

the melt to the solid phase (substrate), that is, as a diffusion process. In this case, the crystallization process is treated as periodic, with stops during the release of the latent heat of crystallization. At the boundary of the solid metal of the bath with its liquid metal, a thin solid-liquid layer is formed, in which diffusion processes develop (movement of atoms from the melt to the solid metal of the crystallized weld. This approach is used in all works devoted to the study of the action of magnetic fields (MF) in arc welding on the weld structure grinding. At the same time, the cluster mechanism of the crystallization process is widely used in the literature in the field of foundry and metallurgical production to explain the properties of ingots. There are similarities between the metal crystallization processes in the welding bath and the ingot crystallization processes. By diffraction of X-rays, electrons, and neutrons reflected from liquid metals and alloys (including iron-based ones), it has been established that crystal-like clusters are present in the liquid. According to the literature, one cluster of liquid metal (an alloy based on iron) contains about $10^2 \dots 10^3$ atoms. Clusters arise when crystalline bodies melt. Clusters are short-lived but fairly stable groups of atoms. There is a softened zone around the clusters (that is, liquid metal atoms). The volume of the softened zone is for many rare metals and alloys about 2 ... 5 % and iron-based alloys - up to 28 %. The softened zone is an intermediate medium. In our opinion, these representations can be used to describe the crystallization process of welds in arc welding of metals and alloys, including under the action of control magnetic fields. This is as follows: the liquid metal in the head of the bath has a higher temperature (up to about 1000 ° C) and smaller clusters than in the tail of the bath, where the clusters are larger (and where the metal crystallizes). Under the action of alternating electromagnetic forces of the controlling magnetic fields, the liquid metal periodically (forcibly) moves into the tail of the bath, supplying smaller clusters and this ensures the formation of smaller grains during crystallization in the weld (under the action of the controlling magnetic field).

Keywords: arc welding, magnetic field, crystallization, cluster.

Стаття надійшла 13.04.2021 р.

УДК 621.791.75

doi.org/10.31498/2522-9990242021249000

Размишляев О. Д., Агеева М. В., Видмиш П. О.

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПОПЕРЕЧНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ПЕРЕМІШУВАННЯ МЕТАЛУ В ВАННІ ПРИ ДУГОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ

Для підвищення ефективності процесу дугового наплавлення перспективним є використання керуючих зовнішніх магнітних полів. При дуговому наплавленні (зварюванні) доцільно використовувати знакозмінні поперечні магнітні поля (ПОМП), оскільки в цьому випадку забезпечується гарне формування валиків (швів). На рідкий метал зварювальної ванни впливає знакозмінне (у вигляді імпульсів) ПОМП. Огляд літературних даних показав, що не визначені оптимальні значення індукції і частоти знакозмінного ПОМП, при яких відбувається ефективно (по всій довжині ванни) перемішування рідкого металу при електродуговому наплавленні (зварюванні) дротом під флюсом. В даній роботі розроблена розрахункова методика, яка дозволяє отримати дані про швидкість примусового руху рідкого металу ванни при дуговому наплавленні з дією керуючого знакозмінного поперечного магнітного поля і встановити оптимальні параметри цього поля для ефективного перемішування рідкого металу у зварювальній ванні. В розробленій методиці розрахунками визначали геометричні розміри зварювальних ванн на передній стінці кратеру зварювальної ванни, а інші розміри зварювальних ванн визначали експериментально. Електромагнітну силу при дії ПОМП визначали множенням

Машинобудування і зварювальне виробництво

поперечної компоненти цього поля на середнє значення щільності струму наплавлення в рідкому металі ванни на її передній стінці.

Встановлено, що при збільшенні індукції ПОМП (від 25 мТл до 100 мТл) значення частоти ПОМП збільшуються. Таким чином, для повного перемішування рідкого металу (по всій довжині хвостової частини ванни $L_{хв}$) необхідна частота ПОМП в діапазоні 1,5 – 3 Гц при рівні поперечної компоненти індукції $B_z = 25$ мТл. Якщо збільшити індукцію ПОМП до $B_y = 100$ мТл, то оптимальні значення частоти лежать в діапазоні 2,5...5,0 Гц. Ці дані рекомендуються до використання при виконанні електродугового наплавлення дротами діаметрами 3...5 мм під флюсом. постійним струмом зворотної полярності в межах 500...1000А і швидкості наплавлення в межах 10...40 м/год. При цьому буде спостерігатися подрібнення структурних складових в наплавленому металі (шві) і підвищення їх службових характеристик.

