

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧЕСЬКИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

Бєскієв Василь Миколайович

УДК 621.791.92: 669

ОСОБЛИВОСТІ ПРИРОДИ УТВОРЕННЯ ЗОНИ
ВІДБІЛУ ПІД ЧАС ДУГОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ НА
ЧАВУН СТАЛЕВОГО ДРОТУ І РОЗРОБКА
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАХОДІВ ЇЇ РЕГУЛЮВАННЯ

Спеціальність 05.03.06 - "Технологія і машини
зварювального виробництва"

Автореферат

дисертація на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Київ-1994



00778515 (X)

Дисертація

Робота виконана в Державному

- Науковий керівник: - кандидат технічних наук, доцент
Палаш В.М.
- Офіційні опоненти: - доктор технічних наук, професор
Кузнецов Б.Д.
- кандидат технічних наук
Метлицький В.О.
- Провідне підприємство: - НДІ "Агротехсервіс"

Захист відбудеться " 20 " лютого 1995 р. о 15 годині
на засіданні спеціалізованої вченої ради К 068.14.13 в Київському
політехнічному інституті, корп. 23, ауд. 323.

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці інституту.

Автореферат розісланий " _____ " _____ 1995 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

договірний № 6.0.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Чавун відомо, чавун в сучасній промисловості є одним із основних конструкційних матеріалів. На його частку припадає більше 50% всього ливарного виробництва. Для усунення дефектів в чавунних відливках, при ремонті зношених деталей, під час виготовлення зварних конструкцій - широко застосовують різні зварювальні процеси. Існує багато способів зварювання та наплавлення чавунів, котрі відрізняються за технологічними ознаками, якісними характеристиками наплавленого металу і зварного з'єднання в цілому.

Розробки ефективних способів зварювання, які забезпечують щільність і міцність з'єднання, ґрунтуються на використанні для зварювання матеріалів на основі кольорових металів - це в першу чергу нікеля, а також міді, ванадію та інших. А як відомо, на даний час ці матеріали є дорогими і дефіцитними.

А от, щодо виконання робіт по відновлювальному наплавленню, де вимоги є дещо нижчими, перспективним буде використання недорогих і поширених матеріалів - сталей маловуглецевих дротів. Істотним недоліком способу наплавлення чавунних деталей сталним маловуглецевим дротом без попереднього підігріву є виникнення в зоні сплавлення і шві твердих малопластичних структур, які часто приводять до виникнення тріщин. Особливо не бажаним є утворення зони відбілу, метал якої по структурі відповідає білску чавуну.

Для досягнення якісного сталного поверхневого шару, що задовільно обробляється на поверхні чавунних деталей, виникла необхідність розробити технологічні заходи регулювання утворення зони відбілу.

Дослідження по використанню для наплавлення чавуну сталним маловуглецевим дротом в середовищі активних газів, які проводились на кафедрі зварювального виробництва Державного університету "Львівська політехніка", показали перспективність цього механізованого способу.

Мета роботи. На основі дослідження факторів, які впливають на утворення зони відбілу під час дугового наплавлення чавуну сталним маловуглецевим дротом в газових середовищах, розширити уявлення про природу утворення і виявити шляхи технологічного впливу на її розміри.

Для досягнення цієї мети необхідно було вирішити такі питання:

- розробити модель для розрахунку на ЕОМ товщини пристінного шару розплаву, який виникає в зварювальній ванні під час наплавлення чавуну;
- встановити склад пристінної ділянки розплаву;
- встановити умови підплавлення чавуну в процесі кристалізації сталеної зварювальної ванни;
- дослідити вплив параметрів процесу дугового наплавлення чавуну сталеним дротом в газових середовищах, а також хімічного складу /вмісту Si і Mn/ чавуну, дроту і графітних включень на зону відбілу;
- розробити технологію і техніку холодного дугового наплавлення чавунних деталей сталеним маловуглецевим дротом з метою отримання мінімальної зони відбілу при задовільному формуванні наплавлених валиків.

