

ПОРОШКОВІ ДРОТИ І СТРІЧКИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ, НАПЛАВЛЕННЯ ТА РІЗАННЯ

Розвиток металургії машинобудування, будівництва та інших галузей промисловості у другій половині минулого століття вимагав створення нових матеріалів для зварювання, наплавлення та різання конструкційних, корозійностійких і зносостійких сталей та сплавів різних систем легування.

Ідею створення «трубчастого електрода з серцевиною із різного типу порошків» висунув у 1885 р. винахідник першого способу електродугового зварювання М.М. Бенардос. Необхідно було створити порошок дріт, що забезпечував би стійкий дуговий процес, газовий і шлаковий захист розплавленого металу, задовільне формування швів (наплавленого металу), легке відділення шлакової кірки, необхідне проплавлення основного металу, мінімальне розбризкування електродного або присадного дроту, відсутність у швах пор, тріщин, включень та інших дефектів, необхідний хімічний склад металу шва, задані його механічні та службові властивості.

На початку 1950-х років у ІЕЗ ім. Є.О. Патона І.І. Фрумін та І.К. Походня запропонували використовувати для наплавлення порошок дріт. Було запропоновано формувати трубку з пластичної стрічки, у середину якої насипається шихта у вигляді суміші порошків феросплавів, металів і мінеральних компонентів для боротьби з порами та іншими дефектами у наплавленому металі. В ІЕЗ почали інтенсивно розвиватися дослідження, розробка та виготовлення порошкових дротів для електродугового зварювання, наплавлення, а також різання. Виготовляються порошкові дроти для зварювання та наплавлення під флюсом, у захисних газах та самозахисні, в яких газозлакоутворюючі компоненти вводяться безпосередньо в шихту дроту.

Для виготовлення порошкового дроту в ІЕЗ було запропоновано використовувати волочіння – досить простий і продуктивний процес. Перший однобарабанний лабораторний стан для виробництва порошкового дроту в ІЕЗ був зібраний майстром В.С. Ширіним.

Порошкові дроти для наплавлення

У 1950-і роки І.І. Фрумін та І.К. Походня зробили перший порошок дріт для дугового наплавлення під флюсом сталевих прокатних валків ПП-Нп-35В9Х3СФ (сучасна назва ПП-Нп-35В9Х3ГСФ).

Перший промисловий чотирибарабанний стан для виробництва порошкового дроту був запущений співробітниками ІЕЗ. На Краматорському вер-

статобудівному заводі було впроваджено серійне виробництво верстатів для наплавлення різного призначення.

Наплавлення прокатних валків запровадили: на Дніпропетровському трубопрокатному заводі, Сінарському трубному заводі, Магнітогорському, Комунарському металургійних комбінатах та багатьох інших підприємствах країни.

В ІЕЗ розроблено значну кількість порошкових дротів і технології наплавлення дротом під флюсом, відкритою дугою та у захисних газах деталей різних машин і механізмів з контрольованим легуванням наплавленого металу. У тому числі, для наплавлення: прокатних валків, штампів холодного та гарячого штампування та різання (І.І. Фрумін, І.О. Кондратьєв, В.А. Антонов); головок поршнів ДВЗ (Г.С. Мікаелян, П.В. Гладкий); плунжерів гідропресів, роликів машин безперервного лиття заготовок (І.І. Фрумін, П.В. Гладкий, Л.І. Опа-

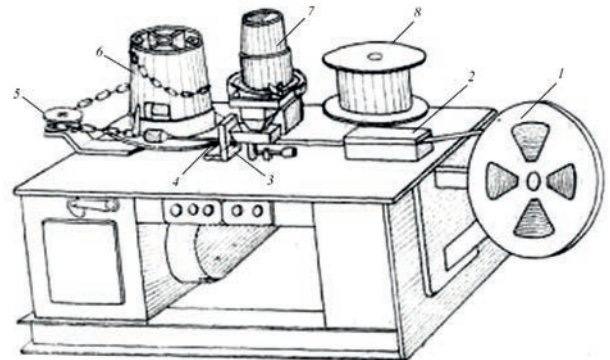
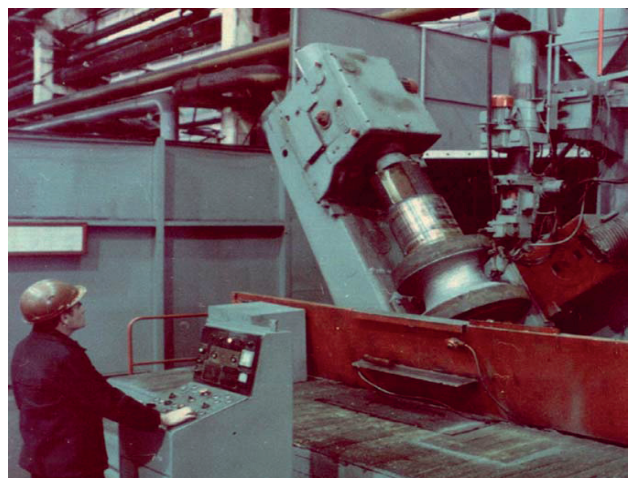