Ключові слова: дугове наплавлення, поперечне магнітне поле, індукція, частота.

Постановка проблеми. Процеси дугового наплавлення і зварювання під флюсом займають одне з найважливіших місць при з'єднанні та відновленні конструкцій у галузі машинобудування. Ефективність процесу дугового наплавлення і зварювання залежить від продуктивності розплавлення електродного дроту і проплавлення основного металу, від можливості керування процесом кристалізації рідкого металу в зварювальній ванні. Для підвищення ефективності цих процесів перспективним є використання керуючих зовнішніх магнітних полів. Найчастіше при дуговому зварюванні та наплавленні використовують поздовжні магнітні поля (ПДМП) і поперечні магнітні поля (ПОМП). При цьому спостерігається подрібнення структурних складових швів. При дії керуючого поперечного магнітного поля (ПОМП) при дуговому наплавленні також спостерігається подрібнення складових структури наплавленого металу. Є значна кількість публікацій, наприклад, [1-4], в яких встановлено, що при дуговому зварюванні з дією керуючих магнітних полів відбувається подрібнення структури металу шва (або наплавленого металу) і підвищення механічних властивостей зварних швів. При дуговому наплавленні (зварюванні) доцільно використовувати знакозмінні ПОМП, оскільки в цьому випадку забезпечується гарне формування валиків (швів). на рідкий метал зварювальної ванни впливає знакозмінне (у вигляді імпульсів) ПОМП. У зв'язку з цим є актуальним визначення взаємозв'язку між значеннями індукції і частотою знакозмінного ПОМП, які забезпечують ефективне (по всій довжині ванни) перемішування рідкого металу при електродуговому наплавленні (зварюванні) дротом під флюсом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно відомому положенню Холла-Петча [1] зменшення розмірів структурних складових металу призводить до підвищення його механічних характеристик. Автори робіт по-різному пояснюють дію магнітних полів на подрібнення структурних складових металу зварних швів, що утворюються при їх кристалізації, але всі вони відзначають, що подрібнення структурних складових в наплавленому металі (в швах) обумовлено рухом потоків рідкого металу в ванні при дії керуючих магнітних полів. В роботі [5] показано, що при дуговому наплавленні це відбувається при первинній кристалізації рідкого металу ванни, тобто за рахунок примусового переміщення рідкого металу у ванні при дії керуючих магнітних полів.

Мета роботи. Метою даної роботи є отримання оптимальних значень частоти знакозмінного поперечного магнітного поля при заданому рівні поперечної компоненти індукції поля для досягнення перемішування рідкого металу ванни по всій її довжині при дуговому наплавленні дротом під флюсом для подрібнення структурних складових у наплавленому металі.

Основні напрямки досліджень. В роботі [6] були визначені параметри ПОМП, які забезпечують перемішування рідкого металу у ванні при дуговому наплавленні дротом Св-08А

Машинобудування і зварювальне виробництво

діаметром 5 мм під флюсом АН-348А. Але дані роботи [6] про частоту знакозмінного ПОМП можуть бути занижені, оскільки площа контакту рідкого металу з твердим металом в головній частині була завищена. Це пов'язано з тим, що цю площу розраховували з використанням даних: глибина проплавлення металу - H'_{np} і ширина наплавлених валиків - $B'_в$ (див. таблицю). Але, як показано в роботах [7 - 11], в головній частині ванни розміри H_{np} і $B_в$ значно менші, ніж H'_{np} і $B'_в$, отримані після наплавлення валиків (після повної кристалізації рідкого металу зварювальної ванни). Це потребує уточнення даних про оптимальні параметри знакозмінних ПОМП, що забезпечують перемішування рідкого металу у ванні по всій її довжині.

Розрахунки оптимальних параметрів ПОМП виконували прийняв схему і розміри зварювальної ванни (і індукції B_y ПОМП вздовж вісі OY), наведену на рис. 1. На цій схемі показано, що під тиском зварювальної дуги відбувається вигин рідкого металу ванни, тобто утворюється кратер, який має розміри: $d_{кр}$ – діаметр кратеру; $h_{кр}$ – глибина кратеру. Ці показники, а також інші показники розмірів ванни, були використані в даній роботі і наведені в таблиці. Наведені в таблиці дані отримані експериментально при дуговому наплавленні постійним струмом зворотної полярності дротом Св-08А діаметром 5 мм під флюсом АН-348А на пластину ВМСтЗсп товщиною 20 мм.