Методи дослідження. Тонкі дослідження структури чавунів і зварних швів проводили: методом оптичної металографії, мікрорентгенспектрального аналізу на установці "САМЕВАХ", а також на спеціально сконструйованій установці для замірів локальної контактної ТЕРС на основі мікротвердоміру ПМТ-3.

Заміри твердості і мікротвердості виконували із застосуванням стандартних методик.

Поверхневий натяг розплавів оцінювали методом "лежачої краплі".

Під час опису математичних моделей процесів кристалізації зварювальної ванни, руху розплаву в ній використовували: метод сіток, метод найменших квадратів, метод штрафних функцій, метод градієнтного спуску.

Результати вимірювань оброблялись методами математичної статистики.

Наукова новизна. В результаті розрахунків отримана уявна закономірність для визначення розмірів нерухомого шару розплаву, яка полягає у використанні підходу з позицій гідродинаміки, згідно якої не весь розплавлений метал приймає участь у русі від сил, що діють на нього. На межі з основним металом у зварювальній ванні розплав є практично нерухомим і в ньому може зберігатися склад чавуну до закінчення процесу первинної кристалізації.

Показано, що після кристалізації, ділянка нерухомого шару розплаву складається з двох зон: зони відбілу і зони змінного хімічного складу високовуглецевої сталі. Особливість полягає в наступному: у відбілі кількість ледебуриту різко зменшується, а продуктів розпаду аустеніту зростає. Поступово чавун у цій ділянці переходить у сталь з хімічним складом наплавленого валика.

Встановлено, що можливе підплавлення основного металу під час кристалізації сталюї зварювальної ванни, при зварюванні чавуну на великих погонних енергіях, коли тепловий потік зі сторони валика перевищує теплових потік в твердому металі. Так для сірого чавуну СЧ 20, при використанні схеми лінійне джерело, що швидко рухається по поверхні тонкої пластини $q > 4000 \frac{\text{кДж}}{\text{м}}$.

Вивчені закономірності впливу на розміри зони відбілу: величини графітних включень, складу компонентів газових сумішей.

Тонкі і витягнені пластини графіту швидко розчиняються під дією термічного циклу зварювання і не створюють суттєвих перепон на шляху руху розплаву. Виключення складають лише грубі пластини графіту, які сприяють зростанню розмірів відбілу.

Вивчені закономірності впливу складу газових сумішей на величину і характер відбілу дозволили виявити оптимальний їх склад.

Практичне значення і впровадження. На основі отриманої формули для розрахунку товщини пристінного шару та встановленого взаємозв'язку її з параметрами дугового наплавлення, розроблена номограма для визначення оптимальних, з точки зору утворення мінімальних розмірів зони відбілу /при заданій формувальній валиків/, режимів наплавлення чавуну сталюим дротом в окислювальних газових середовищах.

На основі отриманої номограми розроблений і впроваджений технологічний процес відновлення чавунних деталей наряді ремонтно-транспортних підприємств. Сумарний економічний ефект від впровадження результатів розробок у 1988р. становить 28 тисяч 450 крб.

Представлення результатів роботи. Основні положення роботи допсвідались на науковс-технічних конференціях: "Применение наплавочных работ в сельском хозяйстве" /м.Київ, тов. "Знання" 1985р./, "Экономия материальных энергетических и трудовых ресурсов в сварочном производстве" /м.Челябінськ, 1986р./, "Пути повышения эффективности процессов сварки и пайки" /м.Ліпськ, 1967р./, "100-летие изобретения сварки по методу Славянова Н.Г. и современные проблемы развития сварочного производства" /м.Пермь, 1988р./, I-й міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові /м.Львів, 1993р./.

Публікації. По темі дисертації опубліковано II друкованих праць.

Об'єм і структура роботи. Дисертаційна робота складається з вступу і чотирьох розділів, загальних висновків і додатка. Вона має 143 сторінки машинописного тексту, 48 рисунків, 12 таблиць, список літератури має 130 найменувань.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, подається коротка анотація роботи.