Схема лабораторного верстата для виготовлення порошкового дроту: 1 – котушка з мотком стрічки; 2 – пристрій для очищення стрічки; 3 – пристрій для волочильного мастила; 4 – фільсера; 5 – перекидний блок для захоплення дроту перед волочінням; 6 – приводний барабан; 7 – тарілчастий живильник для подачі шихти; 8 – котушка для готового дроту



Наплавлення валка пільгер-стану на верстаті КЖ-9710



Напівавтоматичне наплавлення хрестовини стрілочних переводів порошковим дротом ПП-АН105 та наплавлена хрестовина рін, В.Л. Малікін); гідрокріплів (І.О. Рябцев, П.В. Гладкий, Ю.М. Кусков); деталей, що працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування (І.О. Кондратьєв, І.О. Рябцев, Ю.М. Кусков); валів, осей, кранових коліс тощо (І.І. Рябцев); важконавантажених деталей пар тертя (В.К. Каленський, Я.П. Черняк, І.О. Рябцев).

Порошкові дроти для зварювання

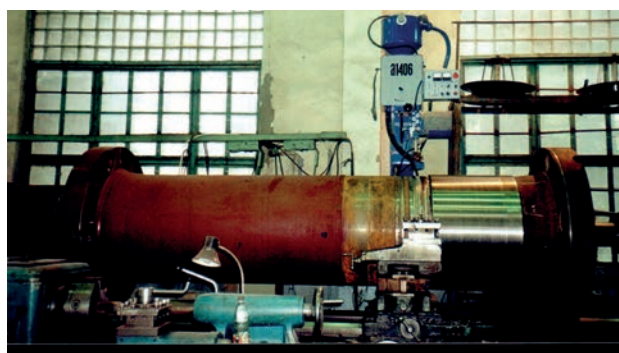
У 1958 р. в ІЕЗ було організовано лабораторію під керівництвом І.К. Походні з вивчення процесів плавлення та перенесення електродного металу при дуговому зварюванні. Було розпочато вивчення кінетики плавлення та перенесення електродного металу, встановлено особливості окислювально-відновлювальних реакцій взаємодії між металом, шлаком і газовою фазою, запропоновано методи управління цими процесами, що забезпечують видалення продуктів реакцій із зварювальної ванни, оптимальне легування металу зварювальної ванни, високі механічні властивості зварних з'єднань. У результаті досліджень створено низку самозахисних порошкових дротів різного призначення, що характеризуються оригінальними композиціями та конструкціями оболонки. Розробка самозахисних порошкових дротів стала принципово новим кроком у техніці та технології зварювального виробництва. Їх застосування дозволило розв'язати проблему механізації зварювальних процесів при монтажі, у відкритих цехах, у польових умовах, на стапелях. Так було винайдено новий ефективний напрям механізації дугового зварювання.

Вже у 1959 р. І.К. Походня, разом із співробітниками (В.М. Шлепаков, О.М. Суптель, В.А. Бабенко на ін.) розробили перший промисловий зразок порошкового дроту марки ПП-АН1 для механізованого зварювання конструкційних і низьколегованих сталей, який не потребував додаткового захисту розплавленого металу.

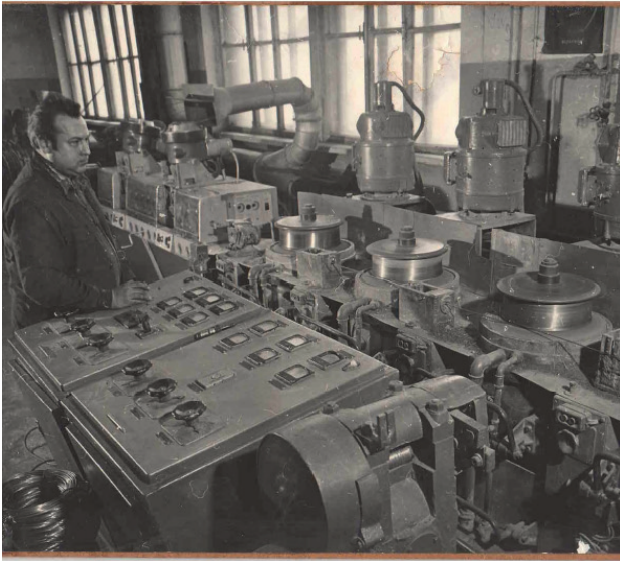
У 1962 р. лабораторія була перетворена у відділ досліджень фізико-хімічних процесів у зварювальній дузі та було створено дослідне виробництво зварювальних матеріалів, діяльність якого дозволила різко скоротити час від виникнення наукової ідеї до її широкого впровадження у практику (В.Л. Борисюк, Л.Ф. Білозеров). Для виробництва порошкових дротів у ДКТБ ІЕЗ ім. Є.О. Патона був розроблений та виготовлений перший промисловий стан, продуктивність якого сягала 250 кг/год.



