

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
Б. Е. Патон

Ученые ИЭС им. Е. О. Патона
д.т.н. **С. И. Кучук-Яценко** (зам. гл. ред.),
д.т.н. **В. Н. Липодаев** (зам. гл. ред.),
д.т.н. **Ю. С. Борисов**,
д.т.н. **Г. М. Григоренко**,
к.ф.-м.н. **А. Т. Зельниченко**,
д.т.н. **В. В. Кныш**,
д.т.н. **И. В. Кривцун**, д.т.н. **Ю. Н. Ланкин**,
д.т.н. **Л. М. Лобанов**,
д.т.н. **В. Д. Позняков**,
д.т.н. **И. А. Рябцев**, д.т.н. **К. А. Ющенко**
Т. В. Юштина (отв. секр.)

Ученые университетов Украины
д.т.н. **В. В. Дмитрик**, НТУ «ХПИ», Харьков,
д.т.н. **В. В. Квасницкий**,
НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского», Киев,
к.т.н. **Е. П. Чвертко**,
НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского», Киев,
д.т.н. **М. М. Студент**, Физ.-механ. ин-т
им. Г. В. Карпенко НАНУ, Львов

Зарубежные ученые
д.т.н. **Н. П. Алешин**
МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, РФ
д.т.н. **Гуань Цяо**
Ин-т авиационных технологий, Пекин, Китай
д.х.н. **М. Зиниград**
Ун-т Ариэля, Израиль
д.т.н. **В. И. Лысак**
Волгоградский гос. техн. ун-т, РФ
д-р инж. **У. Райсген**
Ин-т сварки и соединений, Аахен, Германия
д.т.н. **Я. Пилярчик**
Ин-т сварки, Гливице, Польша
д.т.н. **Г. А. Турчин**
С.-Петербургский гос. политехн. ун-т, РФ

Адрес редакции
ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ
03150, Украина, Киев-150,
ул. Казимира Малевича, 11
Тел.: (38044) 200 6302, 200 8277
Факс: (38044) 200 5484, 200 8277
E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.patonpublishinghouse.com

Учредители
Национальная академия наук Украины,
ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ,
МА «Сварка» (издатель)

Свидетельство о государственной
регистрации КВ 4788 от 09.01.2001
ISSN 0005-111X
DOI: <http://dx.doi.org/10.15407/as>

Рекомендовано к печати
редакционной коллегией журнала

Журнал входит в перечень утвержденных
Министерством образования и науки
Украины изданий для публикации трудов
соискателей ученых степеней

За содержание рекламных материалов
редакция журнала ответственности не несет

Цена договорная
Подписной индекс 70031

Издается ежемесячно

СОДЕРЖАНИЕ

Развитие научных исследований в Отделении физико-технических проблем материаловедения НАН Украины 3

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Калеко Д. М. К вопросу о контактном электрическом сопротивлении разновеликих поверхностей 11

Дмитрик В. В., Гаращенко Е. С., Глушко А. В., Соколова В. Н., Сыренко Т. А. Восстановительная термообработка паропроводов и их сварных соединений (Обзор) 18

Клочков И. Н., Нестеренков В. М., Бердникова Е. Н., Мотрунич С. И. Прочность и долговечность соединений высокопрочного сплава AA7056-T351, выполненных электронно-лучевой сваркой 23

Марченко А. Е., Трачевский В. В., Скорина Н. В. Зависимость гигроскопичности покрытий низководородных электродов от состава и структуры жидкого стекла 29

Размышляев А. Д., Агеева М. В. Влияние магнитного поля на кристаллизацию швов при дуговой сварке 40

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Кайтель С., Мюккенхайм У., Вольски У., Лотц С., Мюглиц Дж., Зигмунд Т. Роботизированная сварка трубчатых узлов 44

Ворончук А. П., Жудра А. П., Петров А. В., Кочура В. О. Влияние режимов наплавки порошковыми лентами на их сварочно-технологические свойства 50

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Наши поздравления 56

Диссертации на соискание ученой степени 57

ХРОНИКА

В международной ассоциации «Электрод» 59

Международный промышленный форум-2018 60

Международная конференция «Сварка и родственные технологии – настоящее и будущее» 63

Информация

Новые источники питания Fronius для ручной TIG сварки 65

Роботизация сварочных производств — аргументы «ЗА» 67

Программы профессиональной подготовки на 2019 г. 70

Автоматичне Зварювання

Avtomaticheskaya Svarka (Automatic Welding)

Видається 12 разів на рік з 1948 р.

Published 12 times per year since 1948

Головний редактор **Б. Є. Патон**

Editor-in-Chief **B. E. Paton**

ЗМІСТ

CONTENTS

Розвиток наукових досліджень у Відділенні фізико-технічних проблем матеріалознавства НАН України 3

Development of research at the Department of Physical and Technical Problems of Materials Sciences of the NAS of Ukraine 3

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Калеко Д. М. До питання про контактний електричний опір різновеликих поверхонь 11
Дмитрик В. В., Гаращенко О. С., Глушко А. В., Соколова В. М., Сиренко Т. О. Відновлювальна термообробка паропроводів та їх зварних з'єднань (Огляд) 18
Клочков І. М., Нестеренков В. М., Берднікова О. М., Мотруніч С. І. Міцність та довговічність з'єднань високоміцного сплаву АА7056-Т351, виконаних електронно-променевим зварюванням 23
Марченко А. Ю., Трачевський В. В., Скорина М. В. Залежність гігроскопічності покриттів низьководневих електродів від складу та структури рідкого скла 29
Размишляєв О. Д., Агєєва М. В. Вплив магнітного поля на кристалізацію швів при дуговому зварюванні 40

Kaleko D.M. On problem of contact resistance of different-sized surfaces 11
Dmitrik V.V., Garashchenko E.S., Glushko A.V., Sokolova V.N., Syrenko T.A. Restorative heat treatment of steam pipelines and their welded joints (Review) 18
Klochkov I.M., Nesterenkov V.M., Berdnikova O.M., Motrunich S.I. Strength and fatigue life of joints of high-strength alloy AA7056-t351, made by electron beam welding 23
Marchenko A.E., Trachevskii V.V., Skorina N.V. Dependence of hygrosopicity of coatings of low-hydrogen electrodes on composition and structure of liquid glass 29
Razmyshljaev A.D., Ageeva M.V. Effect of magnetic field on crystallization of welds in arc welding 40

