

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО ЧЕРВОНОГО ПРАПОРУ  
МЕТАЛУРГІЙНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

СТОВПЧЕНКО ГАННА ПЕТРІВНА

РОЗРОБКА ВИСОКОЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МОДИФІКУВАННЯ СТАЛІ  
ЗВАРЮВАЛЬНОГО СОРТАМЕНТУ МІКРОДОБАВКАМИ РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНИХ  
ЕЛЕМЕНТІВ ТА ЦИРКОНІД

Спеціальність 05.16.02    Металургія чорних металів

АВТОРЕЗЮМЕ

дисертації на здобуття вченого ступіня кандидата  
технічних наук

Дніпропетровськ 1993

Робота виконана на кафедрі теорії металургійних процесів  
Дніпропетровського металургійного інституту.

Науковий керівник : кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
І.М. СИГАЛО

Офіційні опоненти : доктор технічних наук,  
професор  
В.В. ЛУНЬОВ

кандидат технічних наук,  
доцент

О.Д. РОЖКОВ

Провідне підприємство : Дніпровський металургійний  
комбінат ім.Ф.Е.Дзержинського

Захист відбудеться "18" 05 1993 року о 12 год.  
30 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради К 068.02.01 по  
присудженню вченого ступеня в галузі металургії чорних металів  
при Дніпропетровському металургійному інституті за адресою :  
320635, м. Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 4.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці інституту.

Автореферат надіслано "16" 04 1993 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
ради, к. т. н., доцент

Д.С. ПАНОТОВ

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00803084 (N)

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. У вітчизняній та зарубіжній практиці більшість металевих конструкцій і майже 100 % трубопроводів виготовляються з використанням електрозварних з'єднань. Найбільш ефективним способом підвищення якості зварних швів є введення в склад зварювальних матеріалів активних мікролегуючих та модифікуючих елементів. При введенні високоактивних елементів, зокрема РЗЕ і цирконію, в сталі традиційними методами виявляється цілий ряд технологічних утруднень у забезпеченні стабільного і рівномірного їх вмісту по довжині зварювального дроту. Крім того, при цьому обмежені можливості активного мікролегувального та модифікуючого впливу на метал зварної ванни. Існуючі активовані та порошкові дроти позбавлені цього недоліку, але вони значно дорожчі, складні у виробництві, вимагають спеціальної підготовки активних добавок, і, навіть, умов зберігання і транспортування. Тому актуальна розробка способів введення в сталі зварювального сортаменту добавок активних елементів, які б забезпечували отримання передбаченого і рівномірного вмісту мікролегуючих та модифікуючих елементів в активному стані, без складнощів, які притаманні виготовленню порошкових та активованих дротів.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи була розробка технології мікролегування та модифікування сталі зварювального сортаменту на стадії одержання зливка, яка б забезпечувала практично повне засвоєння високоактивних елементів та послідовне введення їх в зварну ванну в незв'язаному з домішками сталі стані. При цьому необхідно вирішити ряд завдань, а саме: оптимізувати витрати порошкових феросплавів високоактивних елементів, заповнюючих вставку композитно-мікролегованих злиwkів; обґрунтувати геометричні параметри трубочатої оболонки композитних вставок; дослідити вплив вставки на макро- і мікроструктуру металу при переробці композитних злиwkів; дослідити деформованість основного металу зливка та композитної вставки з порошків феросплавів РЗЕ та цирконію; дослідити зварювально-технологічні властивості та якість металу зварних швів, одержаних композитними зварювальними дротами; розробити технічні пропозиції по підготовці засипних елементів композитних вставок і технології одержання композитно-мікролегованих злиwkів.

Наукова новина - наукова новина розробки полягає в наступних положеннях: -В новому підході до вибору способу введення мікролегуючих або модифікуючих елементів в рідку сталь, виходячи з конкретного призначення кінцевої продукції, який дозволяє найбільш повно реалізува-

ти ефект воздії активних добавок при мінімальних їх витратах. - Розробці нового типу сталевого зливка - композитно-мікролегованого із сталі зварувального сортаменту, який вмістить композитну вставку з феросплавів мікролегуваних елементів, нового типу і високопродуктивного засобу одержання ефективного композитного зварувального дроту. - Положенні про фізико-хімічну захисну роль вуглець по відношенні до таких термодинамічно активних елементів, як РЗЕ і цирконій при температурах електродної краплі /  $T=2600-3300$  К / .

Практична цінність. Розроблено і засвоєно на металургійному комбінаті "Криворіжсталь" технологію отримання нового типу сталних злиwkів із сталі зварувального сортаменту / композитно-мікролегованих/. На Одеському сталепрокатному об'єднанні ім. Ф. Е. Дзержинського засвоєно виробництво нового типу композитного зварувального дроту, аналогічного порошковому та активованому по металургійному впливу на метал зварного шва. Використання зварувальних дротів, одержаних з композитно-мікролегованих злиwkів, забезпечує високі зварувально-технологічні характеристики процесу зварювання, зниження розбризкування та приварювання крапель, підвищення продуктивності праці зварників на 15-25%. Розроблена технологія може бути використана також для виробництва дротів для високозносостійких наплавok, зварювання чавунів, високолегованих сталей та сплавів, в тому числі з композицій, одержання яких важке, або зовсім неможливе традиційними засобами.

