

ВПЛИВ АМПЛІТУДИ І ЧАСТОТИ КОЛИВАНЬ ЕЛЕКТРОДНОГО ДРОТУ ПРИ ДУГОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ НА ФОРМУВАННЯ І СТРУКТУРУ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ І ПРОПЛАВЛЕННЯ ОСНОВНОГО МЕТАЛУ

А.А. Бабінець, І.О. Рябцев, І.П. Лентюгов, І.І. Рябцев, Т.В. Кайда, І.Л. Богайчук

ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Вивчено вплив амплітуди і частоти коливань електродного дроту при дуговому наплавленні на формування наплавлених валиків, характер проплавлення основного металу, а також на структурну і хімічну неоднорідність в зоні з'єднання наплавленого і основного металів. Встановлено, що при збільшенні частоти коливань електродного дроту, при однаковій амплітуді коливань і швидкості наплавлення відбувається поліпшення формування наплавленого металу і перемішування шарів в наплавленому металі; утворення більш дисперсної структури; зменшення ширини перехідної зони; більш рівномірний розподіл легуючих елементів; більш рівномірне проплавлення і «згладжування» межі сплавлення наплавленого і основного металів. При цьому зазначені закономірності практично не змінюються при збільшенні амплітуди коливань. Встановлено, що найкраще формування наплавленого металу відбувається при максимальній частоті $N = 45 \text{ хв}^{-1}$ та амплітуді $A = 25 \text{ мм}$ коливань електродного дроту і швидкості наплавлення $V_n = 7 \text{ м/год}$. Бібліогр. 8, рис. 10, табл. 2.

Ключові слова: дугове наплавлення, коливання електродного дроту, амплітуда і частота коливань, проплавлення основного металу, формування наплавленого металу, структура наплавленого металу, неоднорідність структури

Велике проплавлення основного металу – один з головних недоліків дугового наплавлення. Для зменшення проплавлення основного металу і отримання широких і відносно невисоких валиків дугове наплавлення пропонується виконувати з коливаннями електродного дроту або стрічки [1–6]. У цих роботах висновки про позитивний вплив коливань електродного дроту або стрічки на величину і характер проплавлення основного металу оцінювали, в основному, на поперечних шліфах наплавлених валиків, не досліджувався також вплив коливань електродного дроту на структурну неоднорідність наплавленого металу.

Однак, якщо враховувати факт безпосереднього впливу дуги на основний метал в процесі поперечних коливань електродного дроту і її переміщення в поздовжньому напрямку, слід очікувати, що характер проплавлення в поздовжньому і поперечному перетинах наплавлених валиків може змінюватися. Цей факт необхідно враховувати при розробці технологій наплавлення деталей, які експлуатуються не тільки в умовах різних видів зношування, але й циклічних навантажень, тому що нерівномірне проплавлення може привести до зниження їх стійкості, а також втомної довговічності при циклічних механічних та термічних навантаженнях [7, 8].

Аналіз показує, що в цьому випадку, якщо не враховувати електричні показники режиму наплавлення, основний вплив на проплавлення основного металу, формування і структуру наплавлених валиків

надають амплітуда і частота коливань електродного дроту або стрічки, а також швидкість наплавлення. Ці три характеристики взаємопов'язані, і при зміні однієї з них, для отримання якісних наплавлених валиків, необхідно коригувати дві інших.

Таким чином, метою експериментів було дослідження впливу частоти і амплітуди коливань електродного дроту при дуговому наплавленні, а також швидкості наплавлення на формування наплавленого металу, глибину і характер проплавлення основного металу, його частку в наплавленому металі і на структуру наплавленого металу. Дослідження проводилися на поздовжніх і поперечних шліфах наплавлених валиків.

У якості модельного використовувався порошковий дріт типу ПП-Нп-30Х20МН діаметром 2,6 мм. Наплавлення виконувалося під флюсом АН-26П. Режим наплавлення: струм 280...320 А; напруга 30...32 В; швидкість наплавлення 7 і 10 м/год; частота коливань $N = 18; 28; 32$ та 45 хв^{-1} ; амплітуда коливань $A = 25$ та 40 мм . Всього для досліджень було наплавлено 8 зразків.

З наплавлених валиків (рис. 1, 2) були обрізані початок і кратерна частина. З решти були вирізані поздовжні і поперечні макрошліфи для визначення розмірів валиків, проплавлення основного металу і його частки в наплавленому металі γ_0 (ЧОМ) (табл. 1), а також для дослідження макро- і мікро-структури наплавлених валиків.

$$\gamma_0 = \frac{F_0}{F_0 + F_n} \cdot 100\%,$$

Бабінець А.А. – <https://orsid.org/0000-0003-4432-8879>, Рябцев І.О. – <https://orsid.org/0000-0001-7180-7782>,

Лентюгов І.П. – <https://orsid.org/0000-0001-8474-6819>, Рябцев І.І. – <https://orsid.org/0000-0001-7550-1887>

© А.А. Бабінець, І.О. Рябцев, І.П. Лентюгов, І.І. Рябцев, Т.В. Кайда, І.Л. Богайчук, 2020

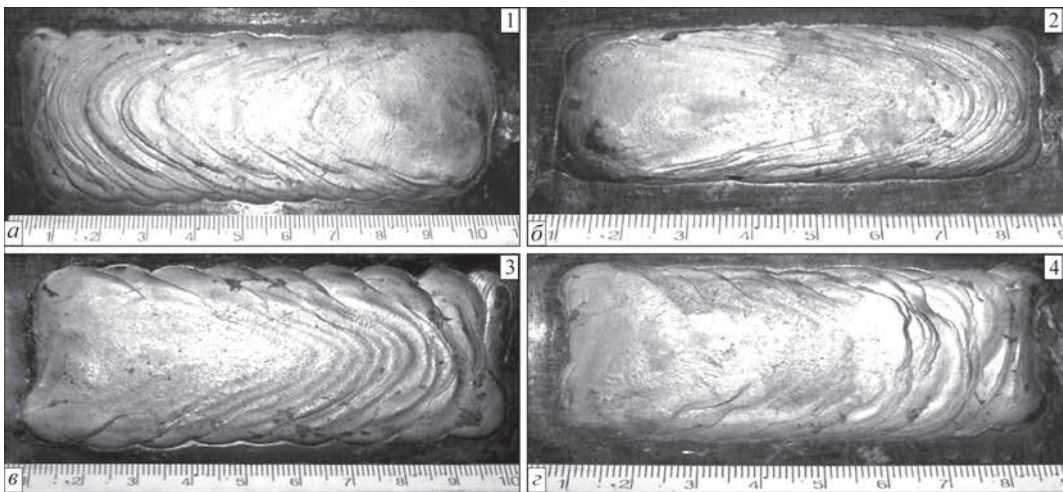


Рис. 1. Зовнішній вигляд валиків, наплавлених на швидкості $V_n = 7$ м/год; а – зразок 1: $A = 25$ мм; $N = 28$ хв⁻¹; б – зразок 2: $A = 25$ мм; $N = 45$ хв⁻¹; в – зразок 3: $A = 40$ мм; $N = 18$ хв⁻¹; г – зразок 4: $A = 40$ мм; $N = 32$ хв⁻¹ (нумерацію зразків див. табл. 1).