Розрахунки в даній роботі виконували таким чином. В роботах [7, 8] показано, що 90 % струму зварювання (наплавлення) протікає через передню стінку кратеру ванни. Це положення було прийнято в даній роботі. Потрібно було визначити (розрахувати) середні значення осьових компонент (вздовж вісі OZ) щільності струмів на поверхні контакту зварювальної дуги з рідким металом ванни на її передній поверхні кратеру – S_1 , а також поверхні контакту рідкого металу ванни з твердим металом на передній стінці ванни – S_2 . Як і в роботах [6-8] прийняли, що лінії струму перпендикулярні поверхням S_1 і S_2 (рис. 1).

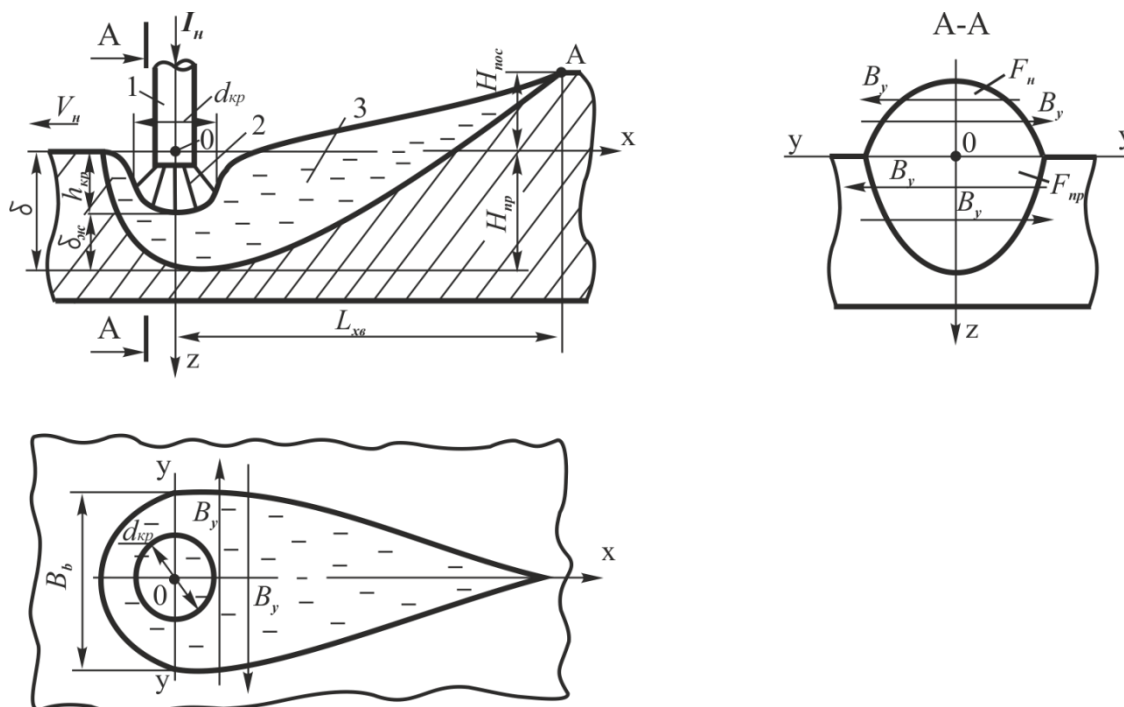


Рисунок 1 – Схема зварювальної ванни при дуговому наплавленні і основні її геометричні розміри (ПВ ПОМП умовно не показано, B_y – індукція ПОМП): 1 – електрод; 2 – зварювальний дуга; 3 – рідкий метал в зварювальної ванні 4 – виріб-пластина

Машинобудування і зварювальне виробництво

Форми реальних поверхонь S_1 і S_2 апроксимували формами половин кульових сегментів відповідно радіусами R_1 і R_2 .

Радіус R_1 розраховували згідно даним роботи [12]:

$$R_1 = \frac{(0,5d_{кр})^2 + h_{кр}^2}{2h_{кр}}, \text{ м.} \quad (1)$$

де $d_{кр}$ – діаметр кратеру, м;

$h_{кр}$ – глибина кратеру, м.

Щільність радіальної компоненти струму на поверхні S_1 :

$$j_{R1} = \frac{0,9I_H}{S_1}, \text{ А/м}^2 \quad (2)$$

де $S_1 = 2\pi R_1^2$, м².