В першому розділі проведено аналіз літературних джерел про сучасний стан проблеми утворення відбілу під час дугових способів зварювання і наплавлення чавунів, сформульована мета і основні завдання роботи.

В другому розділі подається вибір матеріалів, а також методик і методів дослідження.

В третьому розділі подається вивід формули для визначення розмірів пристінного шару розплаву у зварюванні ванні, як у випадку ламінарного, так і турбулентного руху. Визначається склад і структурні особливості цього пристінного шару після процесу кристалізації. Розглядається можливість розширення зони відбілу за рахунок додаткового оплавлення основного металу чавуну під час кристалізації сталюї частини зварювальної ванни.

В четвертому розділі розглядаються технологічні розробки, результати впровадження у виробництво.

ЗМІСТ РОБОТИ

Одним з основних недоліків зварювання чи наплавлення чавуну сталевим дротом є утворення в зварних з'єднаннях ділянки відбілу, метал якого має структуру білого чавуну.

Як свідчать матеріали робіт багатьох авторів: В.А.Батманова, Е.К.Батуріна, Д.Я.Грецького, П.С.Єлістратова, В.А.Метлицького, І.Р.Пацкевича, В.Ф.Хорунова, Ж.Л.Дота, Х.Манабу та ін. відбіл утворюється в зоні сплавлення, яка включає не тільки ділянку неповного розплавлення основного металу, де метал знаходиться в рідко-твердому стані між ізотермами ліквідуса і солідуса, але і прилеглий до неї ділянку металу шва, де до закінчення процесу первинної кристалізації може зберігатися склад чавуну.

Основними умовами утворення відбілу є наявність розплаву, хімічний склад якого відповідає чавуну і високих швидкостей охолодження. Грецький Д.Я. вважає, що крім цих необхідно також врахувати і інші фактори, а саме: хімічний склад електродного металу, дифузійну спроможність наявних елементів, а також їх графітізуючу здатність в проварку рідкого металу.

Утворення відбілу в чавунних зварних з'єднаннях по суті проходить як і під час кристалізації відливки. В залежності від хімічного складу зони його утворення може мати місце кристалізація, як доевтектичного, так і евтектичного або заевтектичного складу.

Під час зварювання чи наплавлення чавуну, особливо без підігріву, матеріалами, що відрізняються від нього, на формування структури в зоні сплавлення впливає склад зварвальної ванни. Він визначає інтенсивність дифузійних процесів біля сплавленої поверхні основного металу і зварвальної ванни. Ділянки основного металу, що оплавляються в останню чергу, розмір яких визначається інтервалом кристалізації чавуну і градієнтом температур в навколишній зоні, мають склад основного металу. Згодом, в цій зоні, починають інтенсивно проходити масообмінні процеси. І з метою зварвальної ванни дифундують елементи, які можуть значно змінити хід процесів структуроутворення. Повнота проходження дифузії залежить від часу існування фаз на межі розподілу, дифузійної спроможності еле-

ментів, хімічної активності металу по відношенню до вуглецю, граничної їх розчинності в чавуні та інших факторів.

Крім впливу дифузійних процесів на структуроутворення в зоні сплавлення в ряді робіт Грецького Л.Я. виділяються і інші фактори. Так, на утворення відбілу суттєво впливає і співвідношення температур плавлення чавуну і кристалізації зварювальної ванни. Під час холодного наплавлення чавуну, сталішим вуглецевим дротом, в зварювальній ванні знижується концентрація вуглецю і, як наслідок, зростає температура рівноважної кристалізації. А температура кінця затвердіння на даній ділянці залишається постійною – евтектичною. В результаті такого перевищення температури затвердіння рідини над відповідною температурою плавлення чавуну відбувається плавлення основного металу і зона сплавлення розширюється. В наступний момент часу, коли зварювальна дуга віддаляється – відбувається кристалізація рідини евтектичного складу в замкнутому об'ємі.