Реалізація роботи. Розроблено новий тип сталевих злиwkів - композитно-мікролегованих і технологія їх одержання для виробництва високоєфективного зварувального дроту з рідкісноземельними елементами та цирконієм. Відпрацьовані параметри композитних вставок і засоби їх введення відповідно до умов киснево-конвертерного цеху МК "Криворіжсталь". Запропонована технологія мікролегування сталі для зварувального дроту дозволяє знизити у 2-3 рази витрати феросплавів рідкісноземельних елементів і цирконію порівняно з традиційними засобами їх введення в ківш, або центрову. По розробленій технології на МК "Криворіжсталь" вироблена промислова партія катанки марок СвК-І4Г2Сч і СвК-09Г2СЦ із злиwkів з композитними вставками із РЗЕ і цирконіємістящих феросплавів. На ОДСПО ім. Ф. Е. Дзержинського з композитної катанки освоєно виробництво зварувального дроту діаметром 4,0 ; 2,0 ; 1,6 ; 1,2 ; 0,8 мм. Відпрацьовані режими волочіння, які показали високу технологічність одержання композитних дротів. Дроти були ефективно використані Київським НВО "Більшовик" при зварюванні металоконструкцій відповідального призначення в промислових умовах. Розроблені технічні умови на катанку /ТУ І4-228-68-92/ і зварувальний дріт /ТУ І4-287-

-02-92/ марок СвК-І4Г2Сч та СвК-09Г2СЦ.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи і окремі її результати були доповідені і обговорені на наступних конференціях і семінарах : X Всесоюзна науково-технічна конференція "Удосконалення процесів розливки і кристалізації сталі", м.Мланов, 1987р. XI Всесоюзна конференція з проблем зливка "Процеси розливки, модифікування та кристалізації сталі і сплавів", м.Волгоград, 1990 р. X Всесоюзна конференція з фізико-хімічних досліджень "Фізико-хімічні основи металургічних процесів", м.Москва, 1991 р. I Всесоюзна конференція "Теорія і практика процесів одержання біметалічних і композиційних відливок", м.Київ, 1991 р. Семінар економічної комісії ООН для Європи "металургічні вимоги виробників та споживачів до зварювності сталевих продукцій", м.Київ, 1991 р. Семінар економічної комісії ООН для Європи "Нові матеріали та їх використання в машинобудуванні", м.Київ, 1992 р.

Автор захищає. Новий підхід до вибору засобів введення мікролегувчих та модифікувчих елементів в сталі зварювального сортаменту. Новий тип сталевих зливок – композитно-мікролегованих та технологів їх одержання. Новий тип зварювального дроту. Положення про захисну дію вуглецю по відношенню до високоактивних мікролегувчих і модифікувчих елементів, зокрема рідкісноземельних елементів та цирконію, на стадії електродної краплі / $T=2600-3300$  К/.

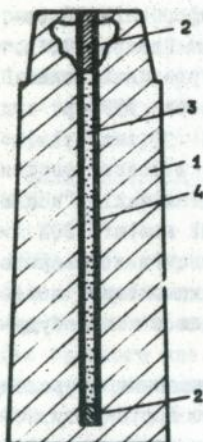
Публікації. По тематиці дисертаційної роботи опубліковано 9 друкованих робіт, одержано авторське свідчення на винахід /ДСК/.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів та загальних висновків. Основний зміст викладено на 133 сторінках машинописного тексту, містить 54 малюнка, 19 таблиць, список літератури з III найменувань та 7 додатків.

#### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

##### І. СТАН ПИТАННЯ. ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА МОДИФІКУВАННЯ СТАЛІ, ЗОКРЕМА ЗВАРЮВАЛЬНОГО СОРТАМЕНТА.

Розглянуті сучасні уяви і гіпотези стосованню механізмів модифікувчого впливу високоактивних елементів, зокрема РЗЕ і цирконію, при введенні їх в рідку сталь. Приведені характеристики найбільш широко розповсюджених в металургійній практиці засобів вводу активних добавок в сталь і оцінено їх ефективність і недоліки. Показано, що ступінь засвоєння добавок, зокрема РЗЕ, для більшості відомих засобів низька або нестабільна. Відмічається, що з наближенням моменту введення добавок до часу затвердіння металу ступінь засвоєння РЗЕ збільшується, але при цьому спостерігається нерівномірність їх розподілу по висоті



Мал. I. Схема композитно-мікролегованого зливка.

і перерізу зливка. Тому, на сьогодні, вибір засобу введення є компромісним. Вказано на низькі зварувально-технологічні властивості стандартного зварувального дроту з низьколегованої сталі. Показано, що мікролегування шляхом введення добавок активних елементів, зокрема РЗЕ і цирконію в рідку сталь, у вигляді шихти порошкових дротів, у вигляді наповнювачів профільованих канавок активованих дротів підвищує їх властивості і якість зварних швів, але кожний з цих засобів не позбавлений ряду недоліків. На основі критичного огляду запропоновано новий тип зливоків - композитно-мікролегованих для виробництва зварувального дроту типу порошкових та активованих, але без притаманних їм недоліків / мал. I/.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПОВЕДІНКИ АКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ЗЛИВКУ І ЗВАРУВАЛЬНІЙ ВАННІ ПРИ ВВЕДЕННІ ЇХ В ІЗОЛЬОВАНИЙ КОМПЗИТНИЙ ВСТАВЦІ.