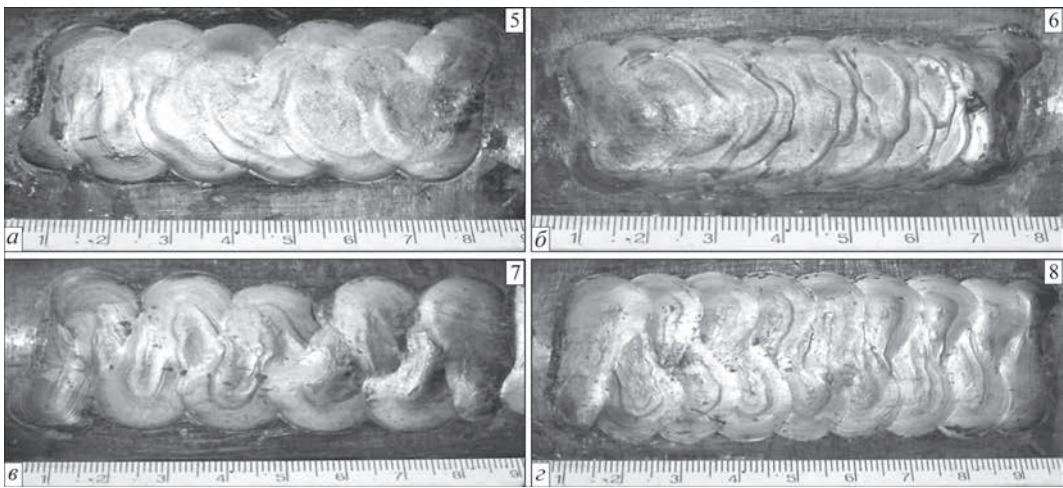


Рис. 2. Зовнішній вигляд валиків, наплавлених на швидкості $V_n = 10$ м/год; а – зразок 5: $A = 25$ мм; $N = 28$ хв⁻¹; б – зразок 6: $A = 25$ мм; $N = 45$ хв⁻¹; в – зразок 7: $A = 40$ мм; $N = 18$ хв⁻¹; г – зразок 8: $A = 40$ мм; $N = 32$ хв⁻¹ (нумерацію зразків див. табл. 1).

де F_o та F_n – площі перетину розплавленого основного і наплавленого металів, відповідно.

Мінімальна ЧОМ на рівні 37...39 % відзначена в зразках №№ 1 та 2, глибина проплавлення – 1,6...1,7 мм. Менша величина проплавлення 1,4...1,5 мм відзначена в зразках №№ 7 та 8, однак ЧОМ у цих зразках знаходиться на рівні 49...50 % (табл. 1).

За сукупною оцінкою розмірів наплавлених валиків, глибині проплавлення і ЧОМ оптимальним був визнаний наступний режим: швидкість наплав-

лення 7 м/год, амплітуда коливань електродного дроту $A = 25$ мм, частота його коливань $N = 45$ хв⁻¹ (табл. 1, зразок 2).

На рис. 3, а, б, д, е наведено фото макрошліфів, вирізаних поперек, а на рис. 3, в, г, ж, з – уздовж поздовжньої осі валиків, наплавлених на швидкості 7 м/год. Відповідно, на рис. 4, а, б, д, е наведено фото макрошліфів, вирізаних поперек, а на рис. 4, в, г, ж, з – уздовж поздовжньої осі валиків, наплавлених на швидкості 10 м/год.

Таблиця 1. Вплив режиму наплавлення на геометричні розміри валиків

Номер зразка	Коливання		Швидкість наплавлення, м/год	Розміри валиків, мм			ЧОМ, %
	Амплітуда A , мм	Частота N , хв ⁻¹		Ширина	Висота	Глибина проплавлення	
1	25	28	7	38,8	3,4	1,7	39
2*	25	45	7	36,4	2,95	1,6	37
3	40	18	7	46,8	2,05	1,8	54
4	40	32	7	47,0	1,8	1,5	50
5	25	28	10	37,5	1,9	1,8	55
6	25	45	10	35,8	2,7	1,5	52
7	40	18	10	42,6	2,1	1,5	50
8	40	32	10	44,7	1,5	1,4	49

*Зразок, наплавлений на режимі, який забезпечує оптимальний результат.