Напівавтоматичне наплавлення шестерні опорно-поворотного пристрою екскаватора



Автоматичне дугове наплавлення валу гідротурбини порошковим дротом



П.С. Колбушков працює на стані дослідного виробництва відділу

У 1970-1980 рр. І.К. Походня спільно з В.М. Шлепаковим, С.А. Супруном, В.М. Головком, Ю.А. Гаврилком, Л.М. Орловим, Г.А. Шевченком, В.М. Упирем і В.М. Ігнатюком розробили низку порошкових дротів загального та спеціального призначення, у тому числі самозахисних, що характеризуються оригінальними композиціями та конструкціями оболонки, які широко застосовуються в промисловості. Створення способів зварювання порошковим дротом вимагало розробки спеціальної зварювальної апаратури, джерел живлення, а також технології зварювання. Для зварювання порошковим дротом застосовуються напівавтомати А-765, А-1197 та ін., які промисловість випускає серійно. Для автоматичного зварювання вертикальних стикових швів порошковим дротом із примусовим формуванням призначені апарати А-1381, А-1150, АД-330М, АД-333М, АД-335.

Були розроблені високопродуктивні технології та обладнання для виготовлення порошкового дро-

ту (А.М. Суптель, В.М. Шлепаков, В.Ф. Альтер, П.О. Косенко, П.І. Рак, І.П. Каплієнко), спроектовано та побудовано цехи з виробництва порошкового дроту в Україні, яке було також впроваджено в інших країнах (пріоритет захищений авторськими свідоцтвами СРСР, Болгарії, ЧССР та патентами США, ФРН, Великобританії, Франції, Італії, Австрії, Швейцарії).

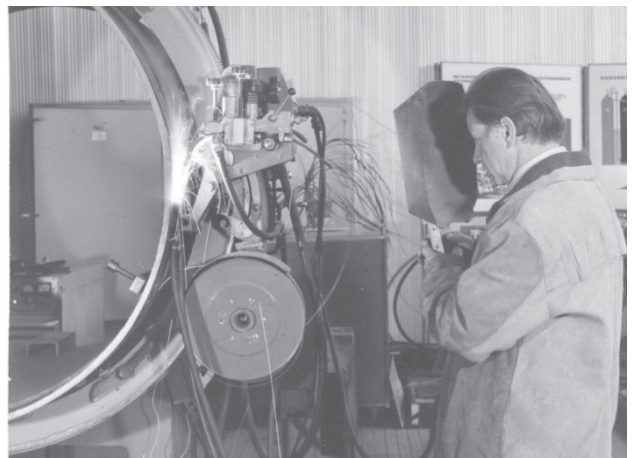
Дослідження основних закономірностей формування металу шва, легування та кристалізації зварювальної ванни за умов штучного охолодження поверхні шва та змінного положення ванни у просторі дозволили розробити нові самозахисні порошкові дроти, прогресивну технологію та обладнання для дугового зварювання неповоротних стиків труб. ІЕЗ ім. Є.О. Патона, ДКТБ ІЕЗ, Каховський завод електрозварювального обладнання створили спеціалізований комплекс обладнання «Стик» для зварювання неповоротних стиків труб діаметром 1220...1420 мм (І.К. Походня, В.М. Шлепаков, В.Є. Патон, В.А. Котов, В.Я. Дубовецький). З його допомогою до 1971 р. було зварено понад 100 тис. км магістральних газо- та нафтопроводів: «Дружба», «Середня Азія–Центр», «Уренгой–Помари–Ужгород», «Хіва–Бейнеу», «Шебелинка–Ізмаїл», «Ямал–Західний кордон», «Ямал–Поволжя» та ін.

У відділі набули розвитку дослідження з управління структурою та властивостями металу зварних швів за допомогою дрібнорозмірних неметалевих включень (В.В. Головка).

