

АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ім. Є. О. ПАТОНА

На правах рукопису

**ПЕРЕХРЕСТОВА**  
*Валентина Іванівна*

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЗВАРЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ  
РУТИЛОВОГО ТИПУ НА ОСНОВІ АНАЛІТИЧНОГО  
КОНТРОЛЮ ВИРОБНИЦТВА**

**05.03.06 —**

**технологія і машини зварювального виробництва**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ 1993



Робота виконана на Дніпропетровському державному метизно-виробничому об'єднанні.

Наукові керівники: академік АН України  
Походня І.К.;  
доктор технічних наук  
Карманов В.І.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук  
Шлепаков В.М.;  
кандидат хімічних наук  
Шевченко Л.Д.

Провідне підприємство: Одеське сталепрокатне  
об'єднання.

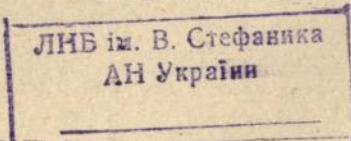
Надсилаємо Вам для ознайомлення автореферат дисертації інженера Перехрестової В.І.

Просимо Вас і співробітників Вашої організації, зацікавлених темою дисертації, взяти участь в засіданні спеціалізованої вченої ради або надіслати свої відзиви (1 екз., засвідчений печаткою) за адресою: 252650, Київ-5, МСП, вул. Боженка, 11, вченому секретарю спеціалізованої вченої ради.

Захист відбудеться 23.06 1993 р. о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 016.08.01 при Інституті електрозварювання ім. Є.О.Патона АН України.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Інституту електрозварювання.

Автореферат розісланий 21 черв. 1993 р.



Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
кандидат технічних наук

Нестеренков Нестеренков В.М.

Актуальність теми. Зростаючі вимоги до експлуатаційної надійності зварних конструкцій вимагають підвищення якості зварювальних матеріалів. Масовий характер і інтенсифікація виробництва підвищують ймовірність збоїв технології, відхилень і порушень в роботі обладнання при виготовленні зварювальних матеріалів. Контроль технологічного процесу і сертифікація продукції виконується, в основному, з допомогою методів визначення механічних характеристик зварних з'єднань. Це не дозволяє своєчасно і в потрібних об'ємах контролювати готову продукцію, а тим більше впливати на технологічний процес. Для вирішення цих завдань перспективним можна вважати рентгеноспектральний метод аналізу. Він дозволяє своєчасно отримати інформацію про хімічний склад сировини, шихти електродного покриття, порошкового дроту, флюсів, визначити відповідність готової шихти рецептурному складу. Використовуючи математичні моделі, на основі цієї інформації можна оперативне прогнозувати характеристики готової продукції, зменшити обсяг контрольованої партії матеріалів та зробити контроль більш представницьким.

Створення системи на основі оперативного аналітичного контролю якості зварювальних матеріалів, безумовно, є актуальним завданням.

Мета роботи. Розробити математичні моделі, які дозволять розраховувати на ЕОМ хімічний склад та механічні властивості наплавленого металу, створити на цій основі систему контролю виробництва електродів і порошкового дроту рутилового типу, як найбільш масових зварювальних матеріалів.

Для вирішення цього завдання було потрібно:

1. Встановити фактори, які визначально впливають на якість виготовлення зварювальних матеріалів.

2. Створити математичні моделі для розрахунку на ЕОМ хімічного складу і механічних властивостей наплавленого металу за результатами контролю готової шихти та вхідного контролю використаних сировинних матеріалів.

3. Опрацювати методичні питання та програмне забезпечення системи контролю виготовлення зварювальних матеріалів на основі рентгеноструктурного флуоресцентного аналізу (РСФА) та статистичних методів.

Наукова новизна. Опрацьовано новий підхід до контролю та керування якістю виготовлення зварювальних матеріалів на основі оперативної аналітичної інформації про склад шихти готового замісу, розрахунку приймально-здавальних характеристик готової продукції (хімічного складу та механічних властивостей наплавленого металу) за допомогою запропонованих математичних моделей і використання статистичних методів керування. Обґрунтовано використання вмісту марганцю і кремнію в наплавленому металі як контрольованих параметрів.

Доведено, що для налагодженого технологічного процесу розподіл цих параметрів відповідає нормальному закону. Показано, що основна причина невідповідності хімічного складу і механічних властивостей наплавленого металу (НМ) вимогам НТД криється в порушенні режимів дозування та змішування шихт.