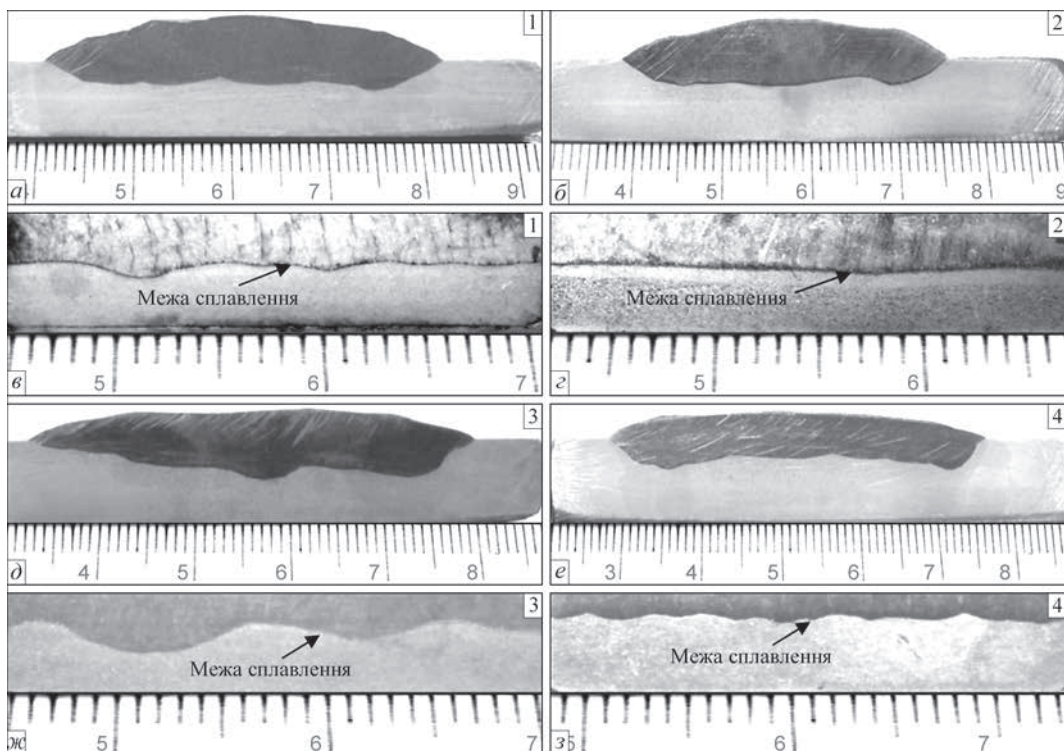


Рис. 3. Поперечні (а, б, д, е) та поздовжні (в, з, ж, з) макрошліфи зразків, наплавлених на швидкості 7 м/год: а, в – зразок 1: $A = 25$ мм; $N = 28$ хв⁻¹; б, з – зразок 2: $A = 25$ мм; $N = 45$ хв⁻¹; д, ж – зразок 3: $A = 40$ мм; $N = 18$ хв⁻¹; е, з – зразок 4: $A = 40$ мм; $N = 32$ хв⁻¹ (нумерацію зразків див. табл. 1).

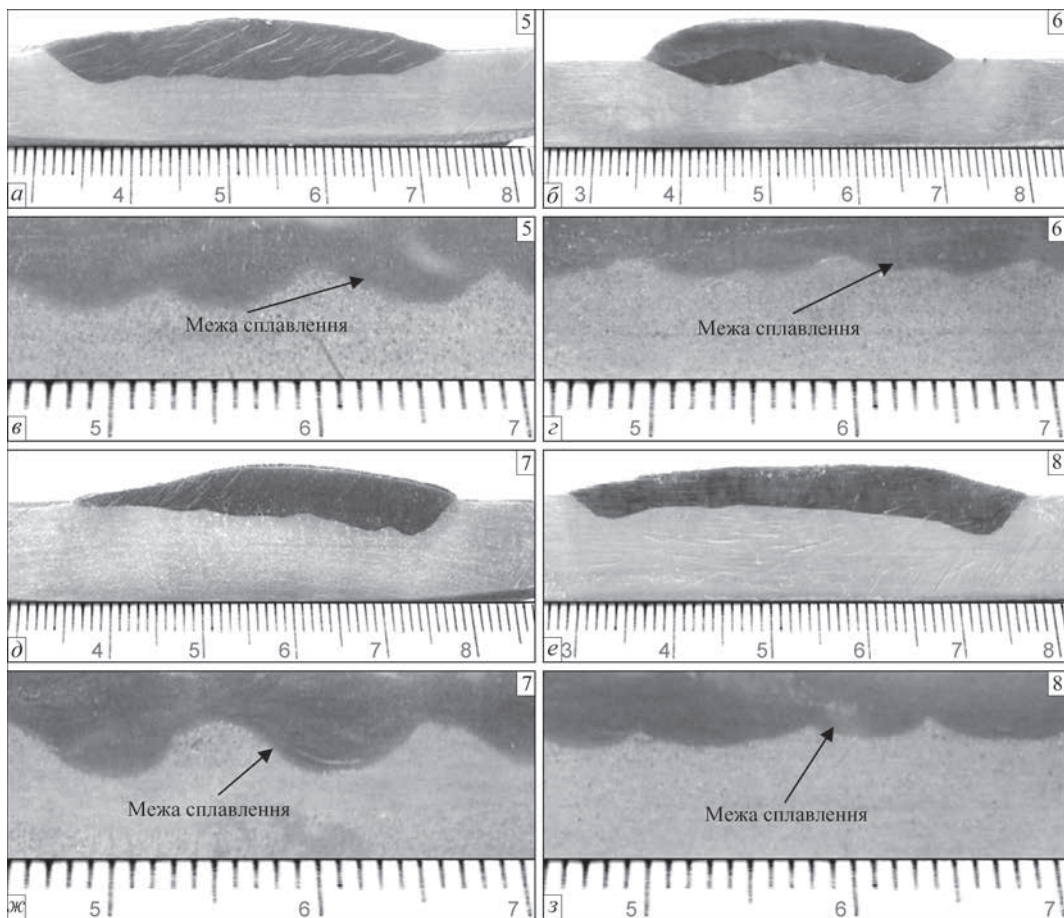


Рис. 4. Поперечні (а, б, д, е) та поздовжні (в, з, ж, з) макрошліфи зразків, наплавлених на швидкості 10 м/год: а, в – зразок 5: $A = 25$ мм; $N = 28$ хв⁻¹; б, з – зразок 6: $A = 25$ мм; $N = 45$ хв⁻¹; д, ж – зразок 7: $A = 40$ мм; $N = 18$ хв⁻¹; е, з – зразок 8: $A = 40$ мм; $N = 32$ хв⁻¹ (нумерацію зразків див. табл. 1).

Якщо аналізувати поздовжні макрошліфи, то при швидкості наплавлення 7 м/год підвищення частоти коливання електродного дроту сприяє отриманню більш рівномірного проплавлення і більш плавної межі сплавлення наплавленого і основного металів (рис. 3, з, з). При цьому найбільш рівна межа сплавлення досягається при амплітуді коливань 25 мм і максимальній частоті 45 хв⁻¹ (рис. 3, з; табл. 1, зразок 2).

Макрошліфи поперечних перетинів валиків, наплавлених на швидкості 7 м/год з різними показниками коливань, мало відрізняються один від іншого. Варто тільки відзначити макрошліф рис. 3, е (зразок 4), який характеризується мінімальним проплавленням – 1,5 мм.