Одночасно, починаючи з 1974 р., у відділі «Металургії і технології зварювання високолегованих сталей та сплавів» під керівництвом М.І. Каховського безпосередньо Г.В. Фадєєвою проводяться дослідження з розробки самозахисних порошкових дротів для зварювання високолегованих сталей. Невдовзі був створений порошковий са-



І.К. Походня, А.М. Марченко та І.Р. Явдошин у лабораторії відділу №10 ІЕЗ



Дослідження процесу зварювання неповоротних стиків трубопроводів



Зварювальний комплекс «Стик» на трасі «Уренгой-Помари-Ужгород»

мозахисний дріт марки ПП-АНВ1 для зварювання високолегованих корозійностійких сталей типу 18Х10Н, впровадження якого відбувалось на підприємствах хімічного машинобудування.

Впродовж 1975-1976 рр. В.М. Ліподаєвим була розроблена технологія та електродні матеріали для зварювання різнорідних з'єднань сталі 110Г13Л (сталь Гадфільда) із середньовуглецевими перлітними сталями типу 30Г. Ця технологія була розроблена для приварювання литих надставок (концевиків) зі сталі 110Г13Л при виготовленні рештаків вугільних конвеєрів нового типу.

Впровадження нової технології механізованого зварювання із застосуванням самозахисного порошкового дроту марки ПП-АНВ2 (В.М. Ліподаєв, Г.В. Фадеєва), що забезпечує економнолегований нікелем наплавлений метал замість ручного зварювання електродами марки НІАТ-5, дозволило отримати значний економічний ефект при виготовленні вузлів вугільних конвеєрів і стругових установок.

Виробництво порошкового дроту ПП-АНВ2 було організовано Дослідним заводом зварювальних матеріалів ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, а з 1980 р. розпочато виробництво на Артемівському машинобудівельному заводі «Победа труда» з програмою випуску 275 т/рік до 1991 р., тобто за всі роки виготовлено майже 3 тис. т порошкового дроту.

Для ширшого застосування розроблено порошковий дріт ПП-АНВ2у, що є модифікацією дроту ПП-АНВ2, який забезпечує вищі показники міцності зі збереженням на високому рівні в'язко-пластичних властивостей. Порошковий дріт ПП-АНВ2у призначений для зварювання сталі 110Г13Л, а також її різнорідних з'єднань зі сталями типу 25Г, 30Г, 35Г, сталі типу 18Х10Н зі сталями типу ВСт.3, високомарганцевистої аустенітної сталі типу 45Г17Ю3. Найширше порошковий дріт ПП-АНВ2у застосовується для зварювання ковшів кар'єрних екскаваторів типу ЭКГ-8 та їм

подібних, а також для зварювання ковшів об'ємами 10 та 20 м³. У співпраці з «УкрНДПРОЕКТ» (П.І. Кошеленко) розроблено технологію для наплавлення катків і роликів ходової частини гусеничних машин, доріжок тракового ланцюга, ланок гусениць. Так само цей дріт використовується для приварювання козирків (надставок) зі сталі 110Г13Л до черпаків драг. Порошковий дріт ПП-АНВ2у також застосовується для зварювання сталі 30ХГСА за спрощеною технологією без попереднього та супутнього підігріву.

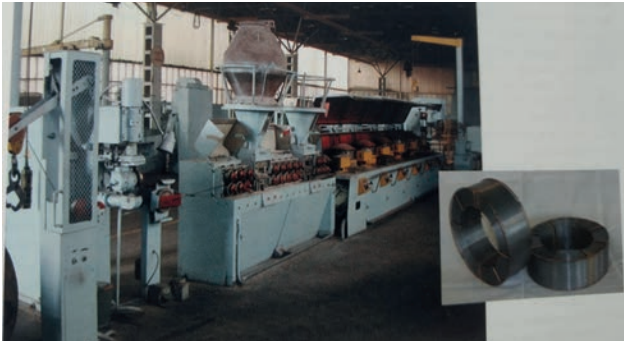
Застосування порошкових дротів ПП-АНВ2 та ПП-АНВ2у забезпечує високу економічну ефективність і підвищує якість виготовленого обладнання та його експлуатаційну надійність. Об'єми виготовлення порошкових дротів ПП-АНВ2 та ПП-АНВ2у склали 6,8 тис. т за весь період їх застосування, що свідчить про їх універсальність і високу затребуваність.

Впродовж 1985-1986 рр. було розроблено порошковий дріт ПП-АНВ5 для механізованого зварювання з примусовим формуванням металу шва високолегованих сталей аустенітного класу 08Х18Н10, 08Х20Н16АГ6. Впровадження технології зварювання порошковим дротом ПП-АНВ5 відбулося при виготовленні шарових резервуарів криогенного призначення.