2.1. Аналіз поведінки РЗЕ та цирконію при виробництві зливоків і в зварній ванні.

На базі теоретичного аналізу співставлені особливості протікання процесів взаємодії активних елементів при одержанні і зваруванні дротами суцільного перерізу і запропонованими композитними /Табл. I/.

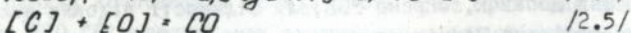
З метою обґрунтування теоретично припущених закономірностей виконали розрахунки рівноважних вмістів кисню та сірки при різних вмістах РЗЕ, цирконію, вуглецю в інтервалі температур 1750-3000 К : випуску - розливу сталі, рідкої електродної краплі та зварної ванни. Розрахунки рівноважних концентрацій реагуючих елементів були виконані з урахуванням наведених в літературі параметрів взаємодії, а активність утворених сполук вважали рівною 1, тому що вони звичайно виділяються у вигляді конденсованих фаз за реакціями :



$$\lg[\%O] = -25014/T + 7,98 - 0,67 \lg[\%Ce] + 1,16[\%Ce] \quad /2.2/$$



$$\lg[\%O] = -40926/T + 12,2 - 0,5 \lg[\%Zr] + 2,19[\%Zr] \quad /2.4/$$



$$\lg[\%O] = -10431/T - 2,140 - \lg[\%C] + 0,15[\%C] \quad /2.6/$$

Показано, що при температурах сталеплавильних процесів цирконія та

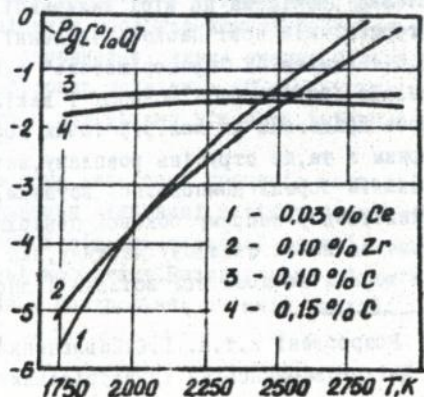
Таблиця І.

Поведінка активних елементів на переробках і при зварюванні дротами суцільного перерізу і композитними

Операції, процеси	Дроти суцільного перерізу	Запропоновані композитні
Виплавка сталі	В конвертерах, мартеновських та електропічах	
Розливка сталі	У виливниці або на МБЛЗ	
Ввод лігатур, феросплавів T=1780-1830 К	В ківш, центрову, зливки в роздрібному вигляді	В зливки або кристалізатор в нерозплавляючій оболонці
Взаємодія активних елементів з домішками сталі. T=1830-1780 К	В усьому об'ємі зливку. Ефект модифікування. Ліквіація по висоті та перерізу.	Взаємодія відсутня.
Гаряче деформування і холодне волочіння.	Зберігається ліквіація вздовж розкату.	Ліквіація відсутня. Деформація рівномірна.
Взаємодія елементів в електродній краплі. T=2600-3300 К	Практично відсутня	Розподіл добавки в об'ємі краплі. Захисний ефект вуглецю.
Взаємодія елементів в зварній ванні. T=2000-2250 К	Практично відсутня.	З домішками сталі у всьому об'ємі зварної ванни.
Кристалізація металу зварного шва. T= 1750 К	Модифікуючий ефект майже відсутній.	Рафінуючий і модифікуючий ефект.

церія є активними розкислювачами з близькою розкислювальною здібністю до приблизно 2000 К. При більш високих температурах активність цирконію, як розкислювача знижується, і на стадіях зварної ванни і краплі поступається РЗЕ. Вуглець в інтервалі температур 2400-2500 К має розкислювальну здібність порівнянну з РЗЕ, а з підвищенням температури перевершує їх.

Мал.2. Температурні залежності рівноважного вмісту кисню при концентраціях вуглецю, церія та цирконія в сталі зварювального сортаменту.



Це підтверджує вихідну посилку про доцільність внесення активних елементів в зварну зону в не зв'язанному з домішками сталі сталі. Вирізняльнов відзнаков при цьому є захисна роль вуглецю у відношенні PSE і цирконію при температурах зварювання від взаємодії їх з киснем. Це дозволяє також повніше реалізувати десульфуруючу і модифікуючу здібність PSE у відношенні до сульфідної фази в зварній ванні і зварному шві.

2.2. Математичне моделювання нагріву композитних вставок при затвердінні зливка.

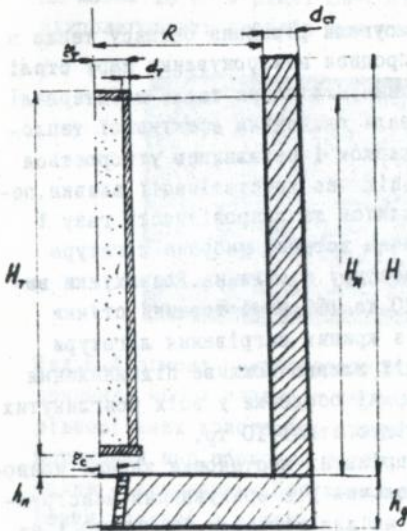
З метою прогнозування поведінки композитних вставок, заповнених мікролегуючими добавками, в рідкому ядрі зливка були використані дві математичні моделі.\*