Розрахунки геометричних розмірів зварювальних ванн в головних їх частинах (в кратерах) виконували з використанням теорії теплових процесів дугового зварювання. Була прийнята схема рухомого точкового джерела тепла на поверхні напівнескінченного тіла [9]. Розрахунок розмірів ванни виконували, виходячи з формули, прийняв $T = T_{пл}$:

$$T(R, x) = \frac{q_u}{2\pi\lambda R} e^{\frac{-V_n(x+R)}{2a}}, \quad (3)$$

де $q_u = \eta_u \cdot I_H \cdot U_d$ – ефективна потужність нагріву виробу дугою, Вт;

η_u – ефективний ККД нагріву виробу дугою, $\eta_u = 0,9$.

$T_{пл}$ – температура плавлення металу, $T_{пл} = 1773$ К;

λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К; $\lambda = 40$ Вт/м·К;

a – коефіцієнт температуропровідності; м/с²; $a = 8 \cdot 10^{-4}$ м²/с;

R, x – відповідно радіус-вектор від джерела до розглянутої точки і відстань по Ox , м;

V_n – швидкість наплавлення, м/с.

Прийняті розрахункові дані стосовно дугового наплавлення дротом діаметром 5 мм під флюсами АН-348; ЖСН-1 ($U_d = 30...32$ В) на сталеві пластини товщиною 20 мм наведені в таблиці.

Таблиця – Дані для розрахунків f ПОМП

Серія	№№ пп	I_H , А	V_H , м/ч	$L_{хв}$, 10 ⁻² м	$B'_{в}$, 10 ⁻³ м	$H'_{пр}$, 10 ⁻² , м	$\delta_{жс}$, 10 ⁻² м	$h_{кр}$, 10 ⁻² м	$d_{кр}$, 10 ⁻³ м	$B_{в}$, 10 ⁻³ м	$H_{пр}$, ·10 ⁻² , м
I_H	1	400	10	4,0	20	0,50	0,25	0,25	6,0	15	0,40
	2	500	10	5,0	23	0,65	0,32	0,32	6,5	15	0,55
	3	650	10	6,5	25	0,80	0,40	0,40	7,0	18	0,70
	4	800	10	7,0	30	1,00	0,50	0,50	8,0	20	0,85
	5	900	10	8,5	31	1,25	0,62	0,62	9,5	24	1,00
	6	1000	10	10,0	32	1,30	0,65	0,65	10	28	1,10
V_H	1	800	5	7,0	34	1,10	0,55	0,55	8,5	30	0,95
	2	800	10	7,0	31	1,05	1,03	1,03	8,5	20	0,85
	3	800	15	7,0	24	1,00	0,50	0,50	8,0	18	0,80
	4	800	20	7,0	22	1,00	0,50	0,50	7,5	16	0,80
	5	800	40	7,0	16	0,95	0,42	0,42	6,0	14	0,70

Машинобудування і зварювальне виробництво

Радіус R_2 розраховували по формулі [12]:

$$R_2 = \frac{(0,5B_e)^2 + H_{np}^2}{2H_{np}}, \text{ м.} \quad (4)$$

де B_e – ширина зони проплавлення вздовж вісі Y-Y ($Z = 0, X = 0$), м;
 H_{np} – глибина проплавлення вздовж вісі OZ ($Y = 0, X = 0$), м.

Щільність радіальної компоненти струму на поверхні S_2 :

$$j_{R2} = \frac{0,9I_H}{S_2}, \text{ А/м}^2 \quad (5)$$

де $S_2 = 2\pi R_2^2$, м².

Осьові компоненти щільностей струмів (середні значення вздовж поверхонь S_1 і S_2):

$$j_{Z1} = 0,65 j_{R1}; \quad j_{Z2} = 0,65 j_{R2}. \quad (6)$$

Приймали, що у рідкому металі на передній стінці кратеру ванни між поверхнями S_1 і S_2 щільність струмів зменшується лінійно, тоді середнє значення щільності струму:

$$j_{Zc} = \frac{j_{Z1} + j_{Z2}}{2}. \quad (7)$$

При русі рідкого металу в хвостову частину зварювальної ванни відбувається гальмування потоку. Оцінити розрахунковим шляхом темп гальмування потоку важко. Максимальна швидкість потоку V_x спостерігається в шарі рідкого металу під дугою, де максимальна густина струму j_z . На поверхні рідкого металу за дугою $V_x = 0$, аналогічно і на дні кратера ($Z = h_{кр}$) $V_x = 0$. Лінії струму проходять в основному перед дугою. Після розгону верхні шари металу ванни набувають деяку швидкість тобто швидкість V_x зменшується. Крім того, гальмуючу дію має і розплавлений флюс (рідкий шлак). Але в крайній точці ванни $V_x = 0$. Тоді середня швидкість потоку $V_{xcp} = 0,5V_x$.