ВИРОБНИЧИЙ РОЗДІЛ

INDUSTRIAL

Кайтель С., Мюккенхайм У., Вольські У., Лотц С., Мюгліц Дж., Зигмунд Т. Роботизоване зварювання трубчастих вузлів 44
Ворончук О. П., Жудра О. П., Петров О. В., Кочура В. О. Вплив режимів наплавлення порошковими стрічками на їх зварювально-технологічні властивості 50

Keitel S., Mückenheim U., Wolski U., Lotz S., Müglitz J., Sigmund T. Robotic welding on tubenodes 44
Voronchuk A.P., Zhudra A.P., Petrov A.V., Kochura V.O. Influence of modes of flux-cored strip surfacing on their welding-technological properties 50

КОРОТКІ ПОВІДОМЛЕННЯ

BRIEF INFORMATION

Наші вітання 56
Дисертації на здобуття наукового ступеня 57

Our congratulations 56
Thesis for a scientific degree 57

ХРОНІКА

NEWS

У міжнародній асоціації «Електрод» 59
Міжнародний промисловий форум-2018 60
Міжнародна конференція «Зварювання та споріднені технології – сьогодні і майбутнє» 63

At the international Association «Electrode» 59
International Industrial Forum-2018 60
International Conference «Welding and Related Technologies – Present and Future» 63

ІНФОРМАЦІЯ

INFORMATIONS

Нові джерела живлення Fronius для ручного TIG зварювання 65
Роботизація зварювальних виробництв — аргументи «ЗА» 67
Програми професійної підготовки на 2019 р. 70

New Fronius power sources for manual TIG welding 65
Robotization of welding productions — arguments «FOR» 67
Professional training programs for 2019 70

Журнал «Автоматичне зварювання» видається англійською мовою під назвою «The Paton Welding Journal»

«Avtomaticheskaya Svarka» (Automatic Welding) journal is republished in English under the title «The Paton Welding Journal»

Адреса редакції

Address

03150, Україна, м. Київ-150, вул.Казимира Малевича, 11
ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України
Тел./факс: (38044) 200-82-77, 200-63-02
E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.patonpublishinghouse.com

The E. O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine,
11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine
Tel./Fax: (38044) 200-82-77, 200-63-02
E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.patonpublishinghouse.com

Розвиток наукових досліджень у Відділенні фізико-технічних проблем матеріалознавства НАН України

Утворенню Української академії наук передувала активна діяльність ініціативної групи вчених, метою якої було інтегрувати наукові дослідження та об'єднати учених України. Її заснування тісно пов'язане з іменами Володимира Івановича Вернадського та Миколи Прокоповича Василенка. Проаналізувавши принципи діяльності багатьох світових академій, В. І. Вернадський дійшов висновку, що для ефективного економічного розвитку та національного самоствердження держави Українська академія наук повинна існувати не тільки як товариство видатних учених, а бути об'єднанням державних установ, «включаючи інститути для дослідницьких і гуманітарних наук».



Він далекоглядно передбачав зростання ролі науки як виробничої сили у розвитку базисних основ країни та її економічної потужності. Відмова від принципів організації академій як наукових товариств, на його думку, обумовлена бурхливим розвитком природознавства та техніки у другій половині XIX — на початку XX ст. В. І. Вернадський на основі своєї концепції запропонував новий статут Академії, підкреслюючи, що жодний з існуючих на той час у світовій практиці статутів не може бути покладений в основу її діяльності.

М. П. Василенко як міністр та вчений зробив усе можливе для реалізації запропонованої В. І. Вернадським моделі Української академії наук. Діяльність урядових комісій завершилась прийняттям 14 листопада 1918 р. «Закону Української держави про заснування Української академії наук у м. Києві», підписаного гетьманом Павлом Скоропадським. 27 листопада відбулося її перше установче Спільне зібрання. Головою-президентом Академії було обрано академіка В. І. Вернадського.

За Статутом Українську академію наук було оголошено найвищою науковою державною установою в Україні, за час свого існування вона неодноразово змінювала назву, але незмінними залишалися базові принципи її діяльності, закладені В. І. Вернадським.

Символічно, що 27 листопада 2018 р. свій віковий ювілей відзначив і її нинішній президент Борис Євгенович Патон, з ім'ям якого пов'язані основні етапи науково-технічного розвитку в Україні, починаючи з середини XX сторіччя. Борис Євгенович став кращим виконавцем мрії В. І. Вернадського про реальний вплив створюваних національних наукових закладів академії на інтенсифікацію розвитку промисловості, сільського господарства, медицини тощо на українській землі.

На час створення Українська академія наук складалася лише з трьох наукових відділів — історико-філологічного, фізико-математичного та соціальних наук. До фізико-математичного відділу, зокрема, була зарахована Лабораторія для спроб над матеріалами на чолі з професором КПІ Степаном Прокоповичем Тимошенко, фахівцем з механіки матеріалів і теорії споруд.

1929 р. став поворотним у житті Академії. Після обрання до ВУАН вчених — представників технічних наук, зокрема, Євгена Оскаровича Патона, було зроблено рішучий крок на шляху залучення академічної науки до вирішення завдань індустріалізації народного господарства.

У 1934 р. Євгеном Оскаровичем було створено Інститут електрозварювання, становлення і подальша діяльність якого пов'язані з ім'ям видатного вченого.

У 1936 р. було створено Відділ технічних наук, в інститутах якого в різні роки працювали

* За матеріалами доповіді академіка-секретаря Відділення фізико-технічних проблем матеріалознавства НАН України академіка Л. М. Лобанова на Загальних зборах Відділення, присвяченого 100-річчю НАН України.