Проведення досліджень (Г.В. Фадеєва, 1985-1986 рр.) з розробки складу металу стрічки, яка застосовується в якості оболонки для виготовлення порошкових дротів, дозволило створити порошкові дрони нового покоління діаметром 1,2...1,6 мм для зварювання нержавіжких сталей. Раніше, при застосуванні стрічки зі низьковуглецевих сталей марок 08Ю та 08пс в якості оболонки, необхідний хімічний склад наплавленого металу досягався виключно за рахунок легуючих елементів, що містяться в шихті порошкового дроту. Тому, зазвичай, діаметр порошкових дротів був не менш ніж



В.М. Шлепаков, Б.С. Патон і П.О. Косенко в цеху порошкових дротів Дослідного заводу зварювальних матеріалів ІЕЗ ім. Є.О. Патона



Стан для виготовлення порошкових дротів

2,2...3,2 мм у залежності від необхідного легування. При застосуванні стрічки зі сталі феритного класу майже вся кількість хрому забезпечується металом стрічки, що дозволило виготовити дроти меншого діаметру які могли застосовуватися для зварювання в усіх просторових положеннях.

Проведення досліджень впродовж 2000-2006 рр. (Г.В. Фадеєва, С.О. Супрун, С.Ю. Максимов) дозволили розробити порошковий дріт діаметром 1,6 мм із застосуванням в якості оболонки стрічки зі сталі феритного класу для мокрого підводного зварювання високолегованих сталей типу 18X10H.

У 1999-2003 рр. було розроблено розрахункові методи оцінки фізичних властивостей шлаків і генерування захисних газів при нагріванні та плавленні осердя порошкових дротів. Оптимізовано системи мікролегування для зв'язування азоту в нітриди. Розроблено самозахисний порошковий дріт для зварювання конструкцій в усіх просторових положеннях, що забезпечує високі механічні властивості зварних з'єднань. (І.К. Походня).

На початку 2000-х років були розроблені порошкові дроти аустенітного класу для зварювання у вуглекислому газі броньових сталей, у тому числі для виробництва корпусів танка Т-80. Основу осердя порошкових дротів для зварювання в CO_2 становлять шлакоутворюючі матеріали, розкислювачі й легуючі елементи. Газоутворюючі матеріали, як правило, у подібні дроти не вводяться. За типом осердя порошкові дроти для зварювання у вуглекислому газі розділяють на рутілові й рутил-флюоритні.

Порошкові стрічки для наплавлення

Ще один тип порошкового електродного матеріалу, переважно для наплавлення великих поверхонь, має форму стрічки. З 1953 р. в ІЕЗ було розгорнуто науково-дослідну роботу з наплавлення зносостійких поверхонь. Ф.А. Хомусько розробив високопродуктивний спосіб автоматичного наплавлення під флюсом електродною стрічкою. Впровадження технології та матеріалів значно підвищило стійкість металургійного обладнання на заводах Дніпропетровська, Краматорська,

Магнітогорська та ін. У 1958-1960 рр. цей спосіб наплавлення було впроваджено для захисту від кавітації лопатей потужних гідротурбін, при виготовленні ободів редукторних коліс на заводах у Ленінграді, корпусів високонапірних живильних насосів, що використовувалося на Сумському заводі «Насосенергомаш».

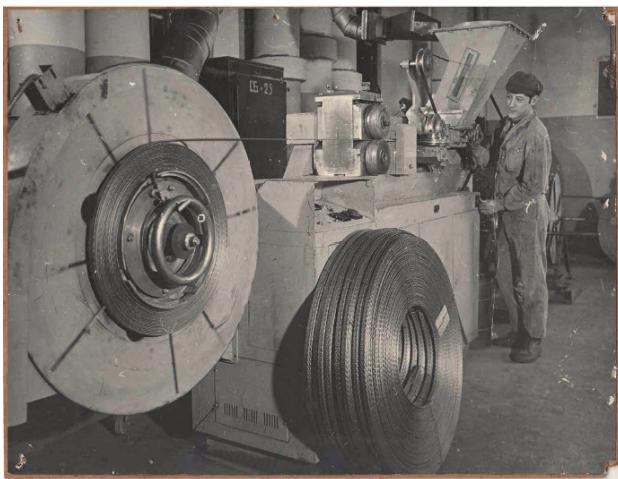
У 1981 р. в ІЕЗ було засновано відділ «Матеріалів для наплавлення та технологій наплавлення металів» під керівництвом Ю.А. Юзвенка, в якому досліджувались металургійні процеси при наплавленні порошковими дротами, визначались оптимальні системи легування для підвищення зносостійкості напавленого матеріалу, що працює за умов абразивного та газоабразивного зношення. Було запропоновано новий тип електродного матеріалу – порошкову стрічку, розроблено конструкцію та технологію її виробництва.