Крім того, окремі ізольовані ділянки відбілу можуть утворюватись і в зоні термічного впливу, де під дією термічного циклу зварювання відбулось локальне розплавлення основного металу, як правило, вони збагачені сірком і фосфором. І утворений відбіл являє собою подвійні або потрійні евтектики.

Наявність відбілу в зварних з'єднаннях, як свідчать дослідження Блістратова П.С., Іванова Б.Г. та інших науковців, є причиною зниження механічних властивостей до 30-40%. Характерними фізико-механічними властивостями відбілу є низька температура плавлення 1373-1423 К, велика усадка під час кристалізації 1,6 - 2,7% /порівняно з 0,9 - 1,3% для сірого/, низька міцність на розтяг 90-144 МПа /порівняно з 120-380 МПа для сірих і 450-650 МПа для високоміцних чавунів/ низька ударна в'язкість - до 10 кДж/м² і висока твердість - 500 + 700 НВ.

Внаслідок таких значень усадки білого та сірого чавунів, а також різних коефіцієнтів теплового розширення /ферит $12,2 \times 10^{-6}$, перліт 11×10^{-6} , аустеніт $12+20 \times 10^{-6}$, цементит 6×10^{-6} / в зоні сплавлення, при наявності відбілу, виникають значні залишкові напруження. Вони часто приводять до

утворення мікро- і макростріцин, особливо під час наплавлення значних /більше 250 мм/ поверхонь.

Крім того, наявність зони відбілу суттєво впливає на технологічні властивості - затрудняє обробку деталей різними інструментами.

Отже, однією з необхідних умов отримання якісних зварних з'єднань чавуну і наплавлення на нього валиків чи шарів є повна відсутність зони відбілу або отримання мінімальних її розмірів. Аналіз існуючої теорії і практики зварювання чавунів показує, що всі способи впливу на утворення зони відбілу умовно поділяються на ряд груп: попередження утворення зони відбілу за рахунок зменшення швидкості охолодження в процесі первинної кристалізації; регулювання розмірів зони відбілу хімічним складом зварювальної ванни; впливу на розміри зони відбілу режимом зварювання; усунення утворення зони відбілу наступною термічною обробкою.

Як витікає з розглянутих підходів, повністю уникнути відбілу під час зварювання чи наплавлення чавуну можна лише при застосуванні гарячих способів зварювання або шляхом проведення наступної термічної обробки. В опублікованих матеріалах відсутні систематизовані дані по природі утворення, а також впливу технологічних параметрів на розміри зони відбілу під час дугових способів наплавлення чавунів, зокрема сталі з малим вуглецевим дротом.

Експериментальні дослідження природи утворення відбілу проводились під час дугового холодного наплавлення чавунів сталі з малим вуглецевим дротом в середовищі захисних газів /Ar, CO₂, CO₂+O₂, CO₂+Ar, CO₂+Ar+O₂/.

Для дослідження використовувались: сірі чавуни СЧ 10, СЧ 20, СЧ 30, СЧ 40; високоміцні ВЧ 45-5; ВЧ 50-2, а також дроти Св ОВА, Св ОБГ2С, дані чавуни різняться, як хімічним складом, так і структурою, зокрема: формою, розміром і кількістю графітної фази.

Чавун: взірці наплавляли згідно двофакторного експерименту, де змінними були вибрані погонна енергія і склад газової суміші. Крім того, для визначення впливу окремих параметрів-режиму на відбіл, проводили наплавлення взірців згідно умов однофакторного експерименту.

При розгляді природи утворення відбілу в зоні сплавлення і нижній частині наплавлених валків, нами був використаний підхід з позиції гідродинаміки, згідно якого не весь розплавлений метал приймає участь у русі від сил, що діють на нього і конвективна дифузія охоплює не повний об'єм зварювальної ванни. На межі з основним металом утворюється пристінний шар рідкого металу, який є нерухомим. Зласне, в основній частині пристінного шару і може зберігатися склад чавуну до закінчення процесу первинної кристалізації, а значить і утворюється відбіл.