Значення густини електромагнітних сил (F , Н/м³), що забезпечують примусове переміщення кожного мікрооб'єму рідкого металу вздовж вісі OX (рис. 1) визначали за формулою:

$$F = j_{Zc} \times B_y, \text{ Н/м}^3 \quad (8)$$

де B_y – поперечна компонента індукції ПОМП (вздовж вісі OY), Тл.

Як і в роботі [8] брали, що лінії струму перпендикулярні поверхням кратера (S_1 , S_2 на рис. 1). Під дією сили F кожен елемент (обсяг) рідини в передній частині ванни отримує прискорення:

$$a = g \frac{F}{G}, \text{ м/с}^2, \quad (9)$$

де G – густина сил тяжіння, $G = 7 \cdot 10^4$ Н/м³.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Під дією сили F (і дією прискорення – a) швидкість елементів рідини відносно осі Z уздовж вісі OX :

$$V_{\tau} = \sqrt{2L \cdot a}, \text{ м/с.} \quad (10)$$

Приймали, що «розгін» елементів рідини отримують на довжині L , що дорівнює середньому значенню радіусів R_1 і R_2 , тобто:

$$L = \frac{R_1 + R_2}{2}. \quad (11)$$

Для генерації індукції ПОМП використовували пристрій конструкція якого наведена в роботі [2]. Схема прямокутних знакозмінних імпульсів струму в котушках пристрою введення ПОМП і поперечної компоненти імпульсів індукції цього поля наведена на рис. 3. Тривалість пауз була незмінною і складала $t_n = 0,01$ с.

Значення тривалості імпульсу (B_y) ПОМП:

$$t_i = \frac{L_{x\alpha}}{V_{xcp}}, \quad (12)$$

де V_{xcp} – середня по довжині ванни швидкість потоку ($V_{xcp} = 0,5V_x$).

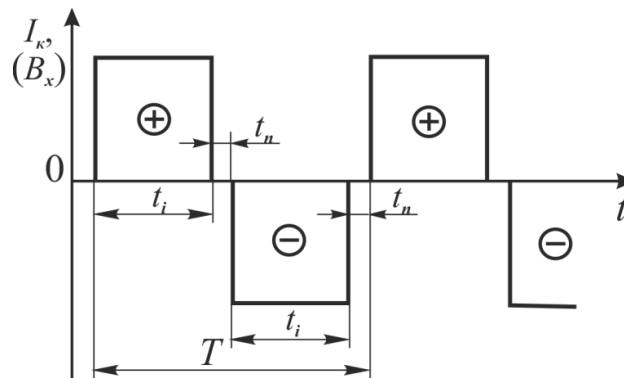


Рисунок 2 – Схема імпульсів в котушках пристрою введення ПОМП (індукції B_y)

Використовуючи дані про V_{xcp} і $L_{x\alpha}$, обчислювали тривалість прямокутних знакозмінних імпульсів індукції ПОМП- t_i - за формулою (12), а частоту f за формулою:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2t_i + 2t_n} \approx \frac{1}{2t_i}. \quad (13)$$

де B_y – поперечна компонента індукції ПОМП (вздовж вісі OY), Тл.

При цьому брали (відповідно до даних робіт [7, 8], що 90 % струму I_n протікає через передню кромку головної частини ванни. Як і в роботі [8] брали, що лінії струму перпендикулярні поверхні кратера (S_I на рис. 1).

Значення тривалості імпульсу (B_y) ПОМП:

Машинобудування і зварювальне виробництво

$$t_i = \frac{L_{xg}}{V_{xcp}}, \quad (14)$$

де V_{xcp} – середня по довжині ванни швидкість потоку ($V_{xcp} = 0,5V_x$).

Використовуючи дані про V_{xcp} і L_{xg} , обчислювали тривалість прямокутних знакозмінних імпульсів індукції ПОМП- t_i -за формулою (14), а частоту f за формулою ($t_n = 0,01$ с):

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2t_i + 2t_n} \approx \frac{1}{2t_i}. \quad (15)$$

При розрахунках параметрів ПОМП використовували експериментальні і розраховані дані про розміри зварювальних ванн, які наведені в таблиці. Отримані розрахунками дані наведені на рис. 3.