При збільшенні швидкості наплавлення до 10 м/год отримати рівномірне проплавлення уздовж наплавлених валиків не вдалося ні при одній частоті і амплітуді коливань електродного дроту (рис. 4, в, з, ж, з). При цьому при напавленні на більш високій швидкості (10 м/год), підвищення частоти коливання електродного дроту також сприяє отриманню більш рівномірного проплавлення і більшої «плавності» лінії сплавлення (рис. 4, з, з). Проте цей вплив менше, ніж при швидкості наплавлення 7 м/год.

Як і на швидкості 7 м/год, нерівномірне проплавлення спостерігається і на макрошліфах, вирізаних поперек валиків, наплавлених на швидкості 10 м/год (рис. 4, б, д, е: зразки 6, 7, 8).

Напавлений метал зразка 1 ($V_n = 7$ м/год; $A = 25$ мм; $N = 28$ хв⁻¹) має дендритну мікроструктуру

(рис. 5, а). У приповерхневих шарах наплавленого металу переважає комірчаста кристалізація, із середнім діаметром комірок 60...80 мкм. Твердість матричної основи становить $HV1 = 5420...6060$ МПа (мартенсит, остаточний аустеніт, карбіди). По межах кристалітів відбувається виділення ланцюжків частинок глобулярної форми (рис. 5, б).

Кристалізація наплавленого металу зразка 2 ($V_n = 7$ м/год; $A = 25$ мм; $N = 45$ хв⁻¹) – дендритно-комірчаста з переважанням комірчастої (рис. 5, в), із середнім діаметром комірок 30...40 мкм. У лінії сплавлення з основним металом кристалізація набуває дендритний характер. Ширина кристалітів в цій області становить 70...90 мкм. Твердість матричної основи $HV1 = 4880...5480$ МПа. По межах кристалітів, як і в зразку № 1, виділяється надлишкова фаза у вигляді глобулярних дисперсних частинок (рис. 5, з). Ширина ЗТВ становить 3600 мкм.

Мікроструктура наплавленого металу зразка 3 ($V_n = 7$ м/год; $A = 40$ мм; $N = 18$ хв⁻¹) – дендритно-комірчаста з переважанням комірчастої (рис. 6, а, б). Середній діаметр комірок – 50...60 мкм. Твердість матричної основи $HV1 = 6060...6130$ МПа. У лінії сплавлення з боку наплавленого металу спостерігається мартенситна гряда. Мартенсит в цій зоні утворюється у вигляді великих голок. Ширина кристалітів у лінії сплавлення 70...80 мкм. Ширина ЗТВ – 2100 мкм.

Напавлений метал зразка 4 ($V_n = 7$ м/год; $A = 40$ мм; $N = 32$ хв⁻¹) також має дендритно-комірчасту структуру, з переважанням на поверх-

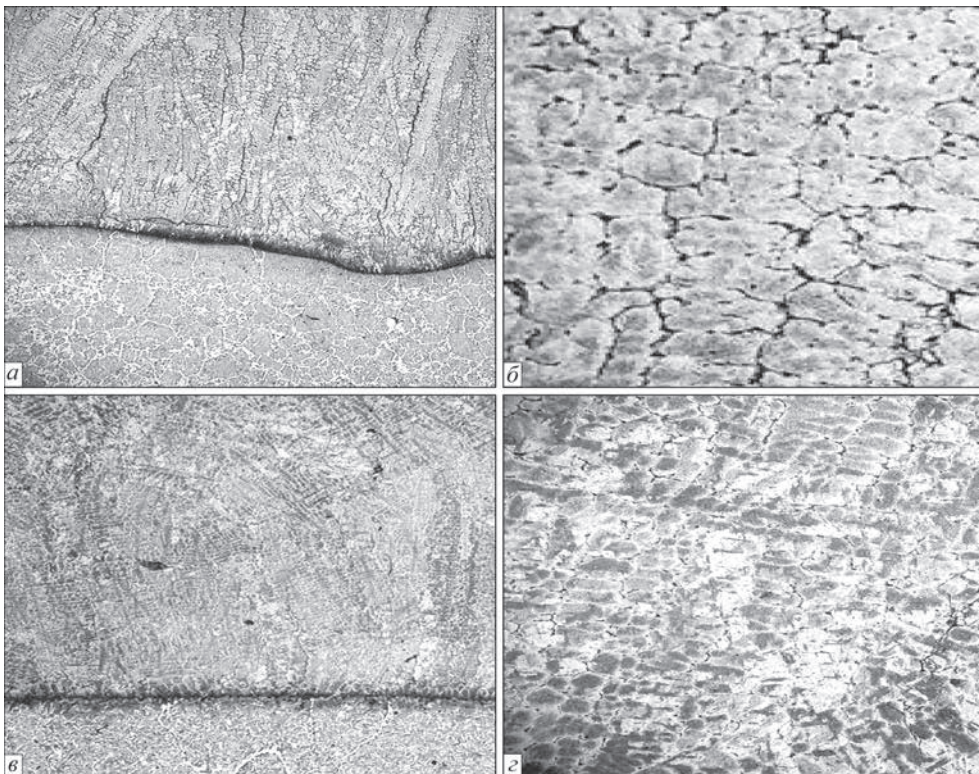


Рис. 5. Мікроструктура наплавленого металу зразків 1 (а, б) і 2 (в, з): а, в – зона сплавлення, $\times 20$; б, з – напавлений метал, $\times 100$. Травлення електролітичне в хромовій кислоті. $U_{xx} = 20$ В; $t = 3...5$ с (нумерацію зразків див. табл. 1).