Створено математичні моделі, які дозволяють за результатами контролю шихти (з коефіцієнтом кореляції  $R=0,89...0,95$  та мінімальною залишковою дисперсією) розраховувати хімічний склад та механічні властивості НМ для електродів АНО-4 при обмеженнях:  $Mn=0,34...1,30$  %;  $Si=0,06...0,20$  %;  $S=0,016...0,055$  %;  $P=0,019...0,090$  %;  $\sigma_T=470...550$  МПа;  $\delta =16...30$  %;  $a_H =100...211$  Дж/см<sup>2</sup>; та металу, наплавленого порошковим дротом ПП-АН8:  $Mn=0,7...1,6$  %;  $Si=0,20...0,30$  %;  $S=0,015...0,025$  %;  $P=0,026...0,038$  %;  $C=0,06...0,11$  %;  $\sigma_B=560...640$  МПа;  $\delta =20...29$  %;  $a_H =70...156$  Дж/см<sup>2</sup>. Використання запропонованих математичних моделей дозволяє розраховувати нормовані механічні властивості НМ для складів шихти, де кількість складових відрізняється від рецептурних в 1,5...2,5 рази. Достовірність одержаних результатів підтверджено порівняльними випробуваннями за ГОСТ 9667-80.

На захист винесено. Результати розробки і впровадження системи забезпечення якості зварювальних матеріалів, заснованої на аналітичному контролі їх виробництва і статистичних методах керування, математичні моделі, призначені для розрахунку на БОМ хімічного складу готових замісів шихти рутілових електродів АНО-4 та порошкового дроту ПП-АН-8 та для прогнозування хімічного складу і механічних властивостей НМ.

Практичне значення роботи. Система оперативного контролю технологічного процесу виготовлення зварювальних матеріалів і функціонування технологічного обладнання впроваджена на Дніпропетровському метизному ВО, де щороку випускається до 40 тис. т зварювальних

матеріалів. Необхідні дані для освоєння цієї системи також передано Одеському сталепрокатному ВО. Використання системи дозволило підвищити якість зварювальних матеріалів і ефективність виробництва за рахунок зниження трудозатрат на виготовлення і випробування некондиційної продукції та ліквідацію необоротних втрат сировини та електроенергії.

Загальний економічний ефект на ДМВО складає 5,8 млн. крб./рік, особиста частка автора в його досягненні - 50 відсотків.

Обсяг і структура дисертаційної роботи. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаної літератури (ІІВ найменувань) та додатків. Дисертація викладена на 186 сторінках машинопису, 49 таблиць та 45 рисунків.

Вступ. Обґрунтована актуальність проблеми та сформульовані завдання роботи.

Перший розділ. Аналіз літературних даних про особливості виробництва зварювальних матеріалів, способах контролю та приймання готової продукції.

Другий розділ. Розглянуто питання контролю та керування якістю виготовлення зварювальних матеріалів на підставі аналітичних методів.

Третій розділ. Розглянуто питання аналітичного контролю при виробництві електродів АНО-4. Отримані рівняння для розрахунків на ВОМ за результатами РСФА хімічного складу та механічних властивостей НМ для електродів АНО-4. Наведено результати використання напрацьованої системи аналітичного контролю у виробництві електродів АНО-4 на ДМВО.

В четвертому розділі розглянуто методичні особливості аналітичного контролю шихти порошкового дроту ПП-АН8. Биведено рівняння для розрахунків за даними РСФА шихти хімічного складу і механічних властивостей металу, наплавленого порошковим дротом ПП-АН8.

Апробація роботи. Найважливіші матеріали по змісту дисертації доповідались на Всесоюзній нараді по рентгеноспектральному аналізу (Іркутськ, 1989), Всесоюзній конференції по зварювальних матеріалах (Краснодар, 1990), Українській науково-технічній конференції "Сучасні методи спектрального аналізу в чорній металургії" (Дніпропетровськ, 1990, 1993), на семінарах "Нові матеріали для електродугового зварювання" (Київ, 1980, 1989 і 1991), "Досвід і проблеми використання обчислювальної техніки в спектральному аналізі" (Дніпропетровськ, 1992), на технологічному семінарі ІЕЗ ім. Є.О.Патона.

Публікації. Основний зміст роботи викладено в 9 публікаціях.

#### Основний зміст роботи

Сучасний обсяг зварювальних робіт в основному виконується електродуговим зварюванням плавким електродом. Співробітниками Інституту електрозварювання ім. Є.О.Патона В.М.Шлепаковим, І.Р.Явдошним, А.Ю.Марченком, В.Ф.Альтером і ін. під керівництвом академіка АН України І.К.Походні створена гама різноманітних марок електродів та зварювального порошкового дроту серій АНО і ПП-АН для зварювання малозуглецевих та низьколегованих сталей і опрацьована технологія їх масового виробництва.