всесвітньовідомі вчені академіки Є. О. Патон, З. І. Некрасов, О. М. Динник, Г. Ф. Проскура, М. В. Корноухов, М. Ф. Луговцов, І. М. Францевич, М. М. Доброхотов, К. Ф. Стародубов, Г. В. Карпенко, О. П. Чекмарьов, Г. В. Курдюмов та інші.

У 1939 р. засновано Інститут чорної металургії у Харкові з відділеннями в Дніпропетровську й Києві. У той час наукову діяльність Інституту очолювали провідні вчені: директор — академік М. В. Луговцов, академіки М. М. Доброхотов, В. Н. Свечников, Г. В. Курдюмов, члени-кореспонденти В. Є. Васильєв, П. Г. Ємельяненко й І. М. Францевич. Після перебазування 1953 р. у Дніпропетровськ частина Інституту виділилася в самостійні наукові установи, на базі яких були створені інститути проблем матеріалознавства та металофізики.

Безпосередньо Відділ (згодом Відділення) фізико-технічних проблем матеріалознавства НАН України було створено у червні 1963 р. в результаті реорганізації Відділу технічних наук.

Першим академіком-секретарем Відділу був видатний вчений в галузі порошкової металургії, досвідчений організатор науки, академік Іван Михайлович Федорченко, який незмінно очолював його протягом 25 років.

В той час до складу Відділу фізико-технічних проблем матеріалознавства входили 4 інститути: електрозварювання ім. Є. О. Патона, металокераміки і спеціальних сплавів, заснований у 1952 р., відокремившись від Інституту чорної металургії (з 1964 р. — Інститут проблем матеріалознавства), ливарного виробництва, створений у 1958 р. (зараз — Фізико-технологічний інститут металів та сплавів), Інститут машинознавства і автоматики, заснований у 1951 р. (з 1964 р. — Фізико-механічний інститут).

У 1972 р. до складу АН УРСР увійшли Інститут надтвердих матеріалів та Проектно-конструкторське бюро електрогідравліки (з 1991 р. — Інститут імпульсних процесів і технологій).

З 1988 по 2015 р. Відділенням натхненно та самовіддано керував видатний вчений, талановитий організатор науки, академік АН УРСР І. К. Походня. Ігор Костянтинівич багато сил та енергії віддавав вдосконаленню координаційної діяльності Відділення, організації нових напрямів досліджень у галузі матеріалознавства, підготовці наукових кадрів, роботі з науковою молоддю, зміцненню матеріальної бази інститутів.

У 1990 р. створено Інститут термоелектрики подвійного підпорядкування (тепер НАНУ та МОН). У 1991 р. до НАН України перейшов «НТК Інститут монокристалів», а у 1992 — повернувся Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова.

Сьогодні до складу Відділення фізико-технічних проблем матеріалознавства НАН України входять 11 наукових установ.

Становлення Відділення відбувалося в час стрімкого розвитку промислового комплексу, зокрема, металургії, машинобудування, авіакосмічної галузі, атомної енергетики, будівництва транспортних сполучень та мостів, електроніки, що викликало гостру потребу у створенні нових матеріалів та вирішенні складних науково-технічних завдань. Якщо у 1930–1950 рр. найбільш нагальною потребою було забезпечення різних галузей економіки конструкційними матеріалами, то з розвитком атомної енергетики, космічної галузі, електроніки, медичної техніки зростала потреба в розширенні кола композиційних, інструментальних, жаростійких, надтвердих, радіаційностійких та інших функціональних матеріалів. В той же час з розвитком інфраструктур і експлуатацією великої кількості об'єктів відповідального призначення виникла потреба у створенні методів і засобів їх неруйнівного контролю та технічної діагностики.

Наше Відділення завжди активно реагувало на нові вимоги часу, у багатьох випадках випереджаючи їх. Спрямовуючи таким чином фундаментальну науково-дослідницьку та прикладну технологічну діяльність на актуальні проблеми, інститути Відділення досягли визнаних у світі вагомих результатів. Цьому сприяло також практичне втілення концепції Б. Є. Патона про концентрацію наукової творчості на цілеспрямованих фундаментальних дослідженнях.

Так, за ініціативи вчених Відділення започатковано ряд цільових комплексних програм НАН України.

Всі інститути Відділення беруть участь у виконанні цільової наукової програми «Перспективні конструкційні та функціональні матеріали з тривалим терміном експлуатації, фундаментальні основи їх одержання, з'єднання та обробки». Крім того, інститути виконують фундаментальні і прикладні дослідження за проектами цільових програм наукових досліджень: «Надійність і довговічність матеріалів, конструкцій, обладнання та споруд», «Фундаментальні аспекти відновлювально-водневої енергетики і паливно-комірчаних технологій», «Матеріали



для медицини і медичної техніки та технології їх отримання і використання», «Фундаментальні проблеми створення нових наноматеріалів і нанотехнологій».

Інститути Відділення зробили великий внесок у розвиток матеріалознавчої науки, що суттєво вплинуло на процеси науково-технічного прогресу.

Діяльність Інституту електрозварювання — це ціла епоха розвитку вітчизняної науки і техніки в галузі зварювання та споріднених технологій. Проведено величезний комплекс фундаментальних досліджень фізико-технічних і теплофізичних процесів зварювання, механізмів плавлення, випаровування, кристалізації та конденсації металів; рафінування переплавів, міцності і надійності зварних з'єднань та конструкцій. Створені Інститутом технології знайшли застосування на землі, під водою і в космосі, а також для зварювання живих тканин. Роботи Інституту багато в чому визначили розвиток світової зварювальної науки і техніки.

Слід відмітити ряд досліджень і розробок, виконаних в інституті останнім часом.

Розроблено технології контактного стикового зварювання пульсуючим оплавленням високоміцних рейкових сталей. Зварювальне устаткування модернізоване комп'ютеризованими системами автономного керування. Створені технології і обладнання впроваджуються на рейкозварювальних підприємствах ПАТ «Укрзалізниця» та широко експортуються за кордон.