У першому випадку вирішували сумісну задачу конвективного теплопереносу та гідродинаміки розплаву у період заповнення виливниці з передчасно встановленою вставкою. Математична модель заснована на наступних положеннях: - гідродинаміка процесу - на рівняннях Нав'є-Стокса руху в'язкої нестискаємої рідини; - теплотіка процесу - на рівняннях конвективного теплопереносу з врахуванням процесів намоорожування корки на композитну вставку та можливості її розплавлення. Прийнято, що віддача тепла відбувається тільки з бокової та нижньої поверхні виливниці за рахунок конвективного теплообміну та випромінюванням. Приховане тепло кристалізації сталі і розплавлення феросплава / усереднені композитної вставки / проявляється у зміні ефективного коефіцієнта теплоємності. Порошок феросплава рахували однорідним дрістим середовищем з перерахунком значень теплопровідності по прийнятим в порошківій металургії формулам. Прийнято також, що виливниця має циліндричну форму, еквівалентну реальному прямокутному перерізу, композитна вставка розміщена по висі виливниці. Програма розрахунку написана на алгоритмічній мові Паскаль. Численні рішення виконували пристосовно до 12,5 т зливка МК "Криворіжсталь" для двох наповнювачів композитної вставки /ФСЗОРМ30 і ФСІр50/ і декількох її розмірів, розрахункова область приведена на мал.3.3 точки зору гідродинаміки, найбільш характерним є те, що струмінь розплаву, витікаючи з стаканчика вдаряється о нижній торець композитної вставки, в результаті чого напрям потоку змінюється у напрям бокової поверхні виливниці, а сам потік розділяється на нижню складову частину, яка утворює тороподібний вихор між торцем композитної вставки і дном виливниці, і верхню - яка

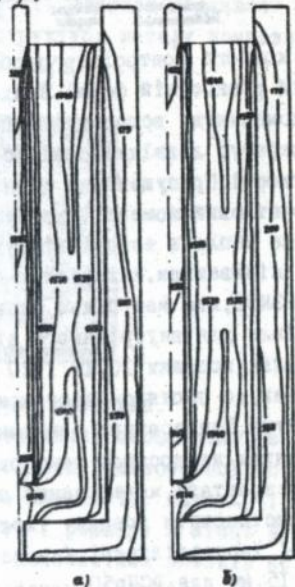
\* Розроблені к.т.н. І.С.Павлюченковим і к.ф-м.н. С.Є.Самохваловим / Дніпродзержинський індустріальний інститут /.

рухається практично однорідним потіком догори з максимальною швидкістю у центрі потоку на відстані  $r = 1/2 R$ .

Загальні закономірності розташування ізотерм зумовлені гідродинамікою розплаву: найбільш гаряча зона у розплаві знаходиться біля стаканчика, та по кільцю з радіусом  $1/2 R$ , у виливниці - на  $1/5 H$  висоти. В композитній вставці основне теплове навантаження від струєно металу приймає нижній торець /мал.4/.



Мал.3. Геометрія розрахункової області.



Мал.4. Ізотерми на кінець заповнення зливків /а. FCr50, б. FC30P3M30/.

Деякі відміни теплових обставин для різних феросплавів пояснюються різницею теплофізичних коефіцієнтів. Оболонка композитної вставки з FCr50 прогривається на кінець заповнення зливка значно більше, ніж з FC30P3M30. В перші моменти на оболонку вставки з FCr50 більш інтенсивно намерзає шар сталі, проте в дальнішому він може інтенсивніше оплавлятися.

Друга математична модель створена для опису процесів затвердіння зливка зі вставкою після наповнення виливниці у відсутності конвективних потоків, у формі однорідної вісьосиметричної задачі теплопровідності в циліндричній системі координат. Розрахункова область розділена нерівномірною сіткою на  $N$  контрольних об'ємів /мал.5/.



Мад.5. Розрахункова область.

Для кожного контрольного об'єму записували рівняння балансу тепла в явній різностній формі. Враховували процеси наморозування шару сталі на композитну вставку і його оплавлення. Виділення тепла в інтервалі температур ліквідус-солідус урахували введенням ефективною теплоємності. Припущено, що щільна між зливком і виливницею утвориться в початковий момент і не змінюється під час кристалізації зливка, передача тепла в зазорі відбувається шляхом теплопровідності газу і випромінюванням. Матеріалом-наповнювачем вставки вибрана лігатура ФСЗОРМ30, яка має більш низьку температуру плавлення. Розрахунки виконували для внутрішнього діаметру 80 та 100 мм і товщини стінки оболонки вставки 10, 16 і 20 мм. Аналіз кривих нагрівання лігатури показав, що протягом часу кристалізації зливка можливе підплавлення лігатури. Температура зовнішньої поверхні оболонки у всіх розглянутих варіантах не досягає температури солідус сталі 10 тр.

Результати моделювання по двох варіантах постановки задачі дозволили встановити товщину ізолюючої оболонки / з врахуванням конструктивної термостійкості / - не менш 20 мм для лігатури ФСЗОРМ30 і не менш 15 мм для ФСЦр50.

2.3. Фізичне моделювання нагрівання порошкових феросплавів РЗЕ і цирконів.

