,276	0,239	0,210	0,188
0,64	0,332	0,280	0,242	0,213	0,190
0,65	0,336	0,284	0,245	0,216	0,193
0,66	0,341	0,287	0,248	0,218	0,195
0,67	0,345	0,291	0,251	0,221	0,197
0,68	0,349	0,294	0,254	0,224	0,200
0,69	0,353	0,298	0,257	0,226	0,202
0,70	0,357	0,300	0,260	0,229	0,204

У процесі наплавлення зазвичай необхідно забезпечити заданий хімічний склад  $Me_n$  верхнього шару. Якщо позначити відносне відхилення концентрації легуючого елементу у  $n$ -му шарі від вмісту його в наплавленому металі як

$$\Delta = \frac{|Me^n - Me_n|}{Me_n} \cdot 100\%, \quad (11)$$

то з формули (3) можна визначити, що

$$\frac{\Delta}{100} = \left(1 - \frac{Me_o}{Me_n}\right) \left(\frac{\vartheta_1}{1-\delta}\right)^n.$$

Таблиця 3 – Розрахований склад металу шарів залежно від технологічних параметрів наплавлення

$\alpha$	$\beta$	Номер шару	Хімічний склад наплавленого шару, %					
			C	Mn	Si	Cr	V	Ti
0,55	2,0	1	0,181	0,559	0,214	0,590	0,164	0,197
		2	0,226	0,717	0,270	0,793	0,220	0,264
		3	0,242	0,771	0,290	0,863	0,240	0,288
	3,0	1	0,198	0,618	0,235	0,666	0,185	0,222
		2	0,236	0,753	0,283	0,839	0,233	0,280
		3	0,246	0,788	0,296	0,884	0,246	0,295
0,60	2,0	1	0,181	0,557	0,213	0,587	0,163	0,196
		2	0,226	0,716	0,270	0,791	0,220	0,264
		3	0,242	0,771	0,290	0,862	0,240	0,287
	3,0	1	0,198	0,617	0,235	0,664	0,185	0,221
		2	0,236	0,752	0,283	0,838	0,233	0,279
		3	0,246	0,767	0,296	0,884	0,246	0,295
0,65	2,0	1	0,180	0,555	0,213	0,585	0,163	0,195
		2	0,226	0,714	0,269	0,790	0,219	0,263
		3	0,241	0,770	0,289	0,861	0,239	0,287
	3,0	1	0,197	0,615	0,234	0,662	0,184	0,221
		2	0,236	0,751	0,283	0,837	0,233	0,279
		3	0,246	0,787	0,295	0,883	0,245	0,294

Згідно з табл.3, склад наплавленого металу 25ХГФТ (0,20–0,25 % С; 0,6–0,8 % Мп; 0,2–0,3 % Si; 0,7–0,9 % Cr; 0,20–0,25 % V; 0,25–0,30 % Ti) досягається вже в другому шарі наплавлення. Водночас у разі збільшення відносного кроку  $\alpha$  наплавлення необхідно здійснювати на режимах, що забезпечують більш високий коефіцієнт  $\beta$ .

У процесі багатошарового наплавлення порошковим дротом ПП-25ХГФТ на режимі  $I_{зв} = 200\text{--}220$  А,  $U_d = 18\text{--}20$  В,  $V_n = 20$  м/ч та з відносним кроком наплавлення  $\alpha = 0,6$  у другому шарі одержано (%)0,24 С; 0,73 Мп; 0,24 Si; 0,82 Cr; 0,22 V; 0,28 Ti.

Отже, заданий склад наплавленого металу за легуючим елементом  $Me$  може бути одержаний у наплавленому  $n$ -му шарі, де  $n$  розраховується за формулою

$$n = \frac{\ln(\Delta/100) - \ln(1 - Me_o/Me_n)}{\ln\vartheta_1 - \ln(1-\delta)}. \quad (12)$$

У табл. 3 наведено розрахований за запропонованою методикою склад металу шарів у процесі багатошарового наплавлення самозахисним порошковим дротом ПП-25ХГФТ.