В першому розділі розглянуті характеристики електродів та порошкового дроту рутилового типу і технологічні особливості їх виробництва. Проаналізовані можливості, виявлені недоліки і обмеження наявних схем контролю та способів приймання готової продукції. На підставі літературних даних розглянуті особливості рентгеноспектрального флуоресцентного методу аналізу багатоконпонентних гетерогенних матеріалів, математико-статистичних методів та можливості їх використання для виробництва зварювальних матеріалів (ЗМ). Сформульовані завдання і основні напрямки досліджень.

В другому розділі розглянуті наступні питання.

2.1. Дослідження факторів, визначальних для якості виробництва електродів і порошкового дроту. Механічні характеристики металу, наплавленого електродами та порошковим дротом, залежать, перш за все, від їх хімічного складу, який багато в чому визначається складом шихти ЗМ, стержнів, стрічки-оболонки. Значно впливати на нього можуть технологічні умови виготовлення ЗМ та режими зварювання при випробуваннях. Для електродів рутилового типу розглянуто вплив товщини, ексцентричності покриття та кількість (доза) рідкого скла в масі обмазки на хімічний склад ММ. Всі параметри варіювали в межах традиційних допусків, регламентованих нормативною документацією. Результати хімічного аналізу ММ довели, що вплив цих факторів на вміст марганцю та кремнію малозначний і звичайно знаходиться в межах допуску на вміст цих елементів. Вміст марганцю та кремнію визначається, головним чином, складом шихти, тобто залежить від роботи дозувальних ліній. Хімічний склад металу, наплавленого електродами, виготовленими з шихти різних замісів, але віднесених до однієї партії, може бути різним (табл. 1).

Таблиця І. Хімічний склад металу, наплавленого електродами АНО-4 із різних замісів однієї партії

No замісу	Вміст елементів, відсотки				
	Вуглець	Марганець	Кремній	Фосфор	Сірка
I-1	0,068	0,48*	0,1	0,037	0,022
I-4	0,09	0,58	0,08	0,036	0,023
I-5	0,055	0,48*	0,064	0,030	0,023
I-6	0,08	0,50	0,12	0,035	0,034
I-7	0,07	0,68	0,08	0,033	0,022
I-8	0,06	0,45*	0,078	0,03	0,03
середнє значення	0,072	0,53	0,087	0,032	0,026

\* - значення за межами вимог ТУ.

2.2. Система аналітичного контролю шихти. Аналітичний контроль у виробництві ЗМ повинен:

- забезпечити постійний потік інформації про склад використовуваних сировинних матеріалів;
- оперативно виконувати аналіз статистично-представницької вибірки зразків контрольованої сухої шихти;
- співставляти її фактичний склад з рецептурним;
- видавати рекомендації по коригуванню шихти в випадках відхилень її складу від паспортних даних, при збоях в роботі ліній дозування чи зміні хімічного складу компонентів шихти.

В умовах масового виробництва ЗМ ефективним може бути контроль на основі рентгеноспектрального флуоресцентного аналізу (РСФА) в поєднанні зі статистичними методами. РСФА можна з успіхом використовувати для контролю хімічного складу сировини, роботи дозувальних пристроїв, а його результати - для прогнозування хімічного складу і властивостей металу шва. Використані в роботі технічні засоби аналітичної системи складались з багатоканального рентгенівського спектрометра (СРМ-20М) з ПЕОМ, рентгеноспектрального аналізатора БАРС-3 та засобів приготування проб (механічна ступка СМБП, вібро-млинок 75-ДР, пристрій для пресування зразків).

У відповідності з цією схемою після завершення операції дозування та змішування з різних місць змішувача відбирають проби сухої шихти, після чого для кожної проби послідовно визначається склад контрольованих елементів. Для шихти електродів АНО-4 це Mn, Ti, K, Si, Al, Mg, а для шихти ПП-АН-8 - Fe, Mn, Ti, Si.

Через наявність похибок в роботі дозувальної лінії, можливих порушень змішування компонентів, а також наявності певної помилки РСФА вихідних сировинних матеріалів та шихти абсолютної відповідності результатів аналітичного контролю шихти з її рецептурним складом досягти неможливо.