Для визначення розмірів пристінної області, при ламінарному русі розплаву у зварювальній ванні, скористались формулою товщини в'язкого прошарку, виведено на основі величини дотичних напружень, що виникають на межі з нерухомою стінкою і залежністю коефіцієнта Дарсі від числа Рейнольдса.

В результаті нами отримана формула:

$$\delta = N \sqrt{\frac{\nu R}{g \omega}},$$

де: δ - товщина пристінного шару; N - коефіцієнт, що враховує динамічність розплавленого металу; ν - кінематична в'язкість розплаву; ω - усереднена швидкість руху розплаву; R - гідравлічний радіус.

У випадку турбулентного руху розплаву у зварювальній ванні за основу для виведення формули були прийняті: залежність Н.Никурадзе, стримана з емпіричного закону опору турбулентного руху Блазіуса та розподілу швидкостей в області чисел Рейнольдса і залежність А.Д.Альтшуля, для визначення коефіцієнту Дарсі в квадратичній області опору, коли шерсткість дна ще впливає на рух розплаву. В цьому випадку кінцева формула має вигляд:

$$\delta = 5.7 \frac{\nu}{\omega} \sqrt{\frac{\nu}{C(n)}} \cdot \ln \frac{0.27 \Delta}{R},$$

де: Δ - величина шерсткості русла; $\nu, C(n)$ - коефіцієнти динамічності розплаву при турбулентному русі.

Визначення параметрів, що входять в отримані формули, проводили експериментально або експериментально-розрахунковими методами.

Гідравлічний радіус розраховали, як відношення живого перерізу зварювальної ванни до змоченого периметру.

Величину шорсткості русла визначали, як допустиму величину виступів, при яких шорсткість ще впливає на опір руху розплаву.

Усереднену швидкість руху розплаву визначали з рівняння Бернуллі для випадку руху в'язкої нестисненої рідини. Згідно цього рівняння кінетична енергія плазисвих потоків, що перетворюється в кінетичну і потенціальну енергію розплавленого металу виразиться як тиск дуги. І тоді рівняння, з якого визначали усереднену швидкість, виглядало:

$$10^{-7} \frac{J^2}{\pi Z_a^2} = \frac{\rho \omega^2}{2} + \rho g h ,$$

де: J - сила струму; Z_a - радіус активної плями; ρ - густина металу; ω - усереднена швидкість руху розплаву; h - висота підняття розплавленого металу.

Для визначення оптимальних значень коефіцієнтів динамічності руху розплаву була розроблена програма оптимізації. Значення N було встановлено в результаті крокового аналізу.

Визначення величин Ψ , C , n проводили на основі узгодження даних розрахункових за формулою і з результатами експериментів за методом найменших квадратів.

В зоні сплавлення ділянка часткового розплавлення чавуну може мати значні розміри за рахунок достатньо великого температурного інтервалу первинної кристалізації. Ширину цієї ділянки, можна оцінити, виходячи з величини інтервалу кристалізації $T_A - T_C$ і градієнта температур $grad T$ згідно залежності.

$$\delta_d = \frac{T_A - T_C}{grad T}$$

Мікроструктура відбілу в цих ділянках, в більшості випадків, ледебуритна, однак, при наближенні до основного металу кількість первинного цементиту в них, як правило, збільшується. В той же час на межі з металом наплавленого валика зустрічається і доестектична структура. Крім того, виявлено, що в більшості досліджених зрізів відсутня чітка границя між відбілом і основним металом. Це свідчить про нерівномірне оплавлення зрізів в зоні оплавлення, чому сприяє значна хіміч-

на неоднорідність зерен аустеніту, особливо в чавунах з феритс-перлітною матрицею. Ця хімічна неоднорідність спостерігається і біля графітних включень — коли відбіл вадом графіту може глибоко проникати в основний метал.