## Висновки

Запропоновано методику розрахунку з достатньою точністю хімічного складу наплавленого шару з огляду на використання основного і наплавленого металу, металу попереднього валика в наступному та вплив відносного кроку наплавлення, що дозволяє прогнозувати якість одержаного наплавленого покриття й забезпечити раціональний вибір технологічних параметрів наплавлення залежно від складу наплавочних матеріалів.

## Література

1. Puzoza J. C., Uba F. RETRACTED ARTICLE: Modelling and simulation of surfacing welding remanufacturing for tunnel boring machine disc

- cutter. *Welding International*. 2022. V. 36. №. 2. Pp. 1–17.  
<https://doi.org/10.1080/09507116.2021.1973353>
2. Xu K., Han B., Zhang S. Research of Surfacing Technology and Performance on Round Steel. *2nd International Conference on Advances in Materials, Mechatronics and Civil Engineering (ICAMMCE 2017)*. Atlantis Press. 2017. Pp. 45–48. DOI. 10.2991/icammce-17.2017.10.
  3. Zhudra A. P., Voronchuk A. P. Cladding flux-cored strips. *The Paton Welding J.* 2012. V. 1. Pp. 34–38.
  4. Bonnel J. M., Maurer M., Rosert R. Submerged-arc Surfacing of High-alloy Steels by Flux-cored Wires. *Automatic Welding/Avtomaticheskaja Svarka*. 2019. №. 6. Pp. 4–13.  
<https://doi.org/10.15407/tpwj2019.06.01>.
  5. Chen J. et al. Rail surfacing repairing technique with self-shielded flux-cored wires. *International Journal of Modern Physics B*. 2020. V. 34.  
<https://doi.org/10.1142/S0217979220400561>.
  6. Investigation of the Microstructure of Surfaced Layer from Flux-Cored Wire of the Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V System / Osetkovskiy I. V. et al. *Metal Science and Heat Treatment*. 2022. V. 64. №. 5–6. Pp. 321–327.  
<https://doi.org/10.1007/s11041-022-00808-8>.
  7. Yadav P., Khanna P. Effect of input parameters on weld bead geometry and weld dilution for weld surfacing of flux cored 308L stainless steel on low carbon steel. *Materials Today: proceedings*. 2022. V. 62. Pp. 3608–3616.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.412>.
  8. Study on Wear-resistant Surfacing Flux Cored Wire for Shield Machine Hob / Su B. et al. *Journal of Physics: conference Series*. 2020. V. 1637. №. 1. Pp. 12–35. DOI 10.1088/1742-6596/1637/1/012035.

## References

2. Puoza J. C., Uba F. RETRACTED ARTICLE: Modelling and simulation of surfacing welding remanufacturing for tunnel boring machine disc cutter. *Welding International*. 2022. V. 36. №. 2. Pp. 1–17.  
<https://doi.org/10.1080/09507116.2021.1973353>
2. Xu K., Han B., Zhang S. Research of Surfacing Technology and Performance on Round Steel. *2nd International Conference on Advances in Materials, Mechatronics and Civil Engineering (ICAMMCE 2017)*. Atlantis Press. 2017. Pp. 45–48. DOI. 10.2991/icammce-17.2017.10.
3. Zhudra A. P., Voronchuk A. P. Cladding flux-cored strips. *The Paton Welding J.* 2012. V. 1. Pp. 34–38.
4. Bonnel J. M., Maurer M., Rosert R. Submerged-arc Surfacing of High-alloy Steels by Flux-cored Wires. *Automatic Welding/Avtomaticheskaja Svarka*. 2019. №. 6. Pp. 4–13.  
<https://doi.org/10.15407/tpwj2019.06.01>.