Співставляючи хімічний склад шихт та НМ, одержали регресійні рівняння, які зв'язують хімічний склад НМ з елементним складом шихти. Ці рівняння дозволяють розрахувати очікуваний склад НМ та оцінити його відповідність вимогам ТУ або стандарту. Прогноз хімічного складу НМ виконується за рівнянням виду:

$$X_i = a_0 \sum^k a_j c_j + \sum a_j, \quad (1)$$

де  $X_i$  - масові частки в металі легуючих і домішкових елементів Mn, Si і т.д.;  $c_j$  - масові частки елементів в шихті за даними РСФА;  $a_0 \cdot a_j$  - коефіцієнти рівнянь регресії. Для конкретної шихти коефіцієнти визначали в наведеній нижче послідовності. Виходячи із складу матеріалів і виробничого досвіду, задавали межі відхилень вмісту компонентів шихти від рецептурного. В цих межах методом планування експерименту розраховували склад і виготовляли дослідні ЗМ (електроди, порошковий дріт), після зварювання якими визначали хімічний склад НМ, і на ЕОМ (методом найменших квадратів) вираховували коефіцієнти  $a_0$ ,  $a_j$ , які використовуються в рівняннях для прогнозу хімічного складу НМ та механічних властивостей металу шва.

В цій системі важливим є питання представництва результатів аналізу. Воно б досить просто вирішувалось на підставі математичної статистики, якби допуски на вміст складових шихти були задані. Як правило, в діючій НТД на електроди і порошковий дріт таких допусків немає. В загальному вигляді для багатоконпонентної шихти ЗМ, в складі якої кілька розкислювачів, одержати такі допуски не завжди можливо.

Вважаючи, що коливання вмісту легуючих елементів в НМ описується нормальним законом розподілу з середнім значенням та дисперсією, визначити представництво результатів аналізу можливо

вплихом перевірки статистичної гіпотези про те, що  $\theta_{\min} < \theta < \theta_{\max}$ , де  $\theta_{\min}$ ,  $\theta_{\max}$  - нижня та верхня межа вмісту легуючих елементів в НМ, визначені стандартом. Дисперсія визначається залишковою дисперсією рівнянь регресії та дисперсією неоднорідності складу шихти. Роль статистичної вибірки при цьому виконують  $\theta$ ,  $\theta_1, \dots, \theta_n$  - прогнозовані кількості легуючих елементів в НМ, вираховані за регресивним рівнянням виду (1).

При використанні t-критерія кількість зразків,  $n$  при заданих  $\Delta$  та  $\sigma$ , постійне і визначається відомими співвідношеннями математичної статистики

$$n = \left[ \frac{t^2 \sigma^2}{\Delta^2} \right], \quad (2)$$

де  $\Delta$  - точність вимірювання.

Суттєво скоротити кількість випробуваних зразків дозволило використання послідовного (секвенціального) аналізу. При послідовному аналізі число контрольованих проб попередньо не обумовлено, після кожного вимірювання прийнята гіпотеза або приймається, або відкидається, чи робиться висновок про продовження випробувань.

Так, наприклад, якщо вміст марганцю в металі регламентовано НГД в межах 0,55...0,8 % (тобто  $\theta_{\min} = 0,55$ ,  $\theta_{\max} = 0,8$ ), то можливі варіанти:

- шихта бракується по верхньому обмеженню, коли вона дає вміст маганцю більше, ніж  $0,8 + \Delta$ , тобто  $C_{Mn} \geq 0,8 + \Delta$ ;
- шихта бракується по нижньому обмеженню, коли  $C_{Mn} \leq 0,5 - \Delta$ ;
- шихта кондиційна, коли  $0,5 + \Delta - C_{Mn} < 0,8 - \Delta$ .

Як показує досвід, обсяг представницької вибірки в середньому не перевищує 7 - 10 зразків.

2.3. Статистичний контроль точності технологічного процесу за результатами РСФА шихти. Для забезпечення якості у виробництві ЗМ виконується періодичний контроль складу готової шихти, що виробляється в цеху протягом зміни, доби, тижня. Накопичена аналітична інформація дозволяє визначити точність та стабільність роботи обладнання і технологічного процесу на основі математико-статистичних методів. Через різні проміжки часу із змішувача беруть проби і аналізують готову шихту, за результатами аналізів розраховують

очікування хімічний склад НМ та механічні властивості металу шва. За тими ж даними визначається точність та стабільність технологічного процесу.

Точність технологічного процесу — його здатність забезпечити збіг поля розсіювання контрольованого показника якості з полем допуску. Коефіцієнт точності техпроцесу визначається як відношення поля розсіювання контрольованого параметра  $\omega$  і поля його допуску  $\delta$ :

$$K = \omega / \delta$$

Технологічний процес задовольняє вимогам точності, при умові, що  $K_r \leq 1$ .

#### 2.4. Вибір контрольованого показника.

Для точної оцінки технологічного процесу важливо вірно визначити контрольований показник точності технологічного процесу.