Вперше у світовій практиці методом електронно-променевої плавки відпрацьовано технологію отримання бездефектних високоякісних зливків високоміцних титанових сплавів великих діаметрів з рівномірним розподілом легуючих елементів з перспективою впровадження у виробництві напівфабрикатів для потреб літакобудування та оборонного комплексу України.

Розроблено структуру проміжних прошарків на основі наночастинок фольги та технологію отримання з їх допомогою нероз'ємних з'єднань різномірних жаростійких сплавів в твердій фазі з високим рівнем міцності, що відкриває нові можливості для створення елементів конструкцій аерокосмічного призначення.

Розроблено принципово новий спосіб вирощування монокристалів тугоплавких металів з одночасним використанням плазово-дугового та індукційного нагріву. Створено унікальну виробничу ділянку з вирощування супервеликих монокристалів вольфраму і молібдену у вигляді пластин і тіл обертання.

Визначені та запропоновані для клінічного застосування оптимальні параметри процесу високочастотного зварювання різномірних тканин — шлунок, стравохід, тонка та товста кишка, жовчний міхур, нерви та сухожилля. Створено обладнання нового покоління для зварювання живих тканин.

Інститутом матеріалознавства виконано масштабні фундаментальні дослідження, якими закладено фізико-хімічні основи створення нових неорганічних, металічних, керамічних, композиційних, наноструктурованих матеріалів із наперед заданими властивостями, зокрема, для експлуатації в екстремальних умовах. В активі Інституту унікальні результати дослідження фізики міцності конструкційних матеріалів з високою питомою міцністю і тугоплавких металів та сплавів, новітні технології порошкової металургії, високоефективні матеріали для систем отримання, зберігання і використання водню, зокрема, матеріали для керамічних паливних комірок. Слід відзначити, що Інститут став всесвітньовідомим центром сучасного матеріалознавства.

Наведу декілька прикладів останніх робіт.

В Інституті виконано фундаментальні дослідження, якими закладено фізико-хімічні основи створення нових неорганічних, металічних, керамічних, зокрема оксидних матеріалів, що базуються на дослідженні фазових рівноваг та побудові невідомих раніше діаграм стану подвійних, потрійних і більш складних металічних і оксидних систем, а також поверхневих явищ у відповідних розплавах, процесів змочування та контактної взаємодії.

Методи порошкової металургії знайшли ефективне застосування в традиційних ливарних технологіях для позапічної обробки розплавів чавуну, сталі та сплавів на основі кольорових металів. Розроблені технології впроваджені у виробництві ґрунтообробної техніки і чавунних прокатних валків, забезпечивши суттєве підвищення ресурсу та стійкості робочих органів.

Значну увагу Інститут приділяє розробці матеріалів біомедичного призначення. Так, розроблено нові матеріали на основі титану, які леговані біоінертними домішками, зокрема, кремнієм, що сприяє кісткоутворенню. Їх перевагою є наблизений до кісток модуль пружності. Інші матеріали на основі гідроксилапатиту, синтетичного аналогу кісткової тканини, вже дозволили провести у клініках України десятки тисяч стоматологічних, сотні ортопедичних та



Створення Української академії наук



**Павло Петрович
Скоропадський**
Гетьман Української держави
(1873-1945)



**Володимир Іванович
Вернадський**
Перший президент УАН,
учений геолог і геохімік
(1863-1945)



**Микола Прокопійч
Василенко**
Український вчений-історик,
громадський та політичний діяч
(1866-1935)

На пропозицію міністра освіти та мистецтва М. Василенка створили спеціальну комісію, яка від 9 липня до 17 вересня 1918 р. виробила законопроект про заснування Української академії наук, затверджений гетьманом П. Скоропадським 14 листопада 1918 р. Її урочисте відкриття відбулося 27 листопада 1918 р.

Керівники Відділу технічних наук (1936-1963 рр.)



Святен Оскарович Патон
(1876-1953)
Академік АН УРСР, вчений у
галузі варильних процесів і
мостобудування



**Олександр Миколайович
Джиник** (1876-1950)
Академік АН УРСР, вчений у
галузі механіки та теорії
пружності



**Сергій Володимирович
Сербенський**
(1905-1977)
Академік АН УРСР, інженер-механік



**Георгій Фелорович
Прескура**
(1876-1958)
Академік АН УРСР, вчений у
галузі аеродинаміки і
гідромашинобудування



**Микола Миколайович
Доброволь**
(1889-1963)
Академік АН УРСР, вчений у
галузі металургії сталі і
теплотехніки



**Микола Васильович
Коронюхов**
(1903-1958)
Академік АН УРСР, вчений у
галузі будівельної механіки



**Костянтин
Костянтинівч Хрєсов**
(1894-1984)
Академік АН УРСР,
український вчений у галузі
електропроявлення



**Григорій Валентинівч
Самсонов**
(1918-1975)
Член-кореспондент АН УРСР,
вчений у галузі хімії й технології
інергійних матеріалів

Відділ фізико-технічних проблем матеріалознавства (1963-1988 рр.)



Іван Михайлович Федорченко
(1909-1997)
Перший академік-секретар Відділу, видатний
вчений у галузі порошкової металургії,
досвідчений організатор науки, академік

- Інститут електрозварювання;
- Інститут металокераміки і спецсплавів (з 1964 р. - Інститут проблем матеріалознавства);
- Інститут ливарного виробництва (з 1964 р. - Інститут проблем лиття, з 1996 р. - Фізико-технологічний інститут металів і сплавів);
- Інститут машинознавства і автоматики (з 1964 р. - Фізико-механічний інститут).

У підпорядкування АН УРСР перейшли:

- 1972 р. Інститут надтвердих матеріалів.
- 1972 р. Проектно-конструкторське бюро електрогідравліки, згодом у 1991 р. перейменовано на Інститут імпульсних процесів і технологій.

Видатні вчені Відділу технічних наук (1936-1963 рр.)