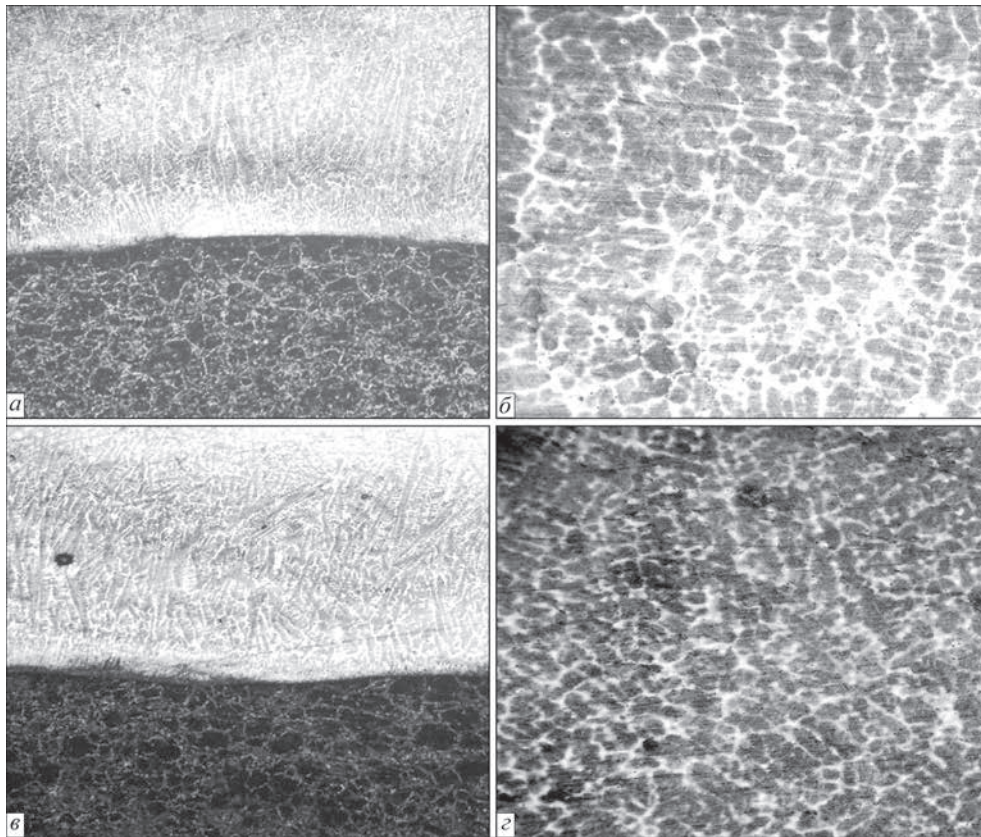


Рис. 6. Мікроструктура наплавленого металу зразків 3 (а, б) і 4 (в, г): а, в – зона сплавлення, $\times 20$; б, г – наплавлений метал, $\times 100$. Травлення електролітичне в хромовій кислоті. $U_{xx} = 20$ В; $t = 3 \dots 5$ с (нумерацію зразків див. табл. 1).

ні комірчастої форми. Діаметр комірок становить $40 \dots 50$ мкм (рис. 6, б, в). У лінії сплавлення – дендритна структура, ширина кристалітів в цій області – $60 \dots 80$ мкм. Твердість всередині кристалічної основи в даному зразку нижче, ніж у зразку 3 і становить $HV1 = 5140 \dots 5420$ МПа. Ширина ЗТВ – 1800 мкм.

Дослідження мікроструктури зразка 5 ($V_n = 10$ м/год; $A = 25$ мм; $N = 28$ хв $^{-1}$), показали, що вона має дендритну структуру (рис. 7, а, б). У приповерхневих шарах наплавленого металу переважає комірчаста кристалізація, із середнім діаметром комірок $60 \dots 80$ мкм. Твердість матричної основи становить $HV1 = 6860$ МПа. По межах кристалітів відбувається виділення частинок глобулярної форми. Діаметр комірок у верхній частині наплавленого металу $15 \dots 20$ мкм; ширина кристалітів $h_{кріст} = 15 \dots 25$ мкм, ЗТВ – 1200 мкм. По межах кристалітів спостерігаються виділення інтерметалідів або карбідів.

Мікроструктура зразка 6 ($V_n = 10$ м/год; $A = 25$ мм; $N = 45$ хв $^{-1}$) наведена на рис. 7, в, г. Вона також має дендритну структуру, з комірчастою кристалізацією в приповерхневих шарах. Діаметр комірок $25 \dots 35$ мкм; ширина кристалітів $h_{кріст} = 25 \dots 50$ мкм, ЗТВ – $800 \dots 900$ мкм. По межах кристалітів і комірок присутні виділення інтерметалідів або карбідів. Мікротвердість $HV1 = 6810$ МПа в світлому шарі та $HV1 = 6340$ МПа в темному шарі.

Дослідження мікроструктури зразка 7 ($V_n = 10$ м/год; $A = 40$ мм; $N = 18$ хв $^{-1}$), показали, що вона має дендритно-комірчасту структуру (рис. 8, а, б). Діаметр комірок $40 \dots 60$ мкм; ширина кристалітів $h_{кріст} = 40 \dots 60$ мкм, ЗТВ – $1000 \dots 1200$ мкм. Мікротвердість – $HV1 = 6420$ МПа. Є виділення по границях кристалітів та комірок, але їх набагато менше, ніж в зразках 5 та 6, наведених на рис. 7.

Мікроструктура наплавленого металу зразка 8 ($V_n = 10$ м/год; $A = 40$ мм; $N = 32$ хв $^{-1}$) дендритно-комірчаста (рис. 8, в, г). Діаметр комірок $15 \dots 30$ мкм; ширина кристалітів $h_{кріст} = 30 \dots 40$ мкм, ЗТВ – $600 \dots 800$ мкм. Виявлено хімічну неоднорідність по всій поверхні наплавленого металу. Є виділення по границях кристалітів і комірок. Мікротвердість в світлому шарі – $HV1 = 6060 \dots 6130$ МПа; в ділянці неоднорідності – $HV1 = 4840$ МПа.

Методами мікрорентгеноспектрального, рентгеноструктурного та металографічного аналізів досліджена хімічна і структурна неоднорідність наплавленого металу. Запис лінійного розподілу легуючих елементів проводили на відстані $600 \dots 700$ мкм від поверхні наплавленого шару. На (рис. 9, а–г), в якості прикладу, наведено криві розподілу Fe та Cr в перехідній зоні зразків 1 і 2.