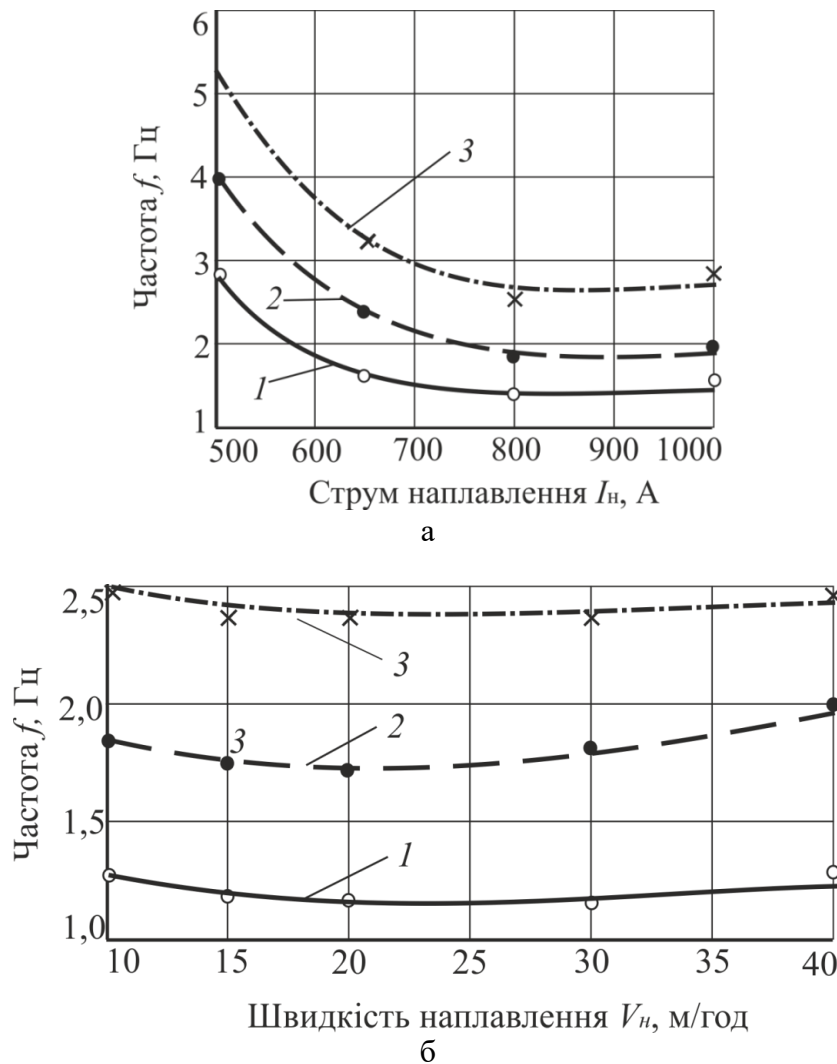


Рисунок 3 – Залежність частоти f ПОМП від струму наплавлення (а) і швидкості наплавлення (б): а – $V_n = 10$ м/год; б – $I_n = 800$ А; 1, 2, 3 – відповідно для індукції ПОМП $B_y = 25, 50, 100$ мТл

Машинобудування і зварювальне виробництво

Встановлено, що при збільшенні струму наплавлення I_n значення частоти f знакозмінного ПОМП при даному рівні індукції B_y зменшуються (рис. 3, а). При збільшенні швидкості наплавлення значення частоти f ПОМП практично не змінюються (рис. 3, б). При збільшенні індукції B_y ПОМП (від 25 мТл до 100 мТл) значення частоти f ПОМП збільшуються. Таким чином, для повного перемішування рідкого металу (по всій довжині хвостової частини ванни $L_{хв}$) необхідна частота ПОМП в діапазоні 1,5 – 3 Гц при рівні індукції $B_z = 25$ мТл. Якщо збільшити індукцію B_y ПОМП до $B_y = 100$ мТл, то оптимальні значення частоти лежать в діапазоні 2,5...5,0 Гц. Ці дані рекомендуються для використання при виконанні електродугового наплавлення дротом під флюсом. При цьому, як встановлено в багатьох роботах, при дуговому наплавленні (зварюванні) з дією ПОМП буде спостерігатися подрібнення структурних складових в наплавленому металі (шві) і підвищення їх службових характеристик. Приведені дані відносяться до процесу електродугового наплавлення постійним струмом зворотної полярності дротом Св-08А діаметром 5мм під флюсом АН-348. Але, якщо застосувати дроти діаметром 3 і 4 мм, то наведені дані про оптимальні параметри ПОМП не зміняться в значній мірі, оскільки розміри зварювальних ванн при цьому практично не зміняться відносно значень, приведених в таблиці даної статті.