Доведено, що він повинен відповідати умовам:

- однозначно обумовлювати технологічний процес;
- мати чіткий фізичний зміст;
- мати кількісне визначення;
- в статистиці відповідати закону нормального розподілу.

Для вибору контрольованого показника визначали вплив технологічних умов виготовлення електродів і хімічного складу НМ на механічні властивості металу шва. Із технологічних параметрів вивчали: модуль і в'язкість рідкого скла, дозу рідкого скла в сухій шихті, діаметр стержня, коефіцієнт маси покриття. Хімічний склад НМ характеризувався вмістом у ньому пуглецю, кремнію, марганцю, сірки та фосфору. Всього підготували дані по 58 замісах для електродів.

Розглядали вплив технологічних параметрів та хімічного складу НМ на механічні властивості — міцність на розрив, відносне подовження і ударну в'язкість при температурі +20 градусів Цельсія.

Аналіз коефіцієнтів в рівняннях багатомірної регресії для величин механічних властивостей ( $\sigma$ ,  $\delta$ ,  $a_H$ ) дозволяє зробити висновок, що ступінь впливу технологічних факторів на механічні властивості металу шва різний. Так, доведено, що для електродів "основного" типу (УОНІ-ІЗ/45, УОНІ-ІЗ/55) помітно впливають ексцентричність та коефіцієнт маси покриття, модуль і вміст рідкого скла. Вплив цих же факторів для рутилових електродів (АНО-4, АНО-ІЗ) значно менший.

Статистичний аналіз виконаних експериментів показав, що з розглянутих змінних параметрів найбільше впливають на механічні характеристики металу шва вміст в останньому марганцю та кремнію. Ці

елементи і були надалі використані як контрольовані параметри точності технологічного процесу.

В третьому розділі розглянуто аналітичний контроль у виробництві електродів АНО-4.

3.1. Вплив умов приготування сухої шихти на точність аналітичного контролю.

Досліджено вплив дисперсності сировинних матеріалів і часу змішування шихти АНО-4 на точність контролю складу готової шихти, коливання вмісту Mn, Si, S, P в НМ. Дисперсність часток сировинних матеріалів - феромарганцю, рутилу, магнезиту, слюди-мусковіту-може мати суттєвий вплив на точність РСФА готової шихти. Зменшити цей вплив можливо шляхом стабілізації гранулометричного складу проб для РСФА. Із літературних даних відомо, що гомогенність готових сумішей визначається їх складом, фізико-механічними характеристиками змішуваних матеріалів.

Як показали дослідження змішування шихти АНО-4 в змішувачах різних принципових схем (двоконусний, Льодіге-Нортон, Діпрометизу), однорідність шихти за час змішування 5...10 хвилин цілком достатня для РСФА. При цьому забезпечується і задовільна однорідність хімічного складу НМ.

3.2. Рівняння для розрахунку хімічного складу і механічних властивостей металу, наплавленого електродами АНО-4.

Для одержання рівнянь, придатних для розрахунку, за результатами РСФА шихти, хімічного складу і механічних властивостей НМ, був розрахований план експерименту з 27 дослідними шихтами електродів (використовували програмне забезпечення, опрацьоване О.Г.Касаткіним).

Після обробки дослідних даних методами багатомірного регресійного аналізу з послідовним виключенням регресорів, незначних на рівні  $\alpha = 0,1$ , були одержані моделі рівнянь для розрахунку вмісту марганцю та кремнію в НМ:

$$[Mn] = 0,37870 + 0,0840009(Mn);$$

$$[Si] = 0,14062 + 0,006377(Mn) - 0,01787(MgO), \quad (3)$$

де (Mn) - масова доля марганцю в шихті, (MgO) - масова доля магнезиту в шихті, перерахована на MgO.

Із рівнянь видно, що на вміст марганцю в НМ впливає лише вміст марганцю в шихті, а на вміст кремнію впливає вміст марганцю і окису магнію, який в шихту АНО-4 вводиться у вигляді сирого магнезиту

(карбонату магнію). Рівняння (3) дають можливість розраховувати вміст марганцю в НМ в межах 0,48...1,03 %, кремнію - 0,011...0,13 %. Для цих рівнянь коефіцієнти кореляції R відповідно дорівнюють 0,93 та 0,86. Більш високі значення R при розрахунку вмісту марганцю, кремнію, вуглецю, сірки, фосфору за результатами контролю шихти отримано за даними активного (лабораторного) та пасивного (виробничого) експериментів. Рівняння квадратичного рівня включали до числа змінних вміст усіх складових шихти. Адекватність рівнянь перевіряли шляхом визначення залишкової дисперсії з використанням t-критерія.

