

З А В Т О М А Т И Ч Н Е 2 С В А Р Ю В А Н Н Я 2021

Автоматическая сварка

Видається 12 разів на рік з 1948 р.

Automatic Welding

Published 12 times per year since 1948

ЗМІСТ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

- Пашчин М.О., Шльонський П.С., Бризгалін А.Г., Кушнарйова О.С., Тодорович Н.Л. Особливості формування структури коаксіальних з'єднань міді та алюмінію при зварюванні вибухом з вакуумуванням зварювального проміжку..... 3
- Квасницький В.В., Матвієнко М.В., Мьяльніца Г.П., Квасницька Ю.Г., Бутурля Є.А. Розробка припою, технології паяння та виправлення поверхневих дефектів відливків жароміцних нікелевих сплавів суднових газових турбін 10
- Маринський Г.С., Лопаткіна К.Г., Чернець О.В., Подпрятков С.Є., Ткаченко В.А., Белоусов І.О., Васильченко В.А. Нові алгоритми високочастотного зварювання біологічних тканин 17
- Ниркова Л.І., Лабур Т.М., Осадчук С.О., Яворська М.Р., Коваль В.А. Вплив термообробки на властивості зварних з'єднань сплаву В1341 в умовах, що моделюють експлуатаційні 22
- Шлепаков В.М., Котельчук О.С. Розробка порошкових дрітків нового покоління для електродугового зварювання в середовищі захисного газу з'єднань низьколегованих сталей з межею міцності 640...940 МПа 32

ВИРОБНИЧИЙ РОЗДІЛ

- Нестеренков В.М., Кравчук Л.А., Русиник М.О. Вплив технологічних і металургійних факторів на формування зварних з'єднань міді при електронно-променевому зварюванні..... 38
- Косторной О.С., Лактіонов М.О., Холоша К.Ю. Наплавлення деталей розвантажувального пристрою відцентрових насосів 43
- Безушко О.М., Левченко О.Г., Майданчук Т.Б., Лук'яненко А.О., Гончарова О.М. Гігієнічні характеристики повітря робочої зони при дуговому зварюванні міді та її сплавів (Огляд)..... 47
- Недосєка С.А., Недосєка А.Я., Яременко М.А., Бойчук О.І., Овсienko М.А. Метод акустичної емісії при оцінюванні стану зварних швів та їх службових властивостей. Частина 1. Вплив типу зварного з'єднання на акустичну емісію..... 52

ІНФОРМАЦІЯ

- Конференції, виставки, семінари – 2021..... 60

ЗВАРЮВАННЯ ЗА КОРДОНОМ

- Зварювальні матеріали для автомобільної промисловості..... 61

ПРАКТИКУМ ЗІ ЗВАРЮВАННЯ

- Основні види покриттів зварювальних електродів..... 63

CONTENT

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

- Pashchin M.O., Shlonsky P.S., Bryzgalin A.G., Kushnaryova O.S., Todorovich N.L. Features of formation of structure of coaxial joints of copper and aluminium in explosion welding with vacuuming of welding gap 3
- Kvasnytskyi V.V., Matviienko M.V., Mialnitsa H.P., Kvasnytska I.H., Buturlia Ye.A. Development of brazing alloy, brazing technologies and correction of castings surface defects of heat-resistant nickel alloys for ship gas turbines 10
- Marynsky G.S., Lopatkina K.G., Chemets O.V., Podpryatov S.E., Tkachenko V.A., Belousov I.O., Vasylychenko V.A. New algorithms of high-frequency welding of biological tissues..... 17
- Nyrkova L.I., Labur T.M., Osadchuk S.O., Yavorska M.R., Koval V.A. Influence of heat treatment on the properties of welded joints of V1341 alloy under modeled operating conditions 22
- Shlepakov V.M., Kotelchuk O.S. Development of new generation flux-cored wires for gas-shielded arc welding of joints of low-alloy steels with ultimate strength of 640...940 MPa..... 32