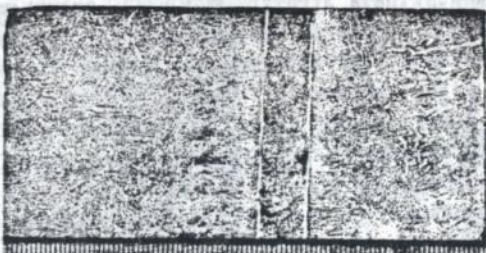
Використовували експериментально-розрахунковий метод, заснований на графічних рішеннях диференційного рівняння теплопровідності по експериментально одержаним швидкостям нагрівання зразків. Одержані залежності зміни температури в центрі порошкових зразків феросплавів промислового дріблення / -5,0 мм, 50% менш 1 мм / і фракції -0,5 мм істотно не різнилися. Розраховані значення теплопровідності знаходяться в інтервалі 0,3-1,5 Вт/м К для лігатури ФСЗОРМ30 і 0,3 - 1,0 Вт/м К для ФСЦр50, що на знак нижче розрахованих за формулами, якими звичайно користуються у порошковій металургії і застосованих при математичному моделюванні. Напевне, з врахуванням уточнених значень теплопровідності час прогріву порошоків усередині композитної вставки до постійної температури може бути декілька більшим, ніж отриманий при математичному моделюванні. Водночас, оболонка вставки може

## II

знаходиться в більш жорстких теплових умовах.

### 3. ЛАБОРАТОРНІ ЕКСПЕРИМЕНТИ ПО ОДЕРЖАННЮ ЗЛИВКІВ З КОМПЗИТНИМИ ВСТАВКАМИ З ФЕРОСПЛАВІВ МОДИФІКУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ.

Для попереднього визначення можливості використання як наповнювачів композитних вставок феросілікоцирконію, лігатури РЗЕ, а також дослідження макроструктури і деформуємості злиwkів відливали злиwки масою 10 кг з сталі Св-08Г2С. Макроструктура металу композитно-мікролегованих злиwkів має чотири зони /мал.6/ :



Мал.6. Фрагмент макроструктури лабораторного злиwка.

основний метал злиwка з характерними ділянками стовпчатих дендритів, рівновісних кристалів; прилеглий до оболонки композитної вставки на-морожений шар, оболонка труби, оформлююча композитну вставку і феросплав - наповнювач. Порухення суцільності і розшару в місці встановлення вставок в злиwках і при проковці композитних злиwkів не знайдено. Встановлено, що при проковці композитних злиwkів розміри вставок змінюються пропорційно зменшенню діаметру поковки.

Одержані результати дозволили зробити висновок про принципову можливість одержання і переробки композитних злиwkів з вставками із кремністих феросплавів РЗЕ і цирконію, а результати попередніх зварювальних випробувань показали перспективність використання запропонованої технології.

### 4. ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВІ ЕКСПЕРИМЕНТИ І ДОРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ КОМПЗИТНИХ ЗЛИВКІВ, ЗАГОТОВОК ТА ЗВАРЮВАЛЬНОГО ДРОТУ З ВСТАВКАМИ ІЗ ЛІГАТУР АКТИВНИХ МІКРОЛЕГУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ.\*

Дослідно-промислове опрацювання технології одержання композитних злиwkів, прокатки їх на заготовку  $\varnothing$  80 мм і катанку  $\varnothing$  6,5 мм здійсню-

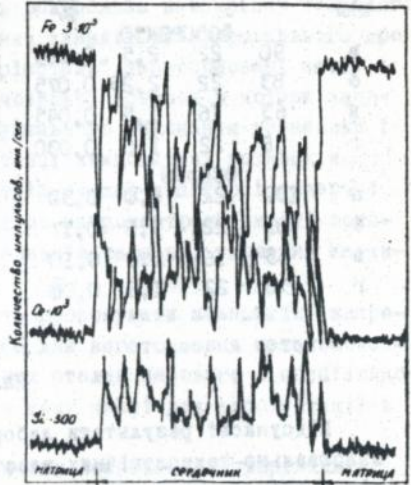
\* Експерименти виконані у співробітництві з Інститутом чорної металургії АН України / Науковий керівник доктор технічних наук Віхлевчук В.А. / .

вали на металургійному комбінаті "Криворіжсталь". Композитний зварувальний дріт з катанки отримували на Одеському сталепрокатному об'єднанні шляхом послідовного волочіння на діаметр 4,0 ; 2,0 ; 1,6 ; 1,2 і 0,8 мм по дірчій технології. Для порівняння брали зливки, заготовки і дроти плавок зварувальної сталі поточного виробництва марок Св-08Г2С / ДОСТ 2246 /, Св-09Г2СЦ / ТУ І4-І-3735-84 / і Св-І4Г2Сч / ТУ І4-І-3487-82 /. Оболонки композитних вставок виготовляли із сталевих труб / ІО - 20 тр /. Геометричні параметри вставок / внутрішній діаметр та товщину оболонки / визначали виходячи з завданної кількості мікролегувчого елемента та з врахуванням результатів математичного моделювання. Витрати лігатури ФСЗОРЗМЗО складали 1,0 - 4,5 кг/т сталі, ФСЦр50 І,3 - 6,0 кг/т сталі. Випробувано два варіанта введення композитних вставок : встановлення до початку розливки і примусовий ввід після кінця наповнення / через І - 5 хв. /. Для всебічних досліджень на кожній плавці відбирали поперечні темплети від І6 - І8 заготовок та катанки по горизонталі розкату злиwkів, а також зразки дротів на переробці до дроту  $\phi$  0,8 мм.