Відбіл може утворюватись і в нижній частині наплавлених валиків, де до кінця процесу кристалізації зберігався склад чавуну. Мікροструктура відбілу по ширині цієї ділянки змінюється таким чином, що кількість ледебуриту в ньому різко зменшується, а продуктів розпаду структурно вільного аустеніту зростає при віддаленні від зони сплавлення в сторону наплавлених валиків. В залежності від швидкості охолодження, продукти розпаду аустеніту являють собою або перлітні структури /перліт, сорбіт, тростит/, або бейніт чи мартенсит.

Слід відмітити, що інколи ділянки відбілу зустрічаються у вигляді окремих островків в наплавлених валиках. Вони утворюються в результаті нерівномірного розплавлення чавуну та недостатнього перемішування розплавлених чавуну та сталі.

Однорідність по хімічному складу наплавлених валиків досліджували за допомогою методів ТЕРС і мікроспектрального аналізу. Результати досліджень показали, що між зоною відбілу і основною частиною валика знаходиться перехідна ділянка. Розміри її залежать від степені розвитку молекулярної дифузії хімічних елементів, і в першу чергу, вуглецю з розплавленого чавуну в стальну зварювальну ванну, і в діапазоні досліджених в роботі зварювальних режимів не перевищує 200 мкм.

Крім визначення розмірів відбілу нами розглядалась і можливість його розширення від додаткового оплавлення основного металу — чавуну, яке може мати місце під час первинної кристалізації сталейних валиків за рахунок різниці температур кристалізації сталі і плавлення чавуну. Визначались необхідні для цього умови.

Згідно з теорією теплопередачі, процес на межі твердої і рідкої фаз можна представити умовою, що виражає баланс теплових потоків.

$$\lambda_{mb} \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_{mb} = \alpha_{кр} Q_k + \epsilon \lambda_p \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_p,$$

де: λ_r, λ_p - коефіцієнти теплопровідності рідкої і твердої фаз; $\frac{\partial T}{\partial n}$ - градієнт температур; ρ - густина металу; $U_{кр}$ - швидкість кристалізації; ϵ - коефіцієнт конвекції; $Q_{к}$ - скрита теплота кристалізації.

Тепловий пстік в твердому металі визначали використовуючи числовий системний метод кінцевих відмінностей. Причому значення температур розраховували з врахуванням двох розрахункових схем - лінійне джерело нагріву, що рухається з постійною швидкістю по поверхні тонкої пластини і точкове джерело постійної потужності, що рухається з постійною швидкістю по поверхні напівбезконечного тіла.

За градієнт температур у зварювальній ванні брали максимальну різницю температур між сталлюю і чавунною частиною ванни, що приходилась на товщину пристінного шару.

В результаті аналізу процесів на межі твердої і рідкої фаз встановлено, що підплавлення основного металу чавуну відбувається при відносно великих значеннях погонних енергій. Так, для сірого чавуну СЧ 20 воно може мати місце при погонній енергії $q > 4000$ кДж/м у випадку лінійного джерела тепла, що рухається по поверхні тонкої пластини, і більше 6000 кДж/м у випадку точкового джерела, що рухається з постійною швидкістю на поверхні напівнескінченного тіла.

В зоні термічного впливу відбілу утворюється в місцях локального розплавлення чавуну. Це, в першу чергу, ділянки збагачені сірком і фосфором. Мікроструктура таких ділянок відбілу, в більшості випадків, заевтектична з відносно невеликою кількістю структурно вільного цементиту і II не завжди легко відрізнити від сірчаніх чи фосфідних евтектик. Крім вмісту сірки і фосфору на утворення відбілу в цій зоні впливає режим зварювання. В залежності від погонної енергії змінюються розміри ділянки, що нагрівалась до температур плавлення легкоплавких евтектик, а також час знаходження металу при цих температурах, а значить і степінь дифузійного перерозподілу ліквуючих елементів між рідкою і твердою фазами.