В силу прийнятих в роботі припущень, отримані дані про f ПОМП є орієнтовними при призначенні індукції B_y і частоти f ПОМП для процесів дугового наплавлення і зварювання дротом під флюсом. Наведені дані про частоту ПОМП при зазначених значеннях індукції B_y ПОМП слід трактувати як мінімальні значення частот. Можливо, що реальні значення цих частот будуть дещо більше, ніж отримані нами розрахунковим шляхом.

При дуговому наплавленні дротами діаметрами в межах 3...5 мм під флюсом з застосуванням встановлених оптимальних параметрах ПОМП має забезпечуватися повне перемішування рідкого металу в ванні (по всій її довжині) і подрібнення структурних складових наплавленого металу, або швів.

ВИСНОВКИ

1. Розроблена розрахункова методика, яка дозволяє отримати дані про швидкість примусового руху рідкого металу ванни при дуговому наплавленні з дією керуючого знакозмінного поперечного магнітного поля і встановити оптимальні параметри цього поля для ефективного перемішування рідкого металу у зварювальній ванні.

2. Встановлено, що ефективне перемішування рідкого металу у зварювальній ванні при дуговому наплавленні дротом Св-08А діаметром 5 мм під флюсом АН-348 постійним струмом зворотної полярності в межах 500...1000А і швидкості наплавлення в межах 10...40 м/год з дією ПОМП при індукції поля 25...100 мТл досягається при оптимальній частоті поля в межах 1.5...5,0 Гц.

Список використаних джерел:

1. *Лахтин, Ю. М.* Материаловедение / *Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева.* – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1990. – 528 с.
2. *Размышляев, А. Д.* Автоматическая электродуговая сварка под флюсом с воздействием внешнего магнитного поля : монография / *А. Д. Размышляев, П. А. Выдмыш, М. В. Агеева.* – Мариуполь : ПГТУ, 2017. – 209 с.
3. *Размышляев, А. Д.* Влияние магнитного поля на кристаллизацию швов при дуговой сварке / *А. Д. Размышляев, М. В. Агеева* // Автоматическая сварка. – 2019. – № 1. – С. 40–43.

Машинобудування і зварювальне виробництво

4. Размышляев, А. Д. Измельчение структуры металла при дуговой наплавке под воздействием продольного магнитного поля / А. Д. Размышляев, М. В. Агеева // Автоматическая сварка. – 2019. – № 2. – С. 25–28.
5. Размышляев, А. Д. Первичная кристаллизация металла при дуговой наплавке с воздействием продольного магнитного поля / А. Д. Размышляев, М. В. Агеева // Сварочное производство. – 2020. – № 3. – С. 9–13.
6. Размышляев, А. Д. Расчет параметров поперечного магнитного поля, обеспечивающего перемешивание расплава в ванне при электродуговой наплавке и сварке / А. Д. Размышляев, М. В. Агеева // Сварочное производство. – 2020. – № 11. – С. 3–9.
7. Райчук, Ю. И. Распределение тока по пластине при дуговой сварке. / Ю. И. Райчук // Автоматическая сварка. – 1967. – № 4 – С. 19–22.
8. Чернышов, Г. Г. Распределение тока в сварочной ванне / Г. Г. Чернышов, А. М. Рыбачук, В. Ф. Кубарев // Автоматическая сварка. – 1979. – № 11. – С. 27–29.
9. Багрянский, К. В. Теория сварочных процессов / К. В. Багрянский, З. А. Добротина, К. К. Хренов. – К. : Вища школа, 1976. – 424 с.
10. Размышляев, А. Д. О толщине прослойки жидкого металла под дугой при наплавке флюсом / А. Д. Размышляев // Автоматическая сварка. – 2003. – № 9. – С. 18–21.
11. Размышляев, А. Д. Уточненное определение толщины жидкой прослойки под дугой. / А. Д. Размышляев // Автоматическая сварка. – 1980. – № 7. – С. 74–75.
12. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов / И. Н. Бронштейн, К. М. Семендяев – М. : Наука, 1986. – 544 с.