INDUSTRIAL

- Nesterenkov V.M., Kravchuk L.A., Rusynuk M.O. Influence of technological and metallurgical factors on formation of copper welded joints in electron beam welding 38
- Kostornoj O.S., Laktionov M.O., Kholosha K.Y. Surfacing parts of unloading device of centrifugal pumps 43
- Bezushko O.M., Levchenko O.G., Maidanchuk T.B., Lukyanenko A.O., Goncharova O.M. Hygienic characteristics of air in the working zone during arc welding of copper and its alloys (Review) 47
- Nedoseka S.A., Nedoseka A.Ya., Yaremenko M.A., Boichuk O.I., Ovsienko M.A. Acoustic emission method at evaluation of the state of welds and their service properties Part 1. Effect of welded joint type on acoustic emission 52

INFORMATIONS

- Conferences, exhibitions, seminars – 2021..... 60

WELDING ABROAD

- Welding materials for the automotive industry..... 61

WELDING WORKSHOP

- The main types of coatings for welding electrodes..... 63



Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ представляє Україну
в Міжнародному інституті зварювання
та в Європейській зварювальній федерації
The E.O. Paton Electric Welding Institute of the NASU represents Ukraine
in International Institute of Welding
and in European Federation for Welding



Автоматичне зварювання Автоматическая сварка Automatic Welding

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Вчені ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ:
С.І. Кучук-Яценко (головний редактор),
В.М. Ліподаєв (штатний заст. гол. ред.)
О.М. Берднікова, Ю.С. Борисов,
В.В. Книш, В.М. Коржик, І.В. Кривцун,
Ю.М. Ланкін, Л.М. Лобанов,
С.Ю. Максимов, М.О. Пашчин,
В.Д. Позняков, І.О. Рябцев,
К.А. Юшенко;
В.В. Дмитрик, НТУ «ХПІ», Харків;
В.В. Квасницький, Є.П. Чвертко,
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ;
М.М. Студент, Фізико-механічний інститут
ім. Г.В. Карпенка НАНУ, Львів;
М. Зініград, Аріельський університет, Ізраїль;
У. Райсген, Інститут зварювання та з'єднань,
Аахен, Німеччина;
Я. Пілярчик, Інститут зварювання, Глівіце, Польща

Засновники

Національна академія наук України,
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ,
Міжнародна Асоціація «Зварювання» (видавець)

Адреса

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ
03150, Україна, Київ-150,
вул. Казимира Малевича, 11
Тел.: (38044) 200 2302, 200 8277
Факс: (38044) 200 8277
E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.patonpublishinghouse.com/ukr/journal/as

Журнал входить до переліку затверджених
Міністерством освіти і науки України видань
для публікації праць здобувачів наукових ступенів за
спеціальностями 131, 132, 151
Наказ МОН України № 409 від 17.03.2020.

Рекомендовано до друку
редакційною колегією журналу

Свідоцтво про державну
реєстрацію KB 4788 від 09.01.2001

ISSN 0005-111X
DOI: <http://dx.doi.org/10.37434/as>

Передплата 2021

Передплатний індекс 70031.

12 випусків на рік (видається щомісячно).

Друкована версія: 2880 грн. за річний комплект
з урахуванням доставки рекомендованою банделроллю.

Електронна версія: 2880 грн. за річний комплект
(випуски журналу надсилаються електронною поштою
у форматі .pdf або для IP-адреси комп'ютера
передплатника надається доступ до архіву журналу).
Передплата можлива на попередні випуски за будь-який рік.

Журнал «Автоматичне зварювання» перевидается
англійською мовою під назвою
«The Paton Welding Journal»:
www.patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj

За зміст рекламних матеріалів
редакція журналу відповідальності не несе.