### 3.3. Проведення аналітичного контролю готової шихти.

Контрольні проби готової шихти відбирали із змішувача з заданою періодичністю та аналізували методом РСФА. Методико-математичне забезпечення РСФА складалось із комплексу методик аналізу сировинних матеріалів, сухої шихти, НМ. В методиках зафіксовано відпрацьовані процедури відбору та підготовки проб для аналізів, рекомендації по підбору стандартних зразків-еталонів, оптимальних умов вимірювання інтенсивностей та приводяться формули (рівняння) для розрахунку вмісту потрібних елементів. Математичне забезпечення дозволяє всі розрахунки виконувати на ПЕОМ. Всі необхідні методики сертифіковані (за участю автора дисертації). За результатами аналізів шихти розраховували хімічний склад та механічні властивості НМ. Точність прогнозу оцінювали визначенням зони розсіювання прогнозованих показників, а також шляхом співставлення експериментальних і розрахованих величин з використанням t-критерія. Зона розсіювання прогнозованого показника розраховувалась за формулою

$$\Delta = \pm \frac{t_j \cdot b}{\sqrt{n}} = \frac{2,56 \cdot 6}{\sqrt{4}} = 1,056 \text{ для } n = 6,$$

$$\text{де } b = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta x_i^2 - \frac{\sum_{i=1}^n \delta x_i^2}{N}}^{1/2}; \quad x_0, x_i - \text{величина показників,}$$

визначених експериментом і прогнозованих на підставі РСФА шихти; N - число випробувань. Інтервали розсіювання розраховували по експериментальній вибірці з N = 40 дослідів.

У ході накопичення даних результати контролю замісів можуть бути використані для оцінки точності та стабільності технологічного процесу дозування, регулювання та налагодження обладнання.

Порівняння показників якості електродів АНО-4, виготовлених на ДМВО в 1989 та 1992 роках, наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Порівняння показників якості електродів АНО-4, вироблених на ДМВО в 1989 і 1992 рр. (вибірка  $n = 75$ )

Механічні якості НМ

Роки	Відносне подовження, %				Ударна в'язкість, Дж/см <sup>2</sup>			
	R	X	S	σ	R	X	S	σ
1989	81,7-10,7	23,7	3,0	0,36	199-102	144,0	20,9	0,04
1992	27,6-11,9	24,5	2,86	0,34	162-101	135,9	13,1	0,03

Хімічний склад НМ, %

Конц. елементи	Роки	R	X	S	σ
Si	1989	0,35-0,07	0,152	0,054	0,26
	1992	0,23-0,08	0,146	0,030	0,23
Mn	1989	2,37-0,48	0,38	0,54	0,84
	1992	0,904-0,49	0,672	0,08	0,01

R - розмах показника; X - середнє значення; S - середнє квадратичне відхилення; σ - показник рівня налагодженості технологічного процесу.

В четвертому розділі розглянуто аналітичний контроль при виробництві порошкового дроту ПП-АН8.

#### 4.1. Методичні питання аналітичного контролю шихти ПП-АН8.

У виробництві порошкового дроту для контролю використовуються стаціонарний багатоканальний рентгенівський спектрометр СРМ-20М та портативний аналізатор БАРС-3. Це обумовлено специфічністю виготовлення шихти порошкового дроту. Вимоги до надійності складу сухих сумішей вище, ніж при виробництві електродів. В той же час, досягнута в процесі виготовлення гомогенність шихти може погіршитись під час транспортування кубелів та дозування при виготовленні порошкового дроту.

Через це довелося налагодити частковий оперативний контроль готових шихт безпосередньо в цеху, біля технологічних ліній виготовлення порошкового дроту з використанням портативного аналізатора БАРС-3, а повний контроль готових шихт - вибірково на спектрометрі СРМ-2СМ (в ЦЗЛ ДМВО).

Використання аналізатора БАРС-3 для контролю шихти вимагало розв'язання відповідних методичних аспектів, які б врахували особливості шихти порошкового дроту - наявність значних (до 50...60 відсотків шихти) важкоподрібнюваних металічних порошоків, значний розмір (принаймні, в 3 - 5 разів більше, ніж для електродів) часток сировинних матеріалів, інтенсивність самого процесу виготовлення шихт. Опрацьована методика РСФА готових шихт передбачає зменшення інтервалу розсіювання шляхом додаткового гомогенізування проби та вибору оптимальної кількості паралельно досліджуваних проб. При контролі в шихті ПП-АН8 вмісту рутилу, феромарганцю та залізного порошку за шістьма паралельними пробами отримали довірчий інтервал розсіювання до 1,5 відсотка.