Як видно з отриманої нами формули, на розміри зони відбілу в нижній частині наплавлених валиків, найбільший вплив має інтенсивність перемішування металу ванни, яке визначається, в першу чергу, характером і величиною діючих на неї зовнішніх сил,

а також такими її параметрами, як геометрична форма і розміри, температура, поверхневий натяг, в'язкість розплаву. По результатах двофакторного активного експерименту вивчався вплив величини погонної енергії і складу захисного газового середовища на відбій і була побудована математична поліноміальна модель. Виходячи з сформульованого рівняння встановлено, що відбій в найбільшій мірі залежить від погонної енергії. Більш детально вплив погонної енергії вивчався по результатах однофакторного експерименту. Встановлені залежності відбілу від величини швидкості наплавлення, сили струму, напруги та величини електродного вильоту. Серед цих параметрів найбільш суттєво на відбій впливає швидкість зварювання. Її зростання, при незмінних інших параметрах, приводить до того, що геометричні розміри і маса ванни знижуються, а силові характеристики дуги залишаються незмінними. Як наслідок, зростає швидкість руху розплаву і відбій зменшується.

Вплив струму, напруги, електродного вильоту – менш істотний і менш однозначний.

Крім наведених вище параметрів процесу наплавлення, нами вивчалися також і залежності розмірів відбілу від інших факторів. Найбільше впливають – хімічний склад /наявність кремнію і марганцю/ зварювального дроту і чавуну, а також розміри і форма графітових вилучень.

Наявність кремнію в основному і особливо в присадному металі приводить до погіршення процесу змочування чавуну розплавленим металом, що відбивається на геометричних параметрах зварювальної ванни, і як наслідок, зростає на розміри зони відбілу.

Результати впливу форми і розмірів графітних вилучень показали, що тонкі і витягнуті графітні пластини швидше розчиняються і в дієв термічного циклу зварювання, ніж кульки графіту у високоміцному і створюють меншу кількість перепон на шляху розплаву у зварювальній ванні. Виключення складають лише грубі пласти графіту, які створюють більші перепони рухові, ніж кульки графіту високоміцного чавуну.

На основі отриманих нами формул і експериментальних досліджень розроблена номограма для визначення оптимальних параметрів процесу наплавки сірих та високоміцних чавунів в сере-

довиді захисних газів сталевим маловуглецевим дротом, які забезпечують отримання мінімальних розмірів відбілу при задовільному формуванні наплавлених валиків і шарів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі проведені досліджень особливостей природи утворення відбілу під час наплавлення сірих і виссокоміцних чавунів без їх попереднього підігріву сталевим маловуглецевим дротом в газових окислювальних сумішах зроблені висновки:

1. Виходячи з аналізу гідродинамічних процесів у зварювальній ванні і проведених експериментальних досліджень, виведена формула для визначення товщини пристінного шару розплаву, де відсутня конвективна дифузія і в значній його об'ємі зберігається склад чавуну. Сформульовано уявлення про вплив величин, що входять в отриману формулу, на розміри пристінного шару. Це співвідношення необхідно враховувати при розробці технологій наплавки чавуну.

2. Виявлено, що в результаті процесу кристалізації в ділянці пристінного шару утворюється зона відбілу і зона змінного хімічного складу сталі. Встановлено особливості формування розмірів цих зон, їх структури в залежності від параметрів режимів наплавлення, складу захисного газового середовища, хімічного складу і структури чавуну, а також розмірів графітних включень. На основі проведених досліджень побудована номограма, яка дозволяє вибирати параметри режиму наплавки, що забезпечують отримання зони відбілу мінімальних розмірів при задовільному формуванні наплавлених валиків.

3. Показано, що під час процесу кристалізації сталеві частини зварювальної ванни, при наплавленні валиків на великих погонних енергіях ($q > 4000-5000$ кДж/м) може відбуватись розширення зони відбілу за рахунок підплавлення основного металу.

4. На підставі виконаних досліджень розроблений і впроваджений на виробництві спосіб дугового наплавлення зварюваних чавунних деталей в газових окислювальних середовищах сталевим маловуглецевим дротом, що дозволяє отримувати наплавленні валики і шари з мінімальними розмірами зони відбілу.