EDITORIAL BOARD

Scientists of E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU:
S.I. Kuchuk-Yatsenko (Editor-in-Chief),
V.M. Lipodaev (Staff Deputy Editor-in-Chief)
O.M. Berdnikova, Yu.S. Borisov,
V.V. Knysh, V.M. Korzhyk, I.V. Krivtsun,
Yu.M. Lankin, L.M. Lobanov,
S.Yu. Maksimov, M.O. Pashchin,
V.D. Poznyakov, I.O. Ryabtsev,
K.A. Yushchenko;
V.V. Dmitrik, NTU «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv;
V.V. Kvasnytskyi, E.P. Chvertko, NTUU «Igor Sykorsky
Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv;
M.M. Student, Karpenko Physico-Mechanical Institute
of NASU, Lviv;
M. Zinigrad, Ariel University, Israel;
U. Reisgen, Welding and Joining Institute, Aachen, Germany;
Ja. Pilarczyk, Welding Institute, Gliwice, Poland

Founders

National Academy of Sciences of Ukraine,
E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU,
International Association «Welding» (Publisher)

Address

E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU
03150, Ukraine, Kyiv-150,
11 Kasymyr Malevych Str.
Tel.: (38044) 200 2302, 200 8277
Fax: (38044) 200 8277
E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.patonpublishinghouse.com/eng/journal/as

The Journal is included in the list of publications approved
by the Ministry of Education and Science of Ukraine
for the publication of works of applicants for academic degrees
in specialties 131, 132, 151.

Order of the MES of Ukraine № 409 of 17.03.2020.

Recommended for printing editorial board of the Journal

Certificate of state registration
of KV 4788 dated 09.01.2001
ISSN 0005-111X
DOI: <http://dx.doi.org/10.37434/as>

Subscription 2021

Subscription index 70031.

12 issues per year (issued monthly), back issues available.
\$216, subscriptions for the printed (hard copy) version,
air postage and packaging included.

\$144, subscriptions for the electronic version
(sending issues of Journal in pdf format
or providing access to IP addresses).

Subscription is possible for previous issues for any year.

«Avtomatychne Zvaryuvannya» (Automatic Welding)
journal is republished in English under
the title «The Paton Welding Journal»:
www.patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj

The editorial board is not responsible
for the content of the promotional material.

КОНФЕРЕНЦІЇ, ВИСТАВКИ, СЕМІНАРИ – 2021

Назва заходу	Дата	Місце проведення
VI International Electron Beam Welding Conference	9–10 березня	(online)
XXI Міжнародний науково-технічний семінар «Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості і на транспорті»	15–19 березня	Львів, Україна
Kharkiv PROM Days	24–26 березня	Арт-завод «Механіка», Харків
XX Міжнародна спеціалізована виставка «Зварювання та різання – 2021»	6–9 квітня	Мінськ, Білорусь
XVIII Міжнародна спеціалізована виставка «Порошкова металургія–2021»	6–9 квітня	Мінськ, Білорусь
Київська технічна ярмарка	13–15 квітня	Київ, Україна
Міжнародна конференція «Sudura 2021/Welding 2021»	22–23 квітня	Решіця, Румунія
XIII Міжнародна науково-технічна конференція «Нові матеріали і технології в машинобудуванні–2021»	28–29 квітня	КПІ, Київ
XXVIII Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. MicroCAD-2021»	13–15 травня	Харків
ElcomUkraine – виставка енергетики, електротехніки, енергоефективності	18–20 травня	Київська обл.
XXIV Міжнародна спеціалізована виставка «Машинобудування. металургія»	21–23 травня	Запоріжжя, Україна
VII Міжнародна Самсонівська конференція «Матеріалознавство Тугоплавких Сполук»	25–28 травня	Київ, Україна
Міжнародна конференція молодих професіоналів із зварювання та суміжних технологій	25–28 травня	Київ, Україна
Міжнародна конференція «Сучасні технології з'єднання матеріалів»	31 травня – 2 червня	ІЕЗ ім. Є.О. Патона, Київ
XXV Міжнародна Пекінська Виставка зварювання та різання	16–19 червня	Пекін, Китай
74-ий конгрес Міжнародного Інституту зварювання та міжнародна конференція	7–21 липня	(online)
XXIII Міжнародна конференція «Матеріали, Методи, Технології»	19–22 серпня	Бургас, Болгарія
II Міжнародна конференція «Неруйнівний контроль та моніторинг технічного стану»	6–11 вересня	Одеса, Україна
X Міжнародна конференція «Променеві технології в зварюванні та обробці матеріалів»	6–11 вересня	Одеса, Україна
Міжнародна ярмарка «Welding Engineering – Joining, Cutting, Surfacing»	13–17 вересня	Ессен, Німеччина
XX Міжнародна виставка зварювальних матеріалів, устаткування і технологій – Weldex	12–15 жовтня	Москва, РФ
Міжнародна виставка зварювального устаткування і технологій	19–21 жовтня	Кельце, Польща
Міжнародна виставка зварювання, зварювального обладнання та технологій	27–28 жовтня	Гданьськ, Польща
Міжнародна виставка промислових технологій	27–28 жовтня	Гданьськ, Польща
XX Промисловий форум	16–19 листопада	Київ, Україна

ЗВАРЮВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Основну частину зварювальних матеріалів в автомобільній промисловості складають суцільні зварювальні дроти різних марок в залежності від типу основного металу.

Ці дроти періодично вдосконалюються з метою покращення їх зварювальних характеристик.

Деякі дослідження спрямовані на оптимізацію хімічного складу дротів з метою їх найефективнішого поєднання з основним зварюваним металом. В даний час автомобільна промисловість використовує для виробництва кузовів широкий спектр різних матеріалів.

Існують важливі вимоги до електродів, що включають надійність подачі, низький рівень розбризкування, низький рівень або відсутність забруднення поверхні зварних з'єднань і легкість зварювання листів з цинковмісним або алюмінізованим покриттям. В автомобілебудуванні знаходять застосування також порошкові дроти.

При проектуванні елементів системи видалення відпрацьованих газів і каталитичних пристроїв особлива увага приділяється вибору матеріалів, які забезпечують ефективність роботи та довговічність елементів системи, на які впливають високі температури. Такі ж вимоги висуваються і до зварювальних матеріалів. Вони повинні мати високу температурну стійкість, забезпечувати корозійну стійкість і мати достатні характеристики втомної міцності. Саме з цією метою і з'явилися порошкові дроти, які можуть задовольнити перераховані вище вимоги.

Зміна виду зварювання. Описаний нижче приклад показує, як зміна зварювального матеріалу і процесу покращили якість, а в даному випадку і продуктивність процесу. Цей приклад відноситься до каталитичного пристрою і, зокрема, до з'єднання фланця з вихідною трубою.

Вихідна труба пристрою виготовлена з феритної корозійностійкої сталі; фланець – зі звичайної вуглецевої сталі. Зазвичай для зварювання вико-

ристовували суцільний зварювальний дріт діаметром 1,0 мм, стабілізований ніобієм класу 409.

При зварюванні виникали проблеми розбризкування і поганого переносу металу електрода на основний метал, що викликало знижену витривалість і дуже високу твердість металу в ЗТВ. В цьому випадку до зварювального дроту висуваються жорсткі вимоги для отримання якісного зварного з'єднання. При розробці технології, що покращує якість зварювання цього з'єднання, було також випробувано порошковий дріт класу E 409.

В результаті розбризкування різко зменшилось і спостерігається рівномірний перенос металу електрода до основному металу, що суттєво збільшило втомну міцність з'єднання. Як і раніше, залишались проблеми високої твердості шва в області ЗТВ: твердість була підвищеною і важко контролювалась вибором зварювальних параметрів.