**Максим Власович
Луговнов**
(1889-1963)
Академік АН УРСР, вчений у
галузі металургії



Зол Галіч Некрасов
(1908-1990)
Академік АН УРСР, вчений в
галузі чорної металургії



**Іван Миколайович
Францевич**
(1905-1985)
Академік АН УРСР, вчений у
галузі фізичної та неорганічної
хімії, порошкової металургії і
фізики твердого тіла



**Георгій Вячеславович
Куралов**
(1902-1966)
Академік АН УРСР, вчений у
галузі металознавства



**Кирило Фелорович
Стародубов**
(1904-1984)
Академік АН УРСР, вчений у
галузі металургії та
металознавства



**Олександр Петрович
Чемарлов**
(1902-1975)
Академік АН УРСР, вчений у
галузі металургії та обробки
металів тиском

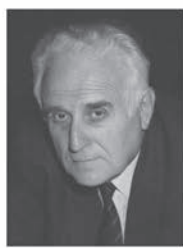


**Георгій Володимирович
Карпенко**
(1910-1977)
Академік АН УРСР, вчений у
галузі фізико-хімічної механіки
матеріалів



**Павло Терентійович
Смелянський**
(1905-1947)
Член-кореспондент АН УРСР,
вчений у галузі обробки металів
тиском

Відділення фізико-технічних проблем матеріалознавства (1988-2015 рр.)



Ігор Костянтинівч Походня
(1927-2015 рр.)
Академік-секретар Відділення,
видатний вчений у галузі
матеріалознавства і електрозварювання,
академік НАН України

У підпорядкування АН УРСР
перейшли:

- 1990 р. Інститут термоелектрики подвійного підпорядкування (тепер НАНУ та МОН) на базі СКТБ "ФОНОН" та проблемної лабораторії Чернівецького Університету.
- 1991 р. "НТК Інститут монокристалів" на базі НВО „Монокристалреактив”.
- 1992 р. Повернуто до складу АН УРСР Інститут чорної металургії, який у 1963 р. був підпорядкований Держкомітету РМ СРСР, а з 1965 до 1992 рр. - Міністерству чорної металургії СРСР.

Відділення фізико-технічних проблем матеріалознавства



Наразі до складу Відділення входять 23 академіки та 43 членів-кореспондентів

офтальмологічних операцій.

Розроблено низку сплавів із оптимальними питомими характеристиками для підвищення ефективності роботи авіаційних двигунів, зменшення їх ваги. Це, зокрема, високоміцні сплави алюмінію, жаростійкі та жароміцні сплави титану, сплав на основі ніобію та ультрависокотемпературна кераміка для газотурбінних двигунів.

В галузі наноматеріалів проведено дослідження нано- і мультифероїків, що мають пріоритет у світовій науці та можуть стати проривним кроком до мініатюризації електронної техніки, переходу до молекулярної електроніки. Інший приклад — однофазні мультифероїки з великим магнітоелектричним ефектом при кімнатній температурі, на основі яких розроблені високочутливі датчики для використання у медицині.

Інституту надтвердих матеріалів вдалося на вищому світовому рівні успішно вирішити важ-



ливу наукову проблему – створити промислову технологію синтезу алмазів з вуглецю у вигляді порошків і крупних монокристалів. Револьюційною подією став синтез надтвердих матеріалів — алмазу і кубічного нітриду бору. Створені високі технології одержання функціонально орієнтованих матеріалів і обробки металів і неметалів інструментом з надтвердих матеріалів. Розробки Інституту увійшли в історію розвитку науки і техніки України.

Вченими Інституту досягнуто значних успіхів у розробці технології вирощування крупних структурно досконалих монокристалів алмазу. Однією з цілей досліджень є цілеспрямоване формування центрів провідності та люмінесценції в кристалах, які дають змогу ефективно використовувати їх в електроніці для створення радіаційних детекторів.

Важливим напрямом є одержання надтвердих полікристалічних матеріалів, за яким створено спосіб одержання алмазного полікристалічного композиту алмаз — карбід кремнію, армований CVD алмазом для оснащення бурового інструменту.

Розроблено технології спікання та механічної обробки куль з карбїду бору для керамічних підшипників. Швидкохідні підшипники з керамічними кулями характеризуються незначним тертям і тепловиділенням при високих швидкостях і навіть при високих навантаженнях, вони менш чутливі до змащення й можуть працювати без змазки.

Фізико-технологічним інститутом металів та сплавів розроблено принципи управління структуроутворенням та формуванням властивостей литих сплавів та виливків з них з використанням багатофакторного енергетичного та фізико-хімічного впливу на розплав. Розроблено теорію і технологію сталевих зливок для отримання великих зливок високої якості. Створено ряд нових литих матеріалів, технологічних процесів та устаткування для потреб провідних галузей промисловості.

Відзначимо декілька з останніх досліджень.

Створено гібридний ливарно-лазерний процес та оригінальні конструкції реакторів, в яких відбувається лазерний нагрів частинок та формування суспензій. Визначено оптимальний спосіб перемішування розплаву з армуючими фазами.

Створено технологію та обладнання для одержання волокон і нанодисперсних лігатур різного хімічного складу, якими легують деформівні алюмінієві сплави. Їх використання дозволяє диспергувати структуру в безперервнолитих зливках, значно підвищуючи їх пластичність та міцність, в чому зацікавлені ряд провідних підприємств України.

Вперше створено магнітодинамічне обладнання для управління потоком алюмінієвого розплаву за допомогою керованих електромагнітних сил і мобільних систем збудження пульсуючого магнітного поля. Запропоноване технічне рішення є перспективним для одержання листової металопродукції стратегічного призначення на ливарно-прокатних комплексах.

У Фізико-механічному інституті закладено фундаментальні основи нової галузі науки — фізико-хімічної механіки матеріалів, сформованої на стику матеріалознавства, механіки деформованого твердого тіла і хімічного опору матеріалів. Створена теорія деформування та руйнування матеріалів з урахуванням їх дефектності та дії робочих середовищ. На світовому рівні проведено широкий комплекс досліджень щодо вирішення проблем водневого матеріалознавства та корозії, а також створення фізичних основ та інформаційних технологій технічної діагностики і дистанційного контролю.