Порівняльний аналіз показав, що протяжність перехідної зони зменшується при збільшенні частоти коливань. Так, при частоті коливань 28 хв $^{-1}$ ширина

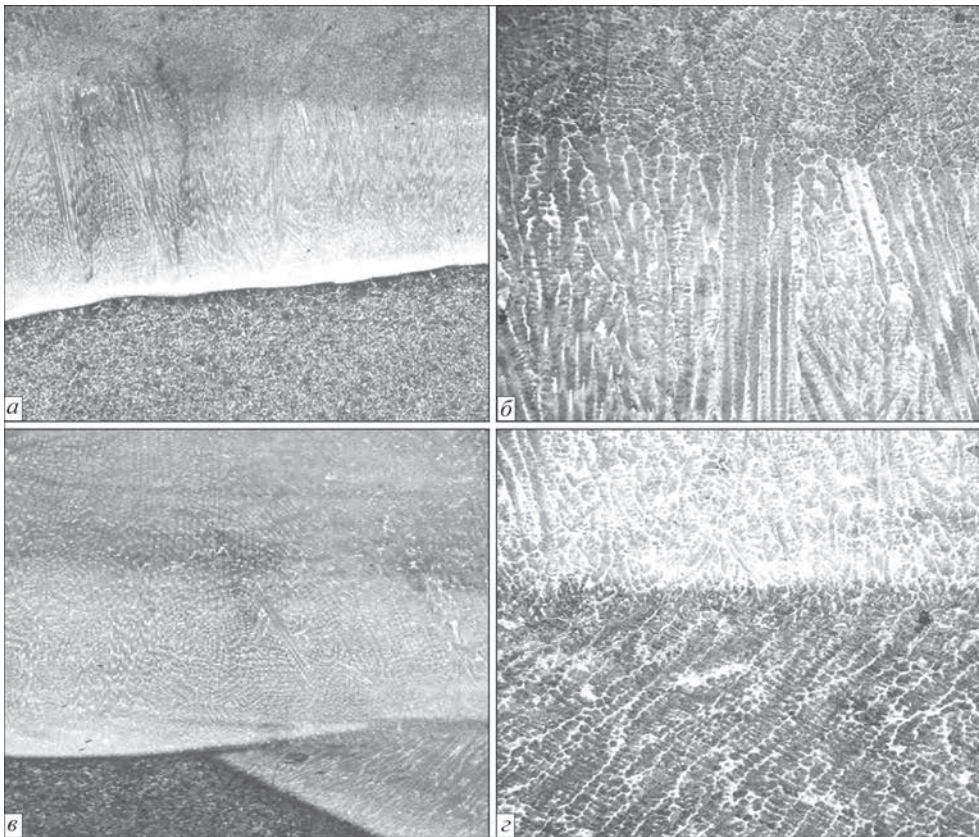


Рис. 7. Мікроструктура наплавленого металу зразків 5 (а, б) і 6 (в, з): а, в – зона сплавлення, $\times 20$; б, з – наплавлений метал, $\times 100$. Травлення електролітичне в хромовій кислоті. $U_{xx} = 20$ В; $t = 3 \dots 5$ с (нумерацію зразків див. табл. 1).

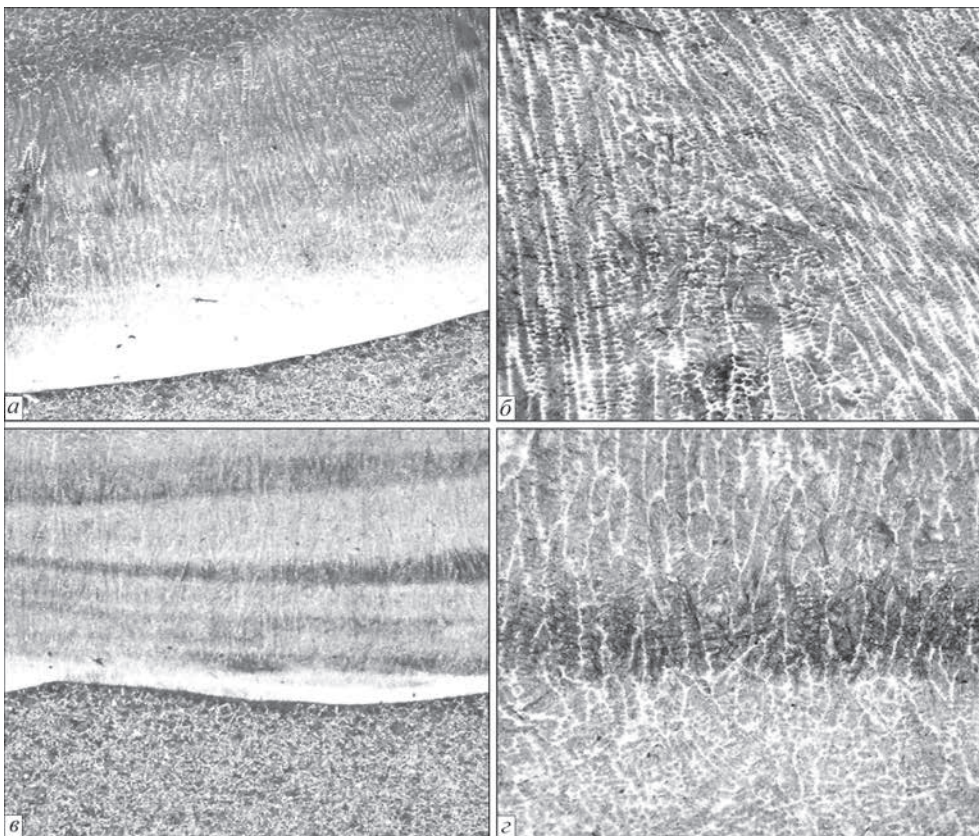


Рис. 8. Мікроструктура наплавленого металу зразків 7 (а, б) і 8 (в, з): а, в – зона сплавлення, $\times 20$; б, з – наплавлений метал, $\times 100$. Травлення електролітичне в хромовій кислоті. $U_{xx} = 20$ В; $t = 3 \dots 5$ с (нумерацію зразків див. табл. 1).

перехідної зони складає близько $35 \dots 40$ мкм, а при частоті $45 \text{ хв}^{-1} - 20 \dots 25$ мкм (табл. 2, зразки 1 і 2). Аналогічні результати отримано при аналізі мікроструктури наплавлених валиків зразків 1–8 (див. вище).

Таблиця 2. Вплив режиму наплавлення з коливаннями дроту на мікроструктуру та мікронеоднорідність наплавленого металу зразків 1–8 (див. табл. 1)

Номер зразка	Режими наплавлення			Параметри мікроструктурного стану			Хімічна мікронеоднорідність по Cr та Mo			
	V_n , м/ч	A , мм	N , мин ⁻¹	$D_{\text{комірки}}$, мкм	Ширина перехідної зони, мкм	Мікротвердість HV_1 , МПа	$Cr_{\text{max}}/Cr_{\text{min}}$		$Mo_{\text{max}}/Mo_{\text{min}}$	
1	7	25	28	60...80/90...120	35...40	5420...6060	4,5/3,4	1,32	0,32/0,25	1,28
2*	7	25	45	30...40/70...90	20...25	5420...5480	4,8/3,9	1,23	0,40/0,33	1,21
3	7	40	18	50...60/70...80	30...35	6060...6130	3,4/2,3	1,47	0,42/0,32	1,31
4	7	40	32	40...50/60...80	15...20	5140...5400	3,1/2,2	1,41	0,35/0,28	1,25
5	10	25	28	25...35/25...50	35...40	6800	4,2/3,1	1,35	0,41/0,30	1,36
6	10	25	45	15...20/15...25	20...25	6700...6800	4,6/3,2	1,44	0,38/0,30	1,26
7	10	40	18	40...60/40...60	30...35	6400...6300	3,8/2,9	1,31	0,42/0,34	1,23
8	10	40	32	15...30/30...40	15...20	6340...6810	3,5/2,4	1,46	0,34/0,28	1,21

*Зразок, наплавлений на оптимальному режимі.