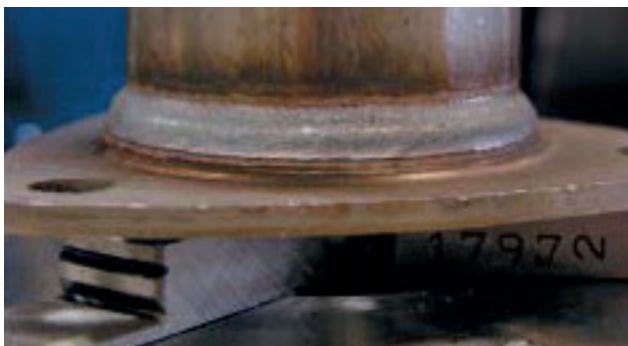
Для зменшення твердості і забезпечення необхідної жаростійкості і корозійної стійкості було випробувано порошковий дріт іншої марки – E 307 (18/18/6) діаметром 1,2 мм. Твердість зменшилась; вона не перевищувала HV 10-225, і мікроструктура перехідної ділянки між феритною корозійностійкою сталлю і вуглецевою сталлю стала сприятливою. Крім рішення вище зазначених проблем застосування цього порошкового дроту дозволило збільшити швидкість зварювання з 12 до 20 мм/с, що підвищило продуктивність і на 22 % знизило вартість виготовлення кожної деталі.

Обширні знання і ноу-хау в області зварювальних процесів, а також тісна співпраця ЕСАБ з замовниками з автомобільної промисловості призвели в результаті до появи нових технологій зварювання тонколистових виробів.

Далеко не всі виробники перейняли інший підхід до зварювання тонколистових виробів – при зменшенні товщини листа замість зменшення діаметра суцільного дроту застосовувати порошковий дріт.

Нова технологія використовує для зварювання роботи і порошковий дріт діаметром 1,4 мм.

Марка порошкового дроту, що розроблена для роботизованого зварювання, – OK Tubrod 14.11. Вона має відмінні властивості подачі, необхідні для невпинної роботи зварювального робота. Дуга виключно стабільна і, отже, майже виключає розбризкування. Особливістю цього дроту є можливість зварювання при великих величинах зварювального струму і малої напруги дуги. Такі результати було досягнуто в результаті цілеспрямованих досліджень.



З'єднання труби з фланцем

На рисунку показано зварну тормозну педаль. При зварюванні замість суцільного дроту використовували порошковий дріт ОК Tubrod 14.11.

В результаті робочий цикл зварювання зменшився на 31 %. Більшість зварювальників знають, що вартість кілограму порошкового дроту приблизно в чотири рази більша за вартість кілограму суцільного дроту. Проте, дякуючи збільшенню продуктивності, вартість одного виробу знизилась на 11 %.

Застосування порошкового дроту в даному випадку не тільки значно знизило вартість виготовлення виробів, але й покращило якість зварювання і суттєво знизило рівень розбризкування.

Зниження циклу роботизованого зварювання тонколистових виробів дуже велике. Це особливо важливо для автомобільних заводів і їх постачальників, які прагнуть підвищити продуктивність і стабільність якості.

При впровадженні нових, більш ефективних зварювальних матеріалів дуже важливо, щоб вони використовувались у всьому виробничому ланцюгу. Інакше можуть з'явитись слабкі ділянки, які скорочують загальне підвищення продуктивності. Продумані зміни технології зварювання всього виробничого ланцюга суттєво заощаджують вкладені кошти. Нові технології зварювання повинні вводитись там, де вони найбільш ефективні.

При зварюванні виробів «труба + фланець» було не важко визначити заходи, які знижують вартість виготовлення виробів. Вартість зварювального робота і витрати на оператора складають 94 % від вартості роботизованої ділянки зварювання. Враховуючи цю цифру, можна засумніватися в доцільності багатогодинних перемовин з питання зниження вартості зварювальних мате-



Зварна тормозна педаль

ріалів на 5 %, якщо цей матеріал знижує вартість виробництва.