Наведу декілька прикладів робіт останніх років.

Для авіаційної техніки створено нові технології поверхневого зміцнення титанових виробів. Технології зміцнення базуються на формуванні структурно-фазового стану приповерхневих шарів оксидуванням і оксинітруванням. Результати діагностування обшивки фюзеляжу, крил літаків та лопастей гелікоптерів впроваджено на ДП «Мотор-Січ».

Методом мікробіологічного синтезу із відновлювальної сировини розроблено перспективний екологічно-безпечний інгібітор корозії металів і сплавів, призначений для захисту обладнання нафтогазової промисловості, машинобудування та інших галузей. Його використання дасть змогу знизити ступінь забруднення довкілля синтетичними засобами.

На основі розв'язків крайових задач теорії пружності вперше у світовій літературі встановлено зв'язки коефіцієнтів концентрації та інтенсивності напружень у тілах з гострими та закруженими кутковими вирізами. Такі залежності можна використати для побудови математичних моделей зародження та поширення тріщин біля вирізів за втомного навантаження.

У Науково-технологічному комплексі «Інститут монокристалів» досягнуто значних успіхів у



розвитку матеріалознавства сцинтиляційних та люмінесцентних середовищ та створенні сцинтиляційних детекторів для жорстких умов експлуатації. Створено унікальні технології швидкісного вирощування великогабаритних монокристалів, зокрема профільованих монокристалів сапфіру для виготовлення виробів широкого спектру призначення. Розробляються перспективні кристалічні матеріали для оптики і лазерної техніки. Хіміками комплексу створюються нові технології отримання матеріалів фармацевтичного та медико-біологічного призначення. НТК «Інститут монокристалів» досягнув значних успіхів у виході своєї науково-технологічної продукції на міжнародний ринок.

Ведеться розробка нових оксидних сцинтиляторів на основі алюмо-іттрієвих гранатів як радіаційно-стійких сцинтиляторів для апгрейду детекторів Великого адронного колайдера. Розроблено сцинтилятор оптимізованого складу із швидким часом загасання, що дозволить у майбутньому створити нові колайдерні детектори.

Створена технологія вирощування крупних кристалів сапфіру у відновлювальних газових середовищах методом горизонтальної спрямованої кристалізації.

Створено та оптимізовано технологічний маршрут отримання лазерних керамік із диференційною ефективністю лазерної генерації 60 % при діодній накачці на довжині хвилі 970 нм.

Створено високоефективні сорбційні матеріали для групового або селективного вилучення радіонуклідів з рідких радіоактивних відходів атомної промисловості. Україні конче потрібні такі матеріали, оскільки тільки на одному блоці АЕС за рік роботи накопичується до 1500 м³ відходів, а під час нештатних ситуацій ця кількість зростає в сотні разів.

В Інституті чорної металургії вперше у світовій практиці під керівництвом академіка Зота Ільча Некрасова було створено теоретичні, технологічні та практичні засади технології плавки для доменних печей великого об'єму, використання у доменній плавці природного газу та дуття, збагаченого киснем. Подальший розвиток доменної плавки здійснено за рахунок раціонального розподілу шихтових матеріалів та застосування ефективних систем контролю технологічного процесу. Широкого розповсюдження у практиці металургійного виробництва набули роботи інституту у галузі сталеплавильного виробництва, термічної та термомеханічної обробки прокату.

Зокрема, нещодавно в Інституті виконано комплекс робіт з підвищення якості металопродукції для залізничного транспорту; встановлено закономірності формування рівномірної зеренної структури перліту в залізничних колесах зі сталей різного складу. Впровадження отриманих результатів забезпечило зменшення браку залізничних коліс, бандажів та колісних центрів; вдосконалено моделі доменного процесу, що покладені в основу створеної вперше вітчизняної інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень з управління доменною плавкою, яка дозволяє в оперативному режимі діагностувати хід печі, корегувати параметри процесу та видавати рекомендації з його оптимізації; створено і введено в експлуатацію комплекс позапічної десульфурзації чавуну і видалення шлаку в 350-тонних ковшах на сталеплавильному заводі.

Інститут імпульсних процесів і технологій розробив наукові основи розрядно-імпульсних технологій, розвинув теорію електровибухового перетворення енергії в конденсованих середовищах, сформулював фізичні аспекти підводного високовольтного розряду. Створено імпульсні джерела енергії високої густини, унікальні гідроакустичні випромінювачі, системи управління розрядно- імпульсними процесами обробки і синтезу матеріалів. Розроблені технології широко використовуються для підвищення дебіту нафтових та водяних свердловин, холодної листової штамповки сплавів, очищення литва, очищення підводних металоконструкцій від біологічного обростання, приготування водно-вугільного палива тощо.

Нещодавно враховуючи високу потребу автомобіле- та літакобудування в деталях із алюмінієвих сплавів, в Інституті розроблено спосіб їх комбінованого імпульсно-статичного пластичного деформування, що дозволяє отримувати деталі складної форми з глибокою витяжкою і 100%-им заповненням кутів і згинів. Додатковою перевагою способу є значна економія електроенергії.

В Інституті термоелектрики відкрито закон термоелектричної індукції струму, на основі якого створено принципово нову узагальнену теорію термоелектричного перетворення енергії. На основі розвинутого термоелектричного матеріалознавства розроблено методи винайдення нових типів термоелементів, розширено елементну базу термоелектрики, створено велику кількість термоелектричних приладів. Серед них прилади космічного призначення, що вста-



новлені майже на двохстах п'ятидесяти супутниках Землі. Інститут займає провідні позиції на світовому рівні щодо вирішення сучасних наукових проблем термоелектрики і створення термоелектричної апаратури.

Зокрема, в Інституті започатковано принципово нові контактні і комутаційні композитні структури на екструдованих термоелектричних матеріалах для термоелектричних перетворювачів енергії. Результати використано при створенні термоелектричних модулів охолодження, які постачаються французькій аерокосмічній фірмі та призначені для охолодження та термостабілізації ПЗС матриць в системах орієнтації низькоорбітальних та геостаціонарних супутників.