#### 4.2. Рівняння для прогнозування хімічного складу НМ та механічних властивостей.

Для одержання регресивних рівнянь зв'язку складу шихти ПП-АН8 з хімічним складом і механічними властивостями наплавленого металу був розрахований Д-оптимальний план дослідних варіантів шихти. Вміст компонентів змінювали в межах: рутиловий концентрат 24...45 %; алюмосилікати та фторидні силікати 1...6 %; феромарганець та феросиліцій 8...20 % та 0,5...3 % відповідно, залізний порошок 45...65 %. Для розрахованих складів шихти були виготовлені потрібні

Таблиця 3. Порівняння показників якості порошкового дроту ПП-АМВ, виготовлених ДМВО в 1989 та 1991 рр. (вибірка n = 59)

Механічні властивості НМ

Роки	Відносно подовження, %				Ударна в'язкість, Дж/см <sup>2</sup>			
	R	X	S	σ	R	X	S	σ
1989	33,1-18,1	24,1	3,98	0,16	32,2-24,7	28,59	2,78	0,086
1991	31,1-20,8	25,7	2,34	0,02	31,5-26,7	28,7	1,28	0,053

Хімічний склад НМ

Контр. елементи	Роки	R	X	S	σ
Si	1989	0,62-0,11	0,27	0,092	0,13
	1991	0,40-0,18	0,28	0,06	0,025
Mn	1989	1,74-0,68	1,14	0,226	0,96
	1991	1,40-0,91	1,16	0,127	0,61

R - розмах показника; X - середнє значення; S - середнє квадратичнє відхилення; σ - показник рівня налагодженості технологічного процесу

кількості порошкового дроту, наплавлені зразки-заготовки та виготовлені зразки для визначення механічних властивостей НМ...

За результатами випробувань отримані рівняння зв'язку складу шихт (по РСФА) з механічними властивостями та хімічним складом НМ.

Для рівнянь квадратичного виду коефіцієнти кореляції складають 0,85...0,95.

4.3. Використання результатів контролю шихти порошкового дроту для оцінки роботи обладнання.

В цеху порошкового дроту шихта готується у вигляді замісів масою 200 кг для кожного стану. Готова шихта зберігається в контейнерах-змішувачах до отримання результатів контролю її якості. Контролюється кожен заміс. Контейнер з шихтою подається на стан для виготовлення порошкового дроту лише при наявності ярлика про кондиційність шихти. Інформація про зміст контрольованих елементів в шихті за зміну, добу, тиждень використовується керівним персоналом цеху для оцінки точності роботи технологічного обладнання. Результати контролю шихти та стабільність коефіцієнта заповнення (К) дозволяють характеризувати якість роботи кожного волоочильного стану і якість партії дроту в цілому.

Порівняння якості порошкового дроту, виготовленого в 1989 та 1991 рр., наведено в табл. 3.

### Загальні висновки

1. Запропоновано використати та реалізовано в промислових умовах новий підхід до керування якістю виготовлення зварювальних матеріалів, заснований на отриманні поточної аналітичної інформації про хімічний склад шихти і розрахунку приймально-здавальних характеристик наплавленого металу.

2. Статистичною обробкою виробничих даних про склад шихт електродів та порошкового дроту обґрунтовано використання як контрольованих параметрів вмісту кремнію та марганцю, а також доведено, що невідповідність приймально-здавальних характеристик заданим величинам викликано, в основному, збоями дозування і змішування шихти та варіаціями коефіцієнта заповнення, частково-порушеннями зварювального режиму при випробуваннях готової продукції.

3. Статистично надійно доведено, що при випробуваннях електродів АНО-4 підвищення напруги дуги з 24 до 30 В (20 відсотків) знижує вміст марганцю в наплавленому металі майже вдвоє, кремнію - на чверть, сірки та фосфору - майже на десять відсотків.

Збільшення струму вдвоє (при випробуваннях ПП-АНВ із 150 до 300 А) знижує вміст в наплавленому металі марганцю на чверть, кремнію - в 4 рази.

Різноманітність покриття електродів та варіації К порошкового дроту в межах вимог НТД не може викликати брак по хімічному складу чи механічних властивостей НМ.

4. Одержані автором дисертації регресивні рівняння дозволяють за результатами контролю хімічного складу шихти оперативно керувати технологічним процесом та виробляти якісні електроди АНО-4 та порошковий дріт ПП-АНВ з додержанням хімічного складу НМ та механічних властивостей відповідно до НТД на ці матеріали.