Дослідження макроструктури металу заготовки показало наявність нерозплавленої композитної вставки на всіх горизонтах злиwkів, типу приведеної на мал.6. Виявляються наступні зони : матриця-основний метал зливка, шар металу, закриталізованого на оболонці вставки і власне композитна вставка з матеріалом-наповнювачем. Зовнішніх дефектів як і на порівняльному металі не виявлено. Введення композитної вставки приводить до зниження або усунення вісьової дірчатості і підсачочних дефектів, завдяки тепловій воздії вставки як макрочолодильника. Як і слід було очікувати за результатами макродосліджень, мікроструктура металу заготовки, катанки і зварувального дроту різних діаметрів має зональний характер. Основний метал має різнозеренну ферітоперлітну структуру, типову для низьковуглецевих низьколегованих сталей. Структура намороженого шару - відманштетт, оболонки вставки - практично чистий феріт. Мікроструктура матеріалів - наповнювачів композитних вставок характерна для кремністих феросплавів РЗЕ та цирконію і являє собою складний конгломерат інтерметалевих фаз - сполук  $Fe$ ,  $Si$ , РЗЕ і цирконію, про що свідчать дослідження за допомогою мікрорентгеноспектрального аналізатора MS.46 "Cameca" / мал.7./.

Відсутність розшару, тріщин та інших дефектів підтвердило технічну можливість одержання композитно-мікролегованих злиwkів і переробки їх на дріт.

Особливо переконливо це підтверджено дослідженнями деформованості



Мал.7. Мікроструктура металу композитного дроту  $\varnothing$  0,8 мм з ФСЗОРЗМЗ0 /а/ і розподіл елементів по його перерізу /б/.

основного металу зливка і матеріалів наповнювачів вставки при гарячій і холодній переробці :

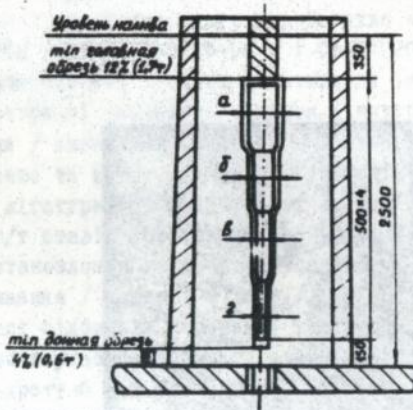
Найменування профіля	Розміри профіля, мм	Площа перерізу профіля, мм <sup>2</sup>	Діаметр вставки, мм	Площа вставки, мм <sup>2</sup>	Відношення площ вставки і профіля
1.Зливка	760x895	680000	133	13900	0,0204
2.Заготовка	80x80	6400	12,8	129,3	0,0202
3.Катанка	$\varnothing$ 6,5	33,2	0,91	0,648	0,0195
4.Дріт	$\varnothing$ 4,0	12,58	0,60	0,282	0,0224
5.Дріт	$\varnothing$ 2,0	3,14	0,30	0,064	0,0224
6.Дріт	$\varnothing$ 0,8	0,505	0,115	0,0103	0,0205

Отже, при переробці композитних зливок масою 12,5 т до дроту  $\varnothing$  0,8 мм відношення площ поперечного перерізу профіля і вставки зберігається постійним, нерівномірності пошарової деформації не виявлено.

Дослідження зварвально-технологічних властивостей проводили на дротах з композитних зливок серії дослідно-промислового виробництва і на дротах із спеціально відлитою зливкою для оптимізації витрат

при вилученні впливу коливань хімічного складу основного металу. Для цього були відлиті два зливка масою 12,5 т з ступінчастими композитними вставками, схема яких приведена на мал.8, а параметри ступенів приведені нижче:

Ступені вставки	$d_{\text{вн}}$ , мм	$\delta$ , мм	Витрати кг/т	Витрати %РЗЕ або Zr
ФСЗОРЗМ30				
а	90	22	2,5	0,085
б	83	22	2,25	0,075
в	63	16	1,5	0,045
г	58	22	1,0	0,030
ФСПр50				
а	100	22	6,0	0,30
б	83	22	3,5	0,17
в	63	16	2,0	0,10
г	58	22	1,6	0,08



Мал.8.Схема зливка з ступінчастов вставков.

Підсумкові результати лабораторних і промислових випробувань зварувально-технологічних властивостей композитних зварувальних дротів з оптимальними витратами мікролегувчих елементів / ФСЗОРЗМ30 - 1,0 - 1,5 кг/т, ФСПр50 - 1,6 - 2,0 кг/т сталі / і порівняльних поточного виробництва приведені нижче /дроти  $\phi$  2,0 мм, режими зварювання  $I_{\text{зв}}=220-700$  А,  $U_{\text{д}}=22-44$  В / :

Марка дроту	Полярність	Характер горіння дуги	Коефіцієнт КР з розбризкування/КР/, %		Продуктивність правки зварників, од.
Св-08Г2С	зворотна	Ерсткий з розбризкуванням	8 - 15	12 - 16	1
Св-09Г2СЦ	зворотна	Стійкий з незначним потріскуванням	3 - 5	6 - 8	1,2 - 1,25
СвК-09Г2СЦ	зворотна	Стійкий з незначним потріскуванням	3 - 5	6 - 8	1,2 - 1,25
Св-14Г2Сч	пряма	М'який, рівномірний, струмінний	не більш 3	3 - 5	1,1 - 1,15
СвК-14Г2Сч	пряма	М'який, рівномірний, струмінний	не більш 3	3 - 5	1,1 - 1,15

Як видно, зварувально-технологічні властивості композитних зварувальних дротів і дротів суцільного перерізу аналогічного складу ідентичні. Однак, досягаються вони при вводі значно /у 2-3 рази/ меншої кількості мікролегувчих добавок. Крім того не виявлено відмін

властивостей дротів з різних горизонтів зливка, що звичайно спостерігається для дротів із сталі Св-І4Г2С4 з введенням РЗЕ в центрову.