Размышляев А. Д., Агеева М. В., Выдмыш П. А.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПОПЕРЕЧНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ МЕТАЛЛА В ВАННЕ ПРИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ

Для повышения эффективности процесса дуговой наплавки перспективным является использование управляющих внешних магнитных полей. При дуговой наплавке (сварке) целесообразно использовать знакопеременные поперечные магнитные поля (ПОМП), поскольку в этом случае обеспечивается хорошее формирование валиков (шовов). На жидкий металл сварочной ванны влияет знакопеременное (в виде импульсов) ПОМП. Обзор литературных данных показал, что не определены оптимальные значения индукции и частоты знакопеременного ПОМП, при которых происходит эффективное (по всей длине ванны) перемешивание жидкого металла при электродуговой наплавке (сварке) проволокой под флюсом. В данной работе разработана расчетная методика, которая позволяет получить данные о скорости принудительного движения жидкого металла ванны при дуговой наплавке с действием управляющего знакопеременного поперечного магнитного поля и установить оптимальные параметры этого поля для эффективного перемешивания жидкого металла в сварочной ванне. В разработанной методике расчетом определяли геометрические размеры сварочных ванн на передней стенке кратера сварочной ванны, а другие размеры сварочных ванн определяли экспериментально. Электромагнитную силу при воздействии ПОМП определяли умножением поперечной компоненты этого поля на среднее значение плотности тока наплавки в жидком металле ванны на ее передней стенке.

Установлено, что при увеличении индукции ПОМП (от 25 мТл до 100 мТл) значения частоты ПОМП увеличиваются. Таким образом, для полного перемешивания жидкого металла (по всей длине хвостовой части ванны $L_{хв}$) необходима частота ПОМП в диапазоне 1,5 ... 3 Гц при уровне поперечной компоненты индукции $B_z = 25$ мТл. Если увеличить индукцию ПОМП до

$B_y = 100$ мТл, то оптимальные значения частоты лежат в диапазоне 2,5 ... 5,0 Гц. Эти данные рекомендуются к использованию при выполнении электродуговой наплавки проволокой диаметрами 3 ... 5 мм под флюсом. постоянным током обратной полярности в пределах 500 ... 1000 А и скорости наплавки в пределах 10 ... 40 м/ч. При этом будет наблюдаться измельчение структурных составляющих в наплавленном металле (шве) и повышение их служебных характеристик.

Ключевые слова: дуговая наплавка, поперечное магнитное поле, индукция, частота.

Razmyshlyayev A. D., Ahieieva M. V., Vydmysh P. A.

CALCULATION OF THE PARAMETERS OF THE TRANSVERSE MAGNETIC FIELD FOR EFFECTIVE MIXING OF METAL IN THE BATH WITH ARC SURFACE

It is promising to use controlling external magnetic fields, to increase the efficiency of arc surfacing process. It is advisable to use alternating transverse magnetic fields (TMF), since in this case a good formation of beads (seams) is ensured in arc surfacing (welding). The liquid metal of the weld pool is affected by an alternating (in the form of pulses) TMF. A review of the literature data showed that the optimal values of induction and frequency of the alternating TMF have not been determined, at which there is effective (along the entire length of the bath) mixing of the liquid metal during electric arc surfacing (welding) in submerged arc surfacing (welding) with wire. In this work, a calculation technique has been developed that allows one to obtain data on the rate of forced motion of the liquid metal of the pool during arc surfacing with the action of a control alternating transverse magnetic field and to establish the field optimal parameters for effective mixing of the liquid metal in the weld pool. In the developed methodology, the geometric dimensions of the weld pools on the front wall of the weld pool crater were determined by calculation, and other dimensions of the weld pools were determined experimentally. The electromagnetic force under the action of TMF was determined by multiplying the transverse component of this field by the average value of the surfacing current density in the pool liquid metal on its front wall.

It was stated that with an increase in the TMF induction (from 25 mT to 100 mT), the values of the TMF frequency increase. Thus, for complete mixing of the liquid metal (along the entire length of the tail part of the bath), the TMF frequency in the range of 1.5 ... 3 Hz is required at the level of the transverse induction component $B_z = 25$ mT. If the TMF induction is increased to $B_y = 100$ mT, then the optimal frequency values are in the range of 2.5 ... 5.0 Hz. These data are recommended for use when performing submerged arc welding with wire by diameters of 3 ... 5 mm with direct current of reverse polarity in the range of 500 ... 1000 A and surfacing speed in the range of 10 ... 40 m/h. In this case, the refinement of the structural components in the deposited metal (weld) and an increase in their service characteristics will be observed.

Keywords: arc surfacing, transverse magnetic field, induction, frequency.

Стаття надійшла 12.03.2021 р.