Високий науковий і науково-технічний рівень досліджень, проведених ученими Відділення, їх вагомий внесок у вирішення важливих для держави галузевих науково-технічних завдань, відзначено численними Державними та іменними преміями. Роботи учених Відділення отримали 64 Державних премій СРСР, 60 премій Ради міністрів СРСР, 131 Державну премію України в галузі науки і техніки, 4 премії Кабінету Міністрів України, 106 премій імені видатних вчених НАН України.

Хочу відзначити, що інститути нашого Відділення мають високий науковий потенціал, достатній для того, щоб зробити ще більший внесок у розвиток матеріалознавчої науки, посилити її вплив на процеси науково-технічного прогресу. Подальший розвиток наукоємних галузей економіки, серед яких атомна й тепла енергетика, авіакосмічна техніка, машино-, судно- та приладобудування, транспорт, електроніка, хімічна промисловість, будівництво – потребує створення перспективних конструкційних і функціональних матеріалів, здатних забезпечити працездатність виробів та об'єктів довготривалої експлуатації, що працюють в умовах високих статичних, циклічних та динамічних навантажень, під дією агресивних середовищ, радіаційного опромінення, високих і низьких температур.

Перспективні дослідження та розробки вчених у галузі матеріалознавства слід зосередити, насамперед, на фундаментальних проблемах створення матеріалів із наперед заданими властивостями, та науково-обґрунтованих методів їх з'єднання, обробки і діагностування. Пріоритетного розвитку повинні набувати такі напрями, як нові конструкційні матеріали з високою питомою міцністю, сучасні керамічні та композиційні матеріали, наноструктуровані матеріали, оптичні та лазерні матеріали, новітні технології зварювання та адитивні технології отримання виробів і елементів конструкцій на основі використання висококонцентрованих джерел енергії, новітні кристалічні та композиційні функціональні матеріали для фізики високих енергій, оптоелектроніки, радіаційного, хімічного і екологічного моніторингу, ефективні технології захисту металів від корозії.

Актуальними є дослідження й розробки нових технологій порошкової металургії, інженерії поверхні і одержання монокристалічних і надтвердих матеріалів, створення термоелектричних матеріалів і приладів різноманітного призначення. Також розширюватимуться роботи зі створення матеріалів, технологій і обладнання медичного призначення, зокрема приладів та технологій для зварювання живих тканин, біосумісних і біоактивних матеріалів, ендопротезів, штучних кісток, стентів тощо.

Щодо перспективних матеріалів для сучасної промисловості слід відзначити необхідність розроблення та впровадження технологій для створення в Україні виробництва високоміцних рейок для швидкісних залізничних магістралей з тривалим ресурсом експлуатації, технологій виробництва високоміцного металопрокату масового призначення з економно легованих сталей для залізничних вантажних вагонів нового покоління та будівництва. Необхідні також розроблення і впровадження ультрависокотемпературної кераміки та нових металевих матеріалів для газотурбінних двигунів авіаційної і космічної техніки та енергомашинобудування; нових зносостійких матеріалів для ґрунтообробної та переробної сільськогосподарської техніки, металургійного і гірничовидобувного обладнання; новітніх металогібридних матеріалів для отримання та акумулювання водню в технологіях відновлювально-водневої енергетики. Складно переоцінити актуальність вирішення проблем управління експлуатаційною надійністю та довговічністю відповідальних виробів та об'єктів шляхом оцінки та моніторингу їх технічного стану, а відтак необхідність створення нових досконалих методів і засобів технічної діагностики та подовження ресурсу конструкцій, машин та обладнання.

Одним з головних пріоритетів діяльності установ Відділення і надалі буде залишатися наукове забезпечення вирішення актуальних завдань оборонної тематики.



Сьогодні для українських вчених все більше значення набуває належність до міжнародної спільноти.

Для залучення додаткових джерел фінансової підтримки, оновлення матеріально-технічної бази, проведення спільних досліджень та стажування науковців за кордоном наші інститути виконують міжнародні контракти, проекти, гранти. Ними налагоджені широкі науково-технічні зв'язки з провідними науковими центрами та фірмами Західної Європи, а також США, Канади, Японії, Китаю, республіки Корея та ін.

Зокрема, активну участь установи Відділення приймають у міжнародній конкурсній тематиці. На сьогодні виконується близько 40 грантів Європейського Союзу у Сьомій рамковій програмі, програмах HORIZONT 2020, УНТЦ, ІНТАС, НАТО, CRDF та інших.

За міжнародними контрактами останніми роками інститутами Відділення було виготовлено, випробувано і поставлено електронно-променеві установки для зварювання і нанесення покриттів, обладнання для контактної-стикового зварювання; комплект електрогідроімпульсного свердловинного пристрою; реалізовано на експорт різальні пластини з кубічного нітриду бору, алмазні правлячі ролики; скінтіляційні елементи на основі кристалів селеніду цинку, а також виробили з оптичної кераміки, біокераміки, ультрависокотемпературної кераміки та інша науково-технічна продукція і науково-дослідні послуги.

Проводилася міжнародна співпраця у галузях доменного виробництва, позапічної обробки металу, виробництва сталі, металознавства, термічної та термомеханічної обробки металу, металургійного машинознавства; проблем корозії та корозійно-втомного руйнування конструкційних металів та сплавів в умовах впливу тропічного морського клімату; створення електро-розрядних технологій очищення стічних промислових та комунальних вод; очищення газових викидів ТЕС; очищення морських стаціонарних платформ від біологічного обростання тощо.

Слід відмітити, що два інститути Відділення організували спільні наукові китайсько-українські центри: Китайсько-український інститут зварювання ім. Є. О. Патона та Китайський науково-технологічний центр Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України.