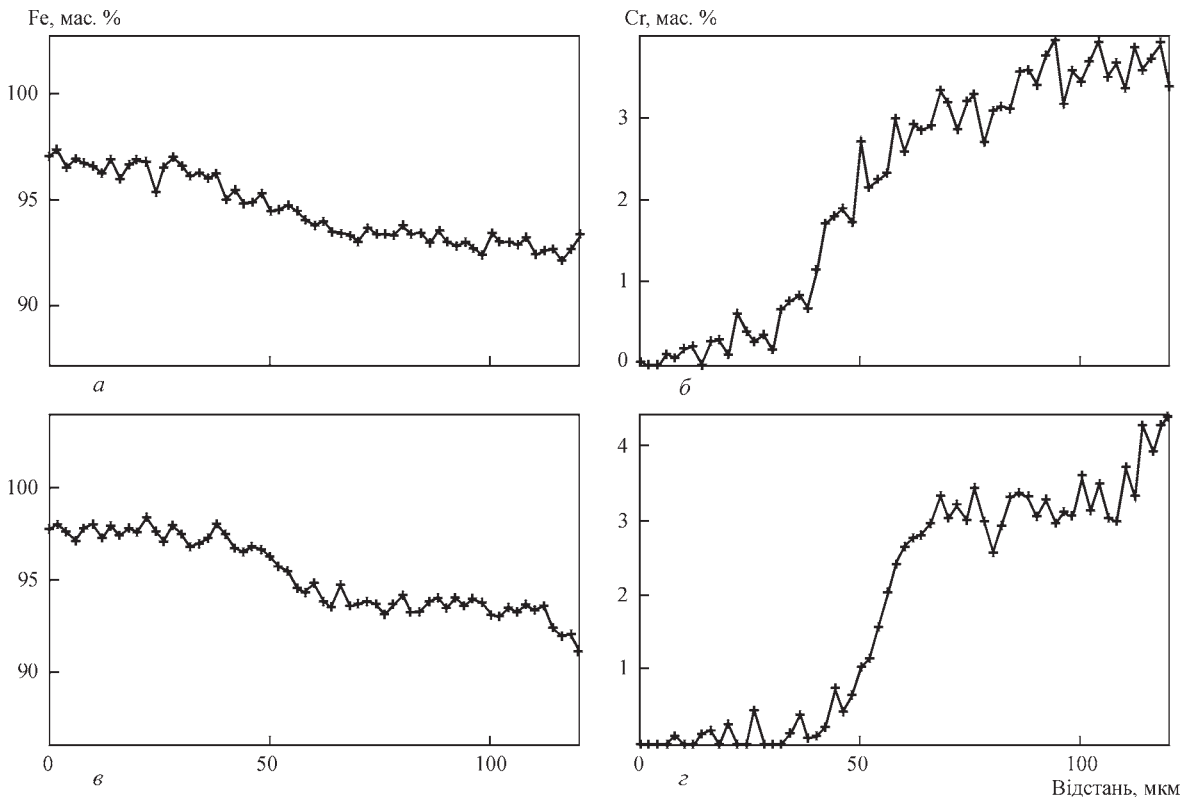


Рис. 9. Розподіл Fe (а, в) та Cr (б, г) у перехідній зоні зразка 1 (а, б) і зразка 2 (в, г).

Зона сплавлення має плавний концентраційний перехід, хімічна мікронеоднорідність наплавленого металу відносно незначна і становить по хрому – $Cr_{\text{max}}/Cr_{\text{min}} = 1,20...1,46$; по молібдену $Mo_{\text{max}}/Mo_{\text{min}} = 1,21...1,31$. Підвищення частоти коливань електродного дроту сприяє отриманню дисперсної структури, більш рівномірному розподілу легуючих елементів, більш «згладженої» лінії сплавлення наплавленого і основного металів, а також поліпшенню перемішування шарів у наплавленому металі. Твердість матричної основи становить 5140...6060 МПа. В наплавлених зразках виявлено карбіди типу Cr_7C_3 , Fe_3C та інтерметаліди типу $Mo_5Cr_6Fe_{18}$ (рис. 10).

При підвищенні швидкості наплавлення до 10 м/год спостерігається приблизно така ж картина (табл. 2, зразки 5–8). В цьому випадку збіль-

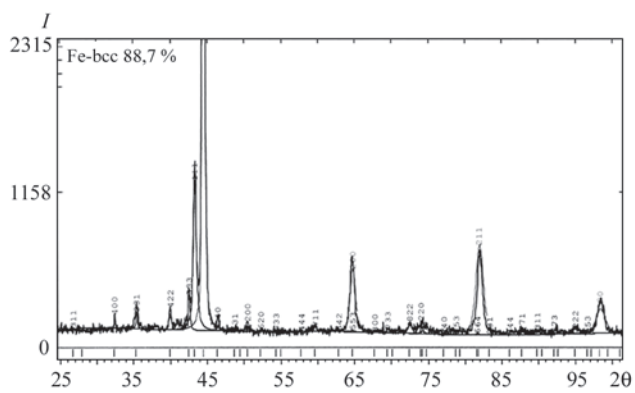


Рис. 10. Фазовий склад наплавленого металу зразка 2: Fe-bcc – 88,39 %; Fe-fcc – 8,11 %; Fe_3Mo_3C – 3,00 %; Cr_7C_3 – залишок
швидкості коливань знижує ширину перехідної зони, хімічна неоднорідність наплавленого металу становить по хрому $Cr_{\text{max}}/Cr_{\text{min}} = 1,31...1,46$; по мо-

лібдену – $Mo_{\max}/Mo_{\min} = 1,21 \dots 1,36$. Твердість матричної основи в цьому випадку дещо вища і складає 6340...6810 МПа.