Ось чому застосування більш коштовного порошкового дроту ОК Tubrod 14.11 вигідно підприємствам – знижується вартість виробництва і збільшується продуктивність. Геометрія шва забезпечує плавний перехід наплавленого металу до основного металу. Профіль проплавлення ширший і більш стабільний, що знижує залежність якості шва від нерівномірності зазору стика. Значно знижується ризик появи зварювальних дефектів і браку. Це – очевидна економія.

Зниження розбризкування веде до зменшення зупинок, що пов'язані з чисткою приспосіб. Крім того, принаймі на 50 % знижується кількість зупинок робота для очищення газового сопла. Це ще один фактор, що впливає на тривалість зварювальних циклів.

Дуже важливо також обирати потрібний вид пакування дроту. Для суцільного дроту – це, безумовно, Marathon Pac. З'явилась також упаковка Jumbo Pac, що містить 475 кг дроту. Слід зазначити, що застосування упаковки Marathon Pac дозволяє змінювати упаковки, не зупиняючи процес зварювання.

За матеріалами сайту ТОВ «НІСА»

Витратні деталі для різання під дуже великими кутами від компанії Hypertherm

Компанія Hypertherm — виробник промислових систем різання і програмного забезпечення — повідомила про випуск витратних деталей для різання під дуже великими кутами для системи киснево-плазмового і повітряно-плазмового різання MAXPRO200®LongLife®. Витратні деталі призначені для механізованого, роботизованого і ручного різання. Сопло і захисний екран мають яскраво виражену загострену конусоподібну форму; таке виконання забезпечує можливість нахилу плазмового різача при виконанні різання під кутом до 66,5 градусів.

Завдяки цьому витратні деталі ідеально підходять для виконання широкого спектру робіт, в тому числі механізованого різання зі скосом під великим кутом, різання труб, в тому числі тонкостінних, виготовлення металоконструкцій, складання і монтажу посудин високого тиску і ручного різання. Крім того, таке виконання витратних деталей дозволяє операторам краще бачити робочу зону різання і надає можливість виконання більш високоякісних різів у полиць балок і в важкодоступних місцях при скороченні кількості вторинних операцій. Витратні деталі для різання під дуже великим кутом представлені як для повітряного, так і кисневого різання на 130 і 200 А.

Компанія Hypertherm розробляє і виробляє промислові товари для різання, які використовуються компаніями по всьому світу в таких галузях, як суднобудування, авіабудування, вагонобудування, будівництво та багатьох інших. Серед продукції компанії системи різання, які користуються довірою завдяки їх ефективності та надійності, що забезпечує більш високу продуктивність та рентабельність для сотень тисяч підприємств.

Компанія Hypertherm заснована у 1968 р., розташована в Нью-Гемпширі і на 100% знаходиться в спільному володінні більш ніж 1800 співробітників, має дилерську мережу і веде операції по всьому світу.

ОСНОВНІ ВИДИ ПОКРИТТІВ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОДІВ

Покриття зварювальних електродів це гомогенізована маса змішаних хімічних сполук, нанесених на спеціальний металевий стрижень. Головне завдання таких речовин складається в забезпеченні необхідних властивостей зварного шва і сприянні правильному, безперебійному горінню дуги при зварюванні. Залежно від кінцевої мети виробляються ті чи інші різновиди електродів з певними властивостями. Їх різноманітність, асортимент постійно оновлюються на ринку. Нижче наведено найбільш важливі існуючі різновиди електродів.

Целюлозні електроди. Такі покриття виготовляються з целюлози (до 50 %), яка складається з органічних матеріалів, де в основному використовується деревне борошно. До складу також можуть входити феросплави, смоли органічного походження, тальк. Целюлозні електроди тонкі, утворюють малу кількість шлаку, який легко видаляється, і є найбільш підходящими для позиційного зварювання (при роботі з вертикальними швами шлак не сповзає вниз). Хороші результати отримують при односторонньому зварюванні в будь-якому положенні та при зварюванні кореня шва на трубопроводах.