#### 5. ТЕХНІЧНІ ПРОПОЗИЦІЇ ПО ПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВУ КОМПОЗИТНО-МІКРОЛЕГОВАНИХ ЗЛИВКІВ ДЛЯ ЗВАРВАЛЬНОГО ДРОТУ ТА ЇХ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

На основі проведених досліджень розроблена навскрізна технологія виробництва композитно-мікролегованих зливків та зварувального дроту з них. Для умов ККЦ №1 МК "Криворіжсталь" запропоновані засіб і пристрій для одночасного введення чотирьох вставок в чотири зливки. Видані вихідні вимоги до конструктивного виконання установки і для проектування ділянки по підготовці композитних вставок, яка включає заглиблену шахту, вібропристрій, бункер-дозатор і подавчий жолоб. Розроблені технічні нормативи по макроконтролю якості заготовок з композитно-мікролегованих зливків, технічні умови на катанку і зварувальний дріт.

Проведені дослідження дозволяють пропонувати композитні зварувальні дроти СвК-І4Г2С4 і СвК-09Г2СЦ для виготовлення металоконструкцій з вуглецевих і низьколегованих сталей масового і спеціально призначення, машин і механізмів, в тому числі для експлуатації в умовах низьких температур.

При промисловому використанні нових композитних зварувальних дротів виявлені наступні техніко-економічні переваги: - процес горіння дуги відрізняється високою стабільністю, загальні збитки на угар і розбризкування для дроту діаметром 2 мм не перевищують 3-5%; - підвищується продуктивність праці зварників на І5 - 25 %.

Це забезпечує економічну ефективність у споживачів зварувального дроту в розмірі не менш І60 крб/т /в цінах І990р/ в порівнянні із стандартним дротом Св-09Г2С, на рівні дротів Св-09Г2СЦ і Св-І4Г2С4 але в порівнянні з останніми, при виробництві композитних зварувальних дротів витрати феросплавів зникають в 2-3 рази.

Уявляється перспективною розробка і створення композитних зварувальних дротів для зварювання чавуну, високолегованих сталей і сплавів і наплавки. Для поширення обсягів виробництва композитних зварувальних дротів можна радити розроблену технологію до опанування на Макеївському метзаводі, Західно-Сибірському меткомбінаті /м.Новокузнецьк/, а також безперервною заготовкою на Бєларуському метзаводі /м.Тлобін/ та Молдавському метзаводі /м.Рибиця/.

#### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

І. На основі літературних даних встановлено що: - вибір засобу введення модифікаторів та мікролегованих, зокрема РЗЕ і цирконів, в пар-

шу чергу повинен визначатися кінцевим призначенням металопродукції; -відомі металургічні засоби введення РЗЕ та цирконію в сталі зварвального сортаменту не забезпечуть достатню ступінь засвоєння і рівномірність розподілу їх вздовж дроту, а їх вплив на метал зварного шва незначний, бо вони надходять до зварної ванни в зв'язаному з домішками сталі стані; -одержання порошкових і активованих дротів зв'язано зі значними технічними та економічними труднощами.

2. Теоретично обгрунтована доцільність розробки таких металургічних засобів введення активних елементів в сталі зварвального сортаменту, які б забезпечували їх надійдення у зварну ванну в незв'язаному з домішками сталі /кисень, сірка та інші/ стані. Встановлено, що при температурах електродної краплі /2600-3300 К/ в процесі зварвання виявляється ефект фізико-хімічного захисту РЗЕ та  $Zr$  від окислення за рахунок вуглецю. Це дозволяє повніше реалізувати десульфуруючу і модифікуючу здатність активних елементів на стадії формування шва.

3. Розроблено новий тип злиwkів - композитно-мікролегованих і технологія їх промислового отримання для виробництва зварвального дроту з вставками із РЗЕ- та цирконійвмістячих феросплавів /дроти СвК/.

4. На основі результатів математичного і фізичного моделювання, лабораторних досліджень, дослідно-промислового випробування і спеціальних експериментів по оптимізації витрат феросплавів відпрацьовані геометричні параметри композитних вставок, які забезпечують нерозплавлення оболонки в рідкому ядрі затвердіваючого зливка і норми витрат РЗЕ- та цирконійвмістячих феросплавів, пристосовано до злиwkів масою 12,5 т МК "Криворіжсталь": товщина стінки не менш 15-20 мм, витрати лігатури  $DC3CP3M30$  - 1,0-1,5 кг/т сталі і  $DCCr50$  - 1,6-2,0 кг/т проти 3,0-4,2 і 4,0-5,0 кг/т сталі, відповідно, при введенні їх в центрову і ківл.