## Modeling of the chemical composition of the layer fused with a powder electrode

**Abstract. Problem.** The work is devoted to the problem of the formation of high-quality deposited metal during the restoration of parts of small diameters with insignificant dimensions of wear. **Goal.** The purpose of the work is the development of a mathematical model for calculating the composition of metal deposited by flux-cored wire with forced transfer of the electrode metal. **Methodology.** The composition of the core of the powder electrode should ensure protection of the deposited metal from the action of air, ensure alloying of the metal, its deoxidation, high-quality formation of the bead, easy separation of the slag crust, minimal splashing of the molten metal, the absence of pores, cracks, and slag

**Кассов Валерій Дмитрович**, д.т.н., проф.  
 декан факультету машинобудування, Донбаська державна машинобудівна академія,  
 б-р Машинобудівників 34, Краматорськ, 84313,  
 Україна, телефон +38 098-816-07-53,  
[kassovvd@gmail.com](mailto:kassovvd@gmail.com)

**Бережна Олена Валеріївна**, д.т.н., доц.  
 кафедри автоматизації виробничих процесів,  
 Донбаська державна машинобудівна академія, б-р  
 Машинобудівників 34, Краматорськ, 84313, Укра-  
 їна, телефон +38 098-815-88-65,  
[elena.kassova07@gmail.com](mailto:elena.kassova07@gmail.com),

**Бережний Максим Олександрович**, аспірант  
 кафедри комп'ютеризованих мехатронних сис-  
 тем, інструментів та технології,  
 Донбаська державна машинобудівна академія, б-р  
 Машинобудівників 34, Краматорськ, 84313, Укра-  
 їна, телефон +38 066-729-13-43, [berejhnoymaxim@gmail.com](mailto:berejhnoymaxim@gmail.com),

**Ровенський Сергій Геннадійович**, аспірант  
 кафедри автоматизації виробничих процесів,  
 Донбаська державна машинобудівна академія, б-р  
 Машинобудівників 34, Краматорськ, 84313, Укра-  
 їна.

inclusions in the deposited layer. However, a number of surfacing self-protecting powder electrodes contain a significant amount of gas-slag-forming components in the charge. The result can be: failure of the rollers to fuse with each other and with the base metal, loss of alloying elements due to oxidation, slagging of the rollers, and slag runoff. In order to ensure the specified chemical composition of the deposited metal, a mathematical model for calculating the composition of a layer deposited by a powder electrode with forced metal transfer has been developed, which is correctly taken into account during the configuration of the rollers relative to each other and relative to the base metal. **Results.** The influence of the deposition step and the coefficient of reinforcement of the deposited roll on the value of the share of the metal of the previous roll of the deposited layer in the next roll was determined. The influence of the surfacing step on the quality of the formation of the surfacing layer was determined experimentally. **Practical value.** Technological recommendations have been developed and proposed for applying a layer with powder electrodes with forced metal transfer, which ensure high quality of the deposited metal with the formation of a layer of the required chemical composition. It was established that if the recommendations regarding the technological parameters of the process

are followed, the necessary chemical composition of the deposited metal is achieved already in the second layer.

**Key words:** powder wire, chemical composition, deposition step, amplification factor.

**Kassov Valeriy**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Machine Building Donbas State Engineering Academy, Blvd. Mashinobudivnikiv 34, Kramatorsk, 84313, Ukraine, tel. +38 098-816-07-53, [kassovvd@gmail.com](mailto:kassovvd@gmail.com).

**Berezshna Olena**, Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Department of Industrial Process Automations, Donbas State Engineering Academy, Blvd. Mashinobudivnikiv 34, Kramatorsk, 84313, Ukraine, tel. +38 098-815-88-65, [elena.kassova07@gmail.com](mailto:elena.kassova07@gmail.com).

**Berezshniy Maxim**, Graduate Student, Department of Computerized Mechatronic Systems, Tools and Technology, Donbas State Engineering Academy, Blvd. Mashinobudivnikiv 34, Kramatorsk, 84313, Ukraine, tel. +38 066-729-13-43, [berezhnoymaxim@gmail.com](mailto:berezhnoymaxim@gmail.com).

**Rovenskiy Sergiy**, Graduate Student, Department of Industrial Process Automations, Donbas State Engineering Academy, Blvd. Mashinobudivnikiv 34, Kramatorsk, 84313, Ukraine.

---