Самозахисні порошкові стрічки широко застосовують для наплавлення зносостійких покриттів на поверхні деталей металургійного, енергетичного та гірничо-збагачувального виробництва (Ю.А. Юзвенко, В.П. Шимановський, І.П. Копилець, М.Г. Белоєв, О.П. Ворончук). Було розроблено порошкові стрічки для зносостійкого наплавлення гранульованих карбідів вольфраму $\text{WC}+\text{W}_2\text{C}$, які використовуються при технологічних процесах зміцнення ножів бульдозерів, валків дробильного та розмелювального обладнання, а також інших деталей і конструкцій, що працюють в умовах абразивного зношування.

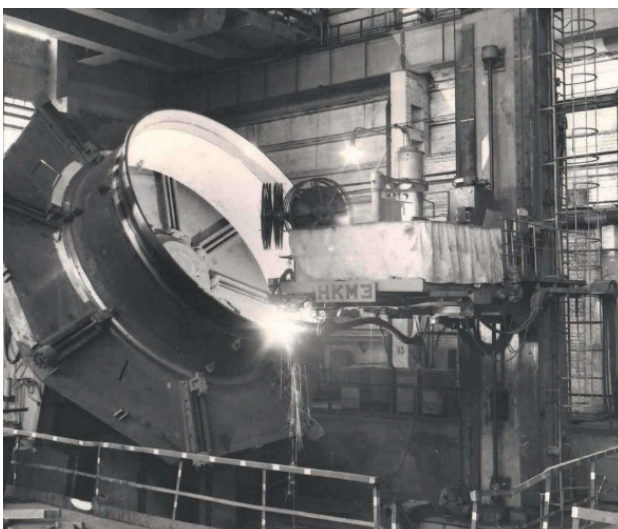
Для використання порошкових стрічок у взаємодії з ДКТБ ІЕЗ (В.Є. Патон, О.М. Мінаєв, В.Ф. Коваленко, О.О. Фомакін та ін.) були створені унікальні установки для наплавлення типу У-125, У-50, У-75.

Використання порошкових стрічок дозволило знизити частку основного металу в напавленому до 20...25 %. Продуктивність наплавлення досягла 25 кг напавленого металу на годину. Особливо варто зазначити порошкову стрічку ПЛ-АН 111, яка призначена для наплавлення контактних поверхонь конусів і чаш засипних апаратів доменних печей.

У 1980-х роках було розроблено композиційні сплави на базі тугоплавких з'єднань, зокрема стрічковий реліт, який використовується для зміцнення деталей бурового інструменту на долотних заводах (О.П. Жудра та ін.). Під керівництвом О.П. Жудри розроблено кілька типів стрічки на базі карбіду хрому, технологію виробництва карбіду вольфраму сферичної форми та створено спеціалізоване обладнання. Було впроваджено установки для наплавлення конусів і чаш домен-



Виготовлення порошкової стрічки



Процес наплавлення порошковою стрічкою на Новокраматорському машинобудівному заводі

них печей та наплавлення ножів гарячого різання, технологію виготовлення біметалевих плит методом наплавлення порошковою стрічкою.

Порошкові дроти для зварювання та наплавлення міді та мідних сплавів

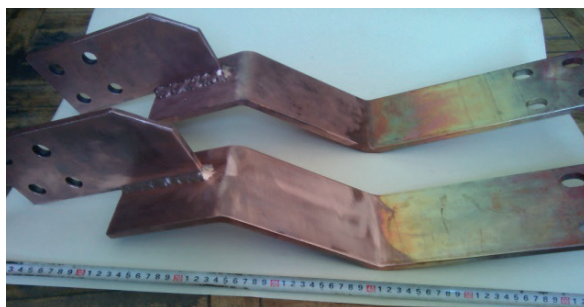
Систематичні дослідження зі створення та вдосконалення технологічних процесів зварювання та наплавлення міді та її сплавів і, насамперед, розробки високоефективних зварювальних і наплавлювальних матеріалів розпочато в ІЕЗ ще в 50-60-х роках минулого сторіччя (В.В. Підгаєцький). Найрезультативнішими виявилися дослідження, виконані у 70-80-х роках, коли у структурі нового відділу фізико-металургійних процесів зварювання тугоплавких і хімічно активних кольорових металів (С.М. Гуревич) було організовано групу, а потім і лабораторію зварювання та наплавлення міді та її сплавів (під керівництвом В.М. Ілюшенка).

У цей період розроблено ряд марок порошкових дротів для зварювання та наплавлення олов'яно-свинцевих, олов'яно-цинково-свинцевих бронз

(С.І. Опанасенко). Також розроблено зварювальний порошковий дріт марки ПД-БрХТ12-2, призначений для плазмово-дугового зварювання міді та хромової бронзи завтовшки >15 мм (А.Ф. Костюк, В.Є. Седов). За рахунок спільного легування швів хромом і титаном покращуються механічні властивості металу, особливо при високих температурах, і підвищується стійкість металу швів проти утворення пор.