В такому випадку зворотний валик шва рівний і відносно акуратний. При нагріванні електроди дисоціюються на водень і діоксид вуглецю, які, в свою чергу, служать в якості захисних газів. Зазвичай використовується джерело постійного струму. За допомогою стабілізаторів для целюлозних електродів може використовуватися змінний струм. За ГОСТом відповідають таким типам електродів: Э42, Э46 та Э50.

Недоліки. Наплавлений метал містить відносно підвищену кількість водню, що знижує пластичність зварного шву, в зв'язку з чим можливі холодні тріщини. Характерні бризки.

Електроди з рутиловим покриттям. Як відомо, рутит це титановий мінерал. Для цього різновиду електродів в покритті використовують концентрат діоксиду титану (TiO_2), що наноситься на сталеві стрижні. Він дає кислий шлак, забезпечує газовий захист з водню, оксидів азоту і вуглецю. Ці електроди використовуються для низьковуглецевих сталей в будь-яких просторових положеннях. У класифікації ГОСТу по механічних властивостях можна порівняти з типом Э42 та Э46. Додавання невеликої кількості целюлози в рутилові електроди забезпечує додатковий запас для газового захисту. Іноді незначне додавання целюлози в рутит дає подальше підвищення продуктивності, така комбіна-

ція називається рутил-целюлозне покриття (RC). Крім того, можуть бути комбінації з основними і кислими покриттями (RB і RA відповідно).

Особливості. У порівнянні з електродами на кислій основі, рутилові при зварюванні виробляють метал більш стійкий до тріщин, вони дають менше бризок і стабільне, сильне горіння зварювальної дуги при змінному струмі. Відносно не сприйнятливий до іржі, окислення, вологи. Рутилові електроди дають просто відокремлюваний шлак, відмінно показують себе при зварюванні вертикальних швів. Пористість можлива в окремих випадках при порушенні технології зварювання, наприклад, якщо для тонкого металу застосовуються занадто товсті електроди або є зазори в таврових з'єднаннях. Чудово показують себе на ділянках з короткими швами, де необхідні часті перерви і повторне підпалювання дуги.

Слабкі сторони. Рутилові електроди, що потрапили під вплив вологи, можна використовувати лише через добу (потрібно попереднє прожарювання близько години при температурі вище 200 °C). Небажано їх експлуатація для зварювання конструкцій, що піддаються високим температурам і повзучості.

Електроди з кислим покриттям. Зазначений тип покриття електродів містить оксиди металів, включаючи оксид заліза, силікати і оксиди марганцю, які виробляють кислий шлак. Співвідносяться за ГОСТом з типами Э38 та Э42. Можуть використовуватися з постійним і змінним струмом. У зв'язку з високим вмістом кисню електроди з кислим покриттям підвищують температуру, роблячи метал сильно текучим. З одного боку, ці особливості сприяють швидкому зварюванню, а з іншого можуть привести до появи пор, низької міцності зварного шву та підрізів. Для нівелювання цього додаються деякі розкислювачі, що поліпшують механічні властивості і здатність шлаку легко віддалятися.

Позначення типів покриттів електродів

Міжнародне позначення ISO	Позначення по ГОСТ 9466-75	Тип покриття електродів
A	A	Целюлозне
B	Б	Рутилове
R	P	Кисле
C	Ц	Основне
AR	AP	Кислорутилове
RB	PБ	Рутилово-основне
RC	PЦ	Рутилово-целюлозне
S	П	Інші (змішані)
RR	PЖ	Рутилові з залізним порошком



Недоліки. Подовжена дуга, наявність іржі, окислів суттєво підвищують ймовірність гарячих тріщин і пор в зварному шві. Електроди з кислим покриттям підвищують вміст водню в зварювальній ванні. Вони токсичні, мають підвищене виділення брызк.