5. Опрацьоване програмне забезпечення аналітичного контролю шихти зварювальних матеріалів на комплексі СРМ-20М + ПЕОМ (з атестацією методик контролю в порівнянні з ГОСТ 9657-80) дозволило стабілізувати склад готових шихт для електродів АНО-4 та порошкового дроту ПП-АНВ, довести обсяг контрольованої продукції до 22,5 %, проти 0,1 % по ГОСТ, тобто оперативним контролем охоплено майже в двісті разів більше продукції, ніж передбачено ГОСТ. Завдяки цьому практично повністю ліквідовано брак готової продукції по контрольованих параметрах.

6. Економічна ефективність виконаної роботи підрахована лише по статті зниження витрат на виготовлення і випробування некондиційної та бракованої продукції (електродів та порошкового дроту), складає 5,8 млн. крб. (в цінах 1991 р.).

Частка дисертанта може бути оцінена в 45...55 відсотків, або майже три мільйони карбованців на рік.

Основний зміст дисертації В.І.Пережестової викладено в роботах:

1. Контроль и управление качеством сварочных материалов с использованием рентгенофлуоресцентного анализа / В.И. Карманов, А.Г. Сталинская, Е.И.Пережестова и др. // Второе Всесоюз. совещание по рентгеноспектральному анализу. - Иркутск, 1989. - С. 120-122.

2. Оценка показателей качества порошковой проволоки на основе контроля состава готовых шихт / С.Г.Дмитренко, В.И.Карманов, В.И.Перехрестова // Сб. докладов X Всесоюзной конференции по сварочным материалам, ч. 3.- Краснодар, 1990.- С. 50-59.

3. Использование рентгеновских анализаторов БАРС-3 для оперативного контроля состава шихт сварочных порошковых проволок / В.И.Карманов, А.Г.Сталинская, В.И.Перехрестова, Л.И. Руденко // I Укр. научн.-тех. конф. "Современные методы спектрального анализа в черной металлургии".- Днепропетровск, 1990.- С. 14-16.

4. Использование аналитических комплексов СРМ-20М-СРМ в аналитическом контроле сварочных материалов / В.И.Карманов, С.И.Селиверстенко, В.И.Перехрестова // Там же.- С. 17-18.

5. Контроль точности дозирования сухой шихты в электродном производстве с использованием рентгеноспектрального анализа и статистических методов - / И.К.Походня, В.И.Карманов, В.И.Перехрестова и др. // Автомат. сварка. - 1991.- No 2 - С. 50-54.

6. Перехрестова В.И., Карманов В.И. Использование рентгеновских анализаторов БАРС-3 для оперативного контроля состава шихт сварочных порошковых проволок // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1992. - No 2. - С. 36-37.

7. Аналитический контроль в производстве сварочных материалов. /В.И.Карманов, А.Г.Сталинская, В.И.Перехрестова // I4 Всесоюз. совещ. по рентгеновской и электронной спектроскопии. - Иркутск, 1984. - С. 27.

8. Влияние химического состава шихты электродов АНО-4 на химический состав и механические свойства наплавленного металла / В.И.Перехрестова, В.Г.Дранов, В.И.Карманов // Передовой опыт аналитического контроля в черной металлургии. - Днепропетровск, - 1993 (в печати).

9. Рентгеноспектральный анализ сварочных материалов / В.И.Перехрестова, В.Г.Дранов, Л.И.Руденко // Там же (в печати).

#### Особистий внесок автора.

Роботи [6,8,9] написано автором дисертації переважно самостійно, частка В.І.Перехрестової - 80 %. Автору належить головний внесок у дослідженні впливу технологічних факторів на якість електродних матеріалів, виборі і обґрунтуванні контрольованих параметрів, одержанні рівнянь для прогнозування приймально-здавальних характеристик за

хімічним складом шихти для електродів АНО-4 та порошкового дроту ІП-АН8. В роботах [2, 3, 5, 7] автору належить основний внесок в постановку експериментів, в роботах [1, 4, 8, 9] - в розробку алгоритма програмного забезпечення, організації та впровадження контроль-но-аналітичного комплексу СРМ-20М разом з ЛЕОМ для поточного контролю і керування якістю електродів та порошкового дроту. Загальна частка автора в цих роботах 55...65 %.

*Ветер*

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

Підп. до друку 19.05.93. Формат 60x84/16. Пап. офс. № 2. Фс. друк.  
Ум. друк. арк. 0,93. Ум. фарбо-відб. 1,16. Обл.-вид. арк. 0,95. Тираж  
100 прим. Зам. ЗІІ. Безкоштовно.

ІЕЗ ім.Є.О.Патона. 252650 Київ 5, МСП, вул. Горького, 69.  
ПОД ІЕЗ ім.Є.О.Патона. 252650 Київ 5, МСП, вул. Горького, 69.

466540

AB 27.683