Для ПІГ-зварювання міді розроблено порошковий дріт марки ПД-АНМ1 (А.Ф. Костюк, В.Є. Седов, В.О. Аношин). Введення до складу осердя порошкового дроту невеликих добавок ефективних розкислювачів забезпечує необхідну якість і теплофізичні властивості зварних швів при гелієво-дуговому зварюванні товстостінних елементів різних електротехнічних виробів (двигуни, шинопроводи та ін.).

Розвиваючи дослідження в області наплавлення антифрикційних мідних сплавів, в ІЕЗ, починаючи з 2000-х років, розроблено ряд марок по-



Застосування порошкового дроту ПД-АНМ1 при зварюванні струмопідводів і відновленні фурми, виготовлених із міді



Біметалева втулка сталь+складнолегована алюмінієва бронза після наплавлення та механічної обробки

рошкових дротів, які дозволяють отримати склад наплавленого металу, що відповідає маркам складнолегованих алюмінієвих бронз з високими антифрикційними властивостями наплавленого металу (А.М. Бондаренко).

В останні роки створено порошкові дроти для зварювання та наплавлення як під флюсом, так і для ТIG-зварювання високоалюмінієвих бронз і бронз художнього призначення. Розроблені дроти та технології механізованого наплавлення успішно впроваджені у виробництво при виготовленні біметалічних втулок, під'ятників та інших вузлів тертя високонавантажених механізмів (гірничо-збагачувальне обладнання, відповідальна арматура, підшипникові втулки електромоторів та ін.).

Порошкові дроти для зварювання під водою

У 1966 р. в ІЕЗ створено лабораторію підводного зварювання. В ній було розроблено наукові засади механізованого зварювання та різання безпосередньо у воді, досліджено особливості горіння дуги при високому гідростатичному тиску та умови забезпечення її стійкості на різних глибинах, поведіння розплавленого металу в цих екстремальних умовах і механізм формування швів, взаємодія металу з газами, вплив хімічного складу та водного середовища на властивості з'єднань (І.М. Савич, А.А. Ігнатушенко, В.Я. Кононенко).

В ІЕЗ було розроблено склад шихти порошкового дроту та технологію її виготовлення, що забезпечила герметичність дроту. Це дозволило розмістити порошковий дріт у занурювальному вузлі напівавтомата, заповненого водою, що спростило його конструкцію. Відпала потреба у подачі газу в занурювальний вузол. Дріт рутил-руднокислого виду, який отримав назву ППС-АН1, забезпечував зварювання в прісній воді на глибині до 20 м низьковуглецевих і низьколегованих сталей. Технологія мокрого механізованого зварювання під водою самозахисними

порошковими дротами, на момент своєї розробки, була унікальною та не мала аналогів у світі.

Для можливості зварювання порошковим дротом під водою конструкторами ДКТБ ІЕЗ (В.Є. Патон, В.Б. Смолярко, В.Г. Пічак) були розроблені спеціальні напівавтомати.

Маса занурювального вузла першого напівавтомата проекту А1450 «Нептун 4» із запасом порошкового дроту становила близько 46 кг. В останніх проектах (ПШ141, ПШ146) масу апарату із запасом порошкового дроту вдалося знизити до 7 кг, була забезпечена рівномірна подача електродного дроту незалежно від навантаження при довжині кабелю ланцюга управління до 675 м.

При дослідженні порошкових дротів для механізованого зварювання під водою було встановлено, що низка компонентів, що вводяться в шихту, сприяють збільшенню глибини проплавлення металу. На базі досліджень було розроблено технологічний процес та порошкові дроти для механізованого підводного різання сталей, чавуну та кольорових металів (І.М. Савич, М.С. Данченко, Ю.М. Нефьодов). Механізація зварювальних робіт за рахунок засто-



Процес зварювання порошковим дротом під водою



Устаткування для підводного зварювання та різання

сування напівавтоматів і порошкових дротів була розширена й на зварювання під водою.

Розв'язання цього завдання завершилося створенням кількох конструкцій напівавтоматів; найуспішнішими з яких були А1450, А1660. Процес роздільного дугового різання порошковими дротами можна виконувати на глибині понад 600 м. Наприклад, у 2000 р. унікальні розробки механізованого різання були успішно застосовані під час підйому підводного човна (І.М. Савич, М.Є. Данченко).

У подальшому під керівництвом С.Ю. Максимова продовжувались теоретичні й технологічні дослідження ручного та механізованого зварювання під водою. Були з'ясовані фізико-металургійні особливості взаємодії розплавленого металу з газами в атмосфері парогазового мішура, причини виникнення та заходи захисту від утворення пор в металі шва, механізм окрихчування наплавленого металу при зварюванні безпосередньо у водному середовищі та металургійні рішення стосовно забезпечення необхідного рівня пластичності металу шва, умови формування швів у всіх просторових положеннях, вплив водного середовища на процес зварювання та умови стабілізації дуги при підвищеному гідростатичному тиску, розробка електродних матеріалів, технологій та обладнання для зварювання низьковуглецевих і низьколегованих сталей під водою.