Висновки

1. При збільшенні частоти коливань електродного дроту при однаковій амплітуді і швидкості наплавлення відбувається:

- поліпшення формування наплавленого металу;
- поліпшення перемішування шарів у наплавленому металі; утворення більш дисперсної структури;
- зменшення ширини перехідної зони;
- більш рівномірний розподіл легуючих елементів;
- більш рівномірний характер проплавлення і «згладжування» межі сплавлення наплавленого і основного металів.

При цьому слід зазначити, що ці закономірності практично не змінюються при збільшенні амплітуди коливань.

2. Встановлено, що найкраще формування наплавленого металу, найбільш плавне і рівномірне проплавлення спостерігається при частоті коливань електродного дроту $N = 45 \text{ хв}^{-1}$, амплітуді коливань електродного дроту $A = 25 \text{ мм}$ і швидкості наплавлення $V_{\text{н}} = 7 \text{ м/год}$.

Робота виконана у рамках комплексної програми НАН України «Проблеми ресурсу та безпечної експлуатації конструкцій, споруд і машин» у 2016–2020 рр.

Список літератури

1. Данильченко Б. В., Шимановский В. П., Ворончук А. П., Терпило В. Н. (1989) Наплавка быстроизнашивающихся деталей самозащитными порошковыми лентами. *Автоматическая сварка*, **5**, 38–41.
2. Жудра А. П., Ворончук А. П., Фомакин А. А., Великий С. И. (2009) Новое оборудование для наплавки конусов и чаш засыпных аппаратов. *Там же*, **9**, 57–59.
3. Жудра А. П., Кривчиков С. Ю., Петров В. В. (2010) Технология широкослойной наплавки крупногабаритных коленчатых валов. *Там же*, **2**, 41–45.

4. Гулаков С. В., Бурлака В. В. (2010) Механизм колебания электрода для формирования наплаваемых валков сложной формы. *Вестник Приазовского государственного технического университета. Технические науки*, **20**, 181–186.
5. Спиридонов Н. В., Кудина А. В., Кураш В. В. (2013) Электродуговая наплавка металлоповерхностей колеблющимся электродом в среде защитного газа. *Наука и техника*, **4**, 3–8.
6. Голобородько Ж. Г., Драган С. В., Симутенков И. В. (2013) Автоматическая наплавка под флюсом конструкционных сталей с поперечными высокочастотными перемещениями электрода. *Автоматическая сварка*, **6**, 35–38.
7. Бабинцев А. А., Рябцев И. А., Кондратьев И. А. и др. (2014) Исследование термической стойкости наплавленного металла, предназначенного для восстановления прокатных валков. *Там же*, **5**, 17–21.
8. Рябцев И. А., Бабинцев А. А. (2015) Усталостная долговечность многослойных наплавленных образцов. *Сварочное производство*, **4**, 15–19.

References

1. Danilchenko, B.V., Shimanovsky, V.P., Voronchuk, A.P., Terpilko, V.N. (1989) Hard-facing of rapidly wearing parts by self-shielded flux-cored strips. *Avtomatich. Svarka*, **5**, 38–41 [in Russian].
2. Zhudra, A.P., Voronchuk, A.P., Fomakin, A.A., Veliky, S.I. (2009) New equipment for hard-facing of charging device bells and cups. *The Paton Welding J.*, **9**, 44–46.
3. Zhudra, A.P., Krivchikov, S.Yu., Petrov, V.V. (2010) Technology for wide-layer hard-facing of crankshafts. *Ibid.*, **2**, 32–35.
4. Gulakov, S.V., Burlaka, V.V. (2010) Mechanism of electrode oscillation for formation of deposited beads of complex shape. *Vestnik Priazov. GTU. Tekhnicheskie Nauki*, **20**, 181–186 [in Russian].
5. Spiridonov, N.V., Kudina, A.V., Kurash, V.V. (2013) Electric arc shielded-gas hard-facing of metal surfaces with oscillating electrode. *Nauka i Tekhnika*, **4**, 3–8 [in Russian].
6. Goloborodko, Zh.G., Dragan, S.V., Simutenkov, I.V. (2013) Automatic submerged-arc surfacing of structural steels with transverse high-frequency movements of electrode. *The Paton Welding J.*, **6**, 34–37.
7. Babinets, A.A., Ryabtsev, I.A., Kondratiev, I.A. et al. (2014) Investigation of thermal resistance of deposited metal designed for restoration of mill rolls. *Ibid.*, **5**, 16–20.
8. Ryabtsev, I.A., Babinets, A.A. (2015) Fatigue life of multilayer deposited specimens. *Svarochn. Proizvodstvo*, **4**, 15–19 [in Russian].

INFLUENCE OF AMPLITUDE AND FREQUENCY OF OSCILLATIONS OF ELECTRODE WIRE IN ARC SURFACING ON THE FORMATION AND STRUCTURE OF THE DEPOSITED METAL AND PENETRATION OF BASIC METAL

A.A. Babinets, I.O. Ryabtsev, I.P. Lentuygov, I.I. Ryabtsev, T.V. Kayda, I.L. Bogaychuk

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

The influence of the amplitude and frequency of oscillations of the electrode wire during arc surfacing on the formation of deposited beads, nature of the base metal penetration, as well as structural and chemical heterogeneity in the area of the joint of deposited and base metals were studied. It was established that with an increase in the frequency of oscillations of the electrode wire, at the same amplitude of oscillations and the rate of surfacing, an improvement in the formation of the deposited metal and mixing of the layers in the deposited metal; formation of a more dispersed structure; reducing the width of the transition zone; more uniform distribution of alloying elements; more uniform melting and «smoothing» of the fusion boundary of the deposited and base metals occur. The mentioned regularities almost do not change with an increase in the amplitude of oscillations. It was established that the best formation of the deposited metal occurs at the maximum frequency $N = 45 \text{ min}^{-1}$ and the amplitude $A = 25 \text{ mm}$ of oscillations of the electrode wire and the surfacing rate $V_s = 7 \text{ m/h}$. 8 Ref., 2 Tabl., 10 Fig.

Keywords: arc surfacing, electrode wire oscillations, amplitude and frequency of oscillations, base metal penetration, deposited metal formation, deposited metal structure, structure heterogeneity

Надійшла до редакції 09.09.2020