5. Дослідження макро- і мікроструктури металу заготовки, катанки і дротів встановлено, що : - при переробці композитних злиwkів масою 12,5 т з вставкою навіть з малопластичних кремністих феросплавів РЗЕ і цирконію до дроту  $\varnothing$  0,8 мм співвідношення площ поперечного перерізу вставки і профілю зберігається постійним, нерівномірності пошарової деформації немає ; - на макротемплетах від усіх І6-І8-ти горизонтів по довжині розкату зливка чітко виявляється викатана вставка; це, а також відсутність тріщин та інших дефектів в структурі підкатів та катанки підтверджує технологічність одержання композитних заготовок та катанки ; - аж до дроту діаметром 0,8 мм усередині вставки зберігається зміст та структура характерні для кремністих феросплавів РЗЕ чи цирконію.

6. Дослідження зварувально-технологічних властивостей композитних зварувальних дротів по стандартним методикам в умовах ІЕС ім.Є.О.Патона і при виготовленні металоконструкцій відповідального призначення на Київському НВО "Більшовик" показали, що : - при зварюванні композитними зварувальними дротами СвК-І4Г2С4 і СвК-09Г2СЦ забезпечується стабільний процес з коефіцієнтом розбризкування 1,5-3 % і 3-5 % відповідно ; - знижується приварення бризок ; - відсутні відміни стабільності горіння дуги при використанні дроту СвК-І4Г2С4 з різних горизонтів зливка ; - можливе підвищення продуктивності праці зварників / процесу зварювання / на 10-15 і 20-25 % відповідно. Одержаний рівень зварувально-технологічних властивостей дротів СвК-І4Г2С4 та СвК-09Г2СЦ, аналогічний дротам Св-І4Г2С4 і Св-09Г2СЦ, але досягається при значно / в 2-3 рази / меншій кількості введених РЗЕ і  $Zr$ .
7. На основі одержаних результатів розроблені : - новий тип композитно-мікролегованих злиwkів для виробництва зварувального дроту ; - технічні пропозиції по технології підготовки і введення вставок при виробництві злиwkів ; - технічні умови на композитні катанку і зварувальний дріт ; - рекомендації по розширенню обсягів виробництва композитно-мікролегованих злиwkів для одержання електродів, зварувального і наплавочного дротів.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ ВИКЛАДЕНО У СЛІДУЮЧИХ ПРАЦЯХ:

1. Получение слитков сварочной стали с сердечником из высокоактивных элементов / А.П.Стопченко, В.А.Поляков, В.Р.Покладий и др. // Тез. докл. XI Всесоюз. конф. "Процессы разлиwки, модифицирования и кристаллизации стали и сплавов", - Волгоград: ВДНТ, 1990, ч. I, с. I77.
2. Физико-химические особенности модифицирования высокотемпературного расплава в сварочной зоне / А.П.Стопченко, И.Н.Зигало, В.А.Вихлевшук и др. // Научн. сообщения X Всесоюз. конф. "Физико-химические основы металлургических процессов" - М.: Черметинформация, 1991, с. I89.
3. Разработка и исследование новых типов электродной проволоки для сварки в защитных газах / А.П.Стопченко, Ю.Грецкий, В.Покладий и др. // Доклад на семинаре ЕЭК ООН по металлургическим требованиям производителей и потребителей к свариваемости стальной продукции. - Киев, 1991. Тираж 400 экз.
4. Теплофизические и гидродинамические особенности заполнения слитка с нерасплавляющимся сердечником / И.Н.Зигало, А.П.Стопченко, С.Е.Самохвалов // Тез. докл. I Всесоюз. конф. "Теория и практика процессов получения биметаллических и композиционных отливок" - К.: Об-во "Знання" України, 1991, с. 8
5. Исследование поведения трубчатого элемента с микролегирующими

добавками в жидкой сердцевине слитка / А.П.Стопченко,И.А.Павлюченков, И.Н.Зигало // там же, с.5.

6. Применение нетрадиционной технологии модифицирования при производстве композитной сварочной проволоки из слитков / И.Н.Зигало, А.П.Стопченко,В.Р.Покладия // там же, с.50.

7. Стабилизированная сварочная проволока сплошного и многослойного сечения / В.Я.Грецкий,В.Р.Покладия,В.А.Вихлевдук,В.А.Поляков, А.П.Стопченко,И.Н.Зигало // Аннотации стендовых докладов участников семинара ЕЭК ООН "Новые материалы и их применение в машиностроении" /Киев,13-16 октября 1992 г./ АН Украины : ИПМ.-К.: КИИГА,1992 - 156 с.

8. А.С.1515510 /СССР/ МКИ В 22Д 7/00.Стальной слиток / И.Н.Зигало, К.С.Просвирина,А.П.Стопченко и др. // Заявк № 4149460/31-02 от 25.08.1990 - ДСП.

Підписано до друку 12.04.1993.

Формат 60x84/16. Папір друк. № 2. Друк офсет-на.

Фіз.друк,арк. 1,0. Облік.-вид.арк. 0,84. Умов.друк.арк. 0,93.

Тираж 100 пр. Замовлення 277. Безкоштовно.

Дніпропетровський металургійний Інститут,

320635, Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 4

ДЗ ДМетІ, 320005, Лошманське шосе, 3-6.



АВ 27.136

БЕЗКОШТОВНО