Основні електроди або електроди з низьким вмістом водню. Базовий електрод містить карбонат кальцію, карбонат магнію, фторид кальцію та інші мінерали (такі як плавииковий шпат). Ці електроди повинні зберігатися в сухому стані і правильно підігріватися перед використанням. Газовий захист включає вуглекислий газ з низьким вмістом водню та кисню. Контроль водню забезпечує захист від впливу атмосфери, робить електроди придатними для високо- і низьколегованих сталей, для сталей з низьким вмістом вуглецю. При зварюванні під впливом високих температур дуги відбувається дисоціація карбонатів, яка в кінцевому підсумку сприяє підвищеній основності шлаків, появі захисного середовища газів практично без виділення водню. Додатково водневу складову пов’язує фтористий кальцій. Через такі особливості різновид отримав свою другу назву – фтористо-кальцієві електроди. Вони незамінні для споруд із жорсткою основою, для загартованих сталей, схильних для появи холодних тріщин,

а також утворюють шви, не схильні до швидкого старіння. Електроди з низьким вмістом водню для ручного дугового зварювання використовують незалежно від просторового положення. Шви можуть бути значної товщини. Тип відповідно до ГОСТ 9467-75 з механічними властивостями, що наплавляється, близький до Э42А–Э50А.

Слабкі сторони. Можливе виникнення пор у разі, якщо зварюваний метал матиме іржу, окислення. Дуга при горінні менш стабільна ніж у інших видів електродів. Застосовується переважно з постійним струмом. Для змінного струму потрібен поташ або спеціальні калій-натрієві з’єднання, поєднані з прогріванням електродів (до 400 °С).

Електроди з домішкою залізного порошку. Залізний порошок додають в усі типи покриттів для підвищення ефективності електродів. Додатковий порошок заліза збільшує швидкість осадження. Це зменшує напругу, дозволяє целюлозним електродам впоратися зі змінним струмом. Крім того, добавка контролює в’язкість шлаку. Властивість дуже корисна для зварювання в різних положеннях.

Покриття зварювальних електродів відрізняється своїми параметрами, властивостями, сферою застосування.

Тип покриття електродів	Переваги	Недоліки	Застосування
Целюлозне	Хороший провар. Мало шлаку.	Високі концентрації водню при зварюванні. Шов середньої якості. Хороші показники в основному для кореня шва. Для змінного струму потрібно застосування додаткового обладнання.	При зварюванні трубопроводів (особливо для кореня шва). Робота в важкодоступних місцях. Одностороннє зварювання в будь-якому положенні.
Рутилове	Зниження витрат. Стабільна дуга. Просто формується шов. Постійний і змінний струм. Просте зберігання.	При зварюванні характерні висока плинність і низька хімічна чистота металу шва. Зварювальна ванна має відносно підвищені концентрації водню.	Зварювання конструкцій з маловуглецевих і низьколегованих сталей в будівництві та машинобудуванні. Горизонтальне положення.
Кисле	Зниження витрат. Стабільна дуга. Шлак легко видаляється. Постійний і змінний струм. Просте зберігання. Високий ступінь розкислення.	Значна кількість водню в металі шва. Недостатня хімічна чистота. Висока плинність металу шва при зварюванні. Токсичність.	Низьковуглецеві сталі. Зварювання в горизонтальному положенні.
Основне	Хороша хімічна чистота і механічні характеристики шва, особливо в плані ударної в’язкості. Мінімальна кількість водню в металі, що наплавляється.	Складнощі при зберіганні. Нестабільна і коротка дуга. Можуть виникати труднощі при відділенні шлаку.	Для легованих сталей. Для ручного дугового зварювання розкислених спокійних сталей з підвищеним вмістом вуглецю. Для зварювання металу великої товщини, а також конструкцій, що працюють при великих динамічних і знакозмінних навантаженнях. Застосовується у всіх просторових положеннях.