СПИСОК РОБІТ ОПУБЛІКОВАНИХ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ключковський Я.Ф., Юськів В.М., Сенів Г.З. Повышение износостойкости наплавленного слоя крупных деталей тракторов при наплавке в смеси $Ar + CO_2$ //Динамическая прочность машин и приборов; Вестн., Львов. политехн. ин-та, № 210. 1987. - с. 53-54.
2. Палаш В.М., Ключковський Я.Ф., Юськів В.М. Применение газовых окислительных смесей для наплавке чугуна стальной проволокой //Экономия материальных, энергетических и трудовых ресурсов в сварочном производстве; Тез. докл. - Челябинск 1986. - с. 178-179.
3. Палаш В.М., Юськів В.М., Гвозда В.Д. Остаточные напряжения и прочность сварных конструкций //Динамическая прочность машин и приборов; Вестн., Львов. политехн. ин-та № 220. 1988. - с. 131-133.
4. Палаш В.М., Юськів В.М., Ключковський Я.Ф. Повышение эффективности восстановленной наплавки чугунных деталей //Пути повышения эффективности процессов сварки и наплавки; Тез. докл. - Липецк. 1987. - с. 28.
5. Палаш В.М., Юськів В.М., Ключковський Я.Ф. О природе образования отбела при наплавке чугуна сталью. //Всесоюз. научно-технической конференции. Тез. докл. Часть II, - Пермь, 1988. - с. 76-77.
6. Палаш В.М., Юськів В.М., К вопросу расчета размеров пограничного слоя при дуговой сварке //Динамика, прочность и проектирование машин и приборов; Вестн. Львов. политехн. ин-та № 230. 1989. - с. 142-143.
7. Палаш В.М., Юськів В.М., Ключковський Я.Ф., Гаврот Б.Г., Либа С.П., Лосик І.І. Технология восстановленной наплавки передних опор дизельного двигателя СМД-14АГ из ковкого чугуна //Информ. листок о передовом произв.-техническом опыте № 89-063, выпуск 2, серия 9 Львовская ИТЦНИ, 1989.
8. Юськів В.М. Особенности наплавки чугуна стальной проволокой в смеси $Ar + O_2$ //Динамическая прочность машин и приборов; Вестн. Львов. политехн. ин-та, № 240. 1990. - с. 129-131.
9. Палаш В.М., Юськів В.М. Дослідження поверхневих явищ при зварюванні чавуну стальним дротом //Динаміка, міцність та проектування машин і приладів; Вестн. Львів. політехні. ін-та. № 240. 1991. - с. 273-274.

V. N. Yskiv

A special features of the white zone formation in arc surfacing of cast iron with steel wire and elaboration of the technological measures for it adjustment.

The master's of technical sciences thesis in the field - 05.03.06 - Technology and machines of welding production, Kiev politechnik institute, Kiev, 1994.

Fourteen scientific works are defenoled. The publications contain theoretical and experimental investigations of a special features of the white zone formation in arc surfacing of cast iron with low-carbon steel wire. The dependence of whitening on parametes of surfacing has been established and on this basis the nomogram of the surfacing regimes optimization has been worked out. The technology of cast iron surfacing has been introduced into industry.

Key words: cast iron, surfacing, rehabilitation, whitening.

В. Н. Юськив

Особенности природы образования зоны отбела при дуговой наплавке чугуна на стальной проволокой и разработка технологических мероприятий по ее регулированию.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности - 05.03.06 - Технология и машины сварочного производства, Киевский политехнический институт, Киев, 1994.

Защищается 14 научных работ, которые содержат как теоретические так и экспериментальные исследования природы образования отбела при дуговой наплавке чугунов стальной малоуглеродистой проволокой. Установлена зависимость отбела от параметров процесса наплавки и на ее основе разработана номограмма выбора оптимальных режимов. Данный способ внедрен на производстве.

Ключевые слова: чугун, наплавка, восстановление изношенных деталей, отбел.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Ротапринт ЛьЦНТЕІ Замовлення 14 Тираж 100

Львівський національний університет
імені Шевченка

456417

AB 31.746

AB 31.746