Запропоновано конструктивні рішення зварних з'єднань при ремонті підводних трубопроводів, суден на плаву та інших підводних конструкцій відповідального призначення.

Робота ІЕЗ була впроваджена при відновленні переходів газо- та нафтопроводів через річки, ремонті корпусів кораблів, що отримали аварійні та навігаційні пошкодження, причальних споруд і стаціонарних основ видобувних морських платформ.

Таким чином, розроблені в ІЕЗ самозахисні порошкові дроти спеціального призначення: для виконання вертикальних і горизонтальних швів, із примусовим формуванням, для зварювання під водою, наплавлення й т.д. дозволяють вирішити проблему механізації зварювальних процесів на

монтажі, у польових умовах, у відкритих цехах підприємств. Продуктивність зварювання порошковим дротом у порівнянні з ручним дуговим зварюванням вища в 3–5 разів.

Тільки протягом 1964–1977 рр. в Україні виготовлено близько 100 тис. т зварювального порошкового дроту. Зацікавлення за кордоном викликали оригінальні високопродуктивні стани для виготовлення порошкового дроту. Приоритет ІЕЗ на ці стани захищений авторськими свідоцтвами СРСР та патентами Англії, Австрії, Італії, США, Франції, Швейцарії, Угорщини, НДР, Чехословаччини та ін. Виготовлені в СРСР технологічні лінії для виробництва порошкового дроту, що включають високопродуктивні волочильні стани, агрегати для профілювання стрічки та дозування порошкоподібних шихт, поставлені фірмам США, Франції, ФРН, Болгарії, Угорщини, Чехословаччини та Китаю. Порошкові дроти, розроблені в ІЕЗ, і устаткування для їхнього виробництва поставлялись до багатьох країн. За ліцензіями ІЕЗ виробництво порошкових дротів було організовано фірмами США, Франції, ФРН та на заводах Болгарії, Угорщини, Чехословаччини.

Список літератури

1. Фрумин І.І. (1961) *Автоматическая электродуговая наплавка*. Харьков: Металлургиздат.
2. Савич І.М. (1969) Подводная сварка порошковой проволокой. *Автоматическая сварка*, **10**, 70–74.
3. Походня І.К., Суптель М.А., Шлепаков В.Н. (1972) *Сварка порошковой проволокой*. Киев, Наукова думка.
4. Походня І.К., Альтер В.Ф., Шлепаков В.Н. і др. (1980) *Производство порошковой проволоки. Учеб. пособие для вузов*. Киев, Вища школа.
5. Походня І.К., Суптель А.М., Шлепаков В.Н. і др. (1980) *Порошковые проволоки для дуговой сварки. Каталог-справочник*. Киев, Наукова думка.
6. Патон Б.Е., Савич І.М. (1987) К 100-летию сварки под водой. *Автоматическая сварка*, **12**, 1–2.
7. Данченко М.Е., Савич І.М., Нефедов Ю.Н. (1988) Подводная дуговая резка порошковой проволокой. *Автоматическая сварка*, **4**, 59–61.
8. Походня І.К. (1998) *Металлургия сварки, состояние и проблемы. Сварка и родственные технологии в XXI веке*. Киев, ІЭС ім. Е.О. Патона.
9. Савич І.М., Максимов С.Ю. (2001) Применение механизированной резки при подъеме подводной лодки. *Автоматическая сварка*, **2**, 59–60.
10. Савич І.М., Захаров С.М., Зайцева Н.В., Козлов Е.В., Максимов С.Ю. (2003) Структура и свойства металла, наплавленного под водой порошковой проволокой с никелевой оболочкой. *Автоматическая сварка*, **4**, 19–22.
11. Грецкий Ю.Я., Максимов С.Ю. и др. (2004) Повышение устойчивости дуги, горящей в воде, при сварке порошковой проволокой. *Автоматическая сварка*, **2**, 11–15.
12. (2006) *Самозащитный порошковый дрит для подводного зварювання високолегованих сталей типу 12Х18Н10Т*. Цільова комплексна програма НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин». Збірник наукових статей за результатами, отриманими в 2004–2006 рр. ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, Київ.
13. Рябцев І.А., Сенченков І.К., Турык Э.В. (2015) *Наплавка. Материаль, технологии, математическое моделирование*. Гливице, Изд-во Силезского политехнического института.

д.і.н. Олександр Корнієнко