Вчені Відділення виїжджають за кордон з метою проходження наукового стажування, участі у міжнародних конференціях, організаціях, комісіях, переговорах про взаємне співробітництво, викладання лекцій, а також приймають іноземних вчених та спеціалістів у свої інститути для обговорення виконання робіт за договорами та грантами, особливо останнім часом помітне розширення співробітництва з Китаєм. Позитивним прикладом в цьому відношенні є велика Міжнародна конференція «Передові матеріали та технології», що була проведена 24–26 жовтня цього року у китайському місті Нінхау і у якій прийняли участь 60 українських фахівців, головним чином із інститутів нашого Відділення.

Попри досить активну співпрацю, яка, на жаль, в деяких випадках часом обмежується фінансовими можливостями установ щодо оплати командировань, слід відзначити, що нам варто більше уваги приділяти питанням розширення участі у міжнародних проектах, особливо у програмі Горизонт 2020. При цьому треба враховувати, що вже зараз відбувається обговорення тематичних напрямів 9 рамкової програми Європейської спільноти.

Також необхідно і надалі підтримувати і зміцнювати зв'язки з провідними вузами України, які передбачають спільні наукові дослідження, викладацьку діяльність, керування підготовкою бакалаврів та магістрів, сприяння проведенню виробничої та дипломної практик, участь у роботі спеціалізованих вчених рад, надання робочих місць молодим спеціалістам і залучення їх до аспірантури.

Всі ми знаємо труднощі, які відчуває у теперішній час Національна академія наук України і наше Відділення, зокрема. Це перш за все катастрофічне недофінансування, низька заробітна плата, дефіцит сучасного дослідницького обладнання, непривабливість наукової діяльності в Україні для молоді, плінність молодих кадрів за кордон, проблеми з житлом, надмірні площі в інститутах, які неможливо підтримувати у робочому стані при сьогоднішніх тарифах на комунальні послуги, а також несприйняття інновацій промисловістю. Але незважаючи на це інститути Відділення зустрічають 100-річний ювілей нашої Академії новими та значними науковими досягненнями. І надалі, попри усі труднощі, нам необхідно наполегливо працювати.

К ВОПРОСУ О КОНТАКТНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ СОПРОТИВЛЕНИИ РАЗНОВЕЛИКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Д. М. КАЛЕКО

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

В теории электрических контактов принята экспериментально проверенная обратная пропорциональность электрического переходного сопротивления от приложенной нагрузки. В статье показано, что это условие не выполняется при небольших усилиях сжатия разноразмерных контактов, которые имеют место, в частности, при возбуждении электрической дуги касанием или разрушением тонкого проводника. Измерения электрического сопротивления приконтактной области между тонким (диаметром 0,75 мм) проводником и листом из сталей St37 (сталь 10) и 1.4301 (08X18N10), латуни CuZn37 (Л63) и алюминиевого сплава AlMg3 (AMg3) показали, что вследствие упругой деформации контактной поверхности под действием локальной нагрузки при возрастании усилия до определенных пределов имеет место повышение электрического сопротивления. В условиях эксперимента граничное усилие составляло 2-3 даН, в зависимости от механических характеристик материала. При выходе за эти пределы приобретает силу общепринятая функциональная зависимость. Библиогр. 12, табл. 1, рис. 8.

Ключевые слова: переходное электрическое сопротивление, электрические контакты, упругая деформация, приварка шпилек

Роль контактного сопротивления как нелинейного элемента электрических цепей очень велика и ей посвящена обширная литература. Основополагающей является книга Р. Хольма [1], в которой область контакта рассматривается как область стягивания электрического тока, определяемая реальной площадью поверхностей, вступающей в электрический контакт. При этом, учитывая, что микровыступы шероховатости на контактирующих поверхностях имеют случайное распределение высоты, предполагается, что под действием приложенной нагрузки они пластически деформируются и, таким образом, реальная площадь контактирующих поверхностей определяется усилием сжатия и механическими характеристиками материалов контакта.

Все работы, связанные с изучением переходного сопротивления в электрических контактах [1], электрического сопротивления при контактной сварке [2], развитием физического контакта при холодной [3] и диффузионной сварке [4], а также в машиноведении [5], рассматривают контакт между плоскими (или сферическими и цилиндрическими [1]) поверхностями при условиях пластической деформации поверхности абсолютно жесткого тела.

Рассматривая деформацию микровыступов различной формы, принимают одну из поверхностей гладкой и недеформируемой. Иначе пришлось бы учитывать вероятностный характер условий на поверхности контактов. По данным работы [5] шаг микронеровностей, в совокупности составляющих шероховатость, меняется в пределах от 2 до 800, а высота от 0,03 до 400 мкм.

При попытках моделирования реальная картина аппроксимируется сферическими, коническими, пирамидальными, призматическими и сферическими выступами, а их действительное распределение по поверхности заменяется схемой, в которой вводятся понятия «контурная» и «кажущаяся» площади. Как показано в работе [6] контурная площадь составляет 5...10 %, а фактическая — 0,01...0,1 % номинальной.

В то же время неопределенность геометрии микровыступов и их топографии, случайности встречи неровностей на сопрягаемых поверхностях и, соответственно, условий их деформирования, делают любую строгую схему нереальной. Единственное проверенное практикой заключение из многочисленных моделей сводится к пропорциональности площади контакта и электрического переходного сопротивления от приложенной нагрузки $1/P^{\alpha}$, где P — усилие сжатия контактирующих поверхностей, а α — эмпирический коэффициент, изменяющийся в пределах 0,3...0,8. Отсюда следует, что контактное электрическое сопротивление не зависит от кажущейся площади контакта, т.е. от давления, приложенного к контактирующим поверхностям. Как будет показано ниже, это справедливо только при относительно высоких нагрузках, когда упругая деформация в области контакта исчерпана.

Обзор попыток вывести формулу для расчета контактного сопротивления [7] показал неприменимость известных формул без дополнительного эксперимента.

В отличие от изученных условий контактирования твердых тел, при возбуждении дуги плавя-

щимся тонким проводником, которое имеет место при дуговой сварке [8] и дугоконтактной приварке шпилек, а также при точечной сварке сопротивлением в контакте электрод-деталь, форма контактирующих поверхностей отличается большим различием площадей взаимодействующих поверхностей и их текстурой.

Это пробудило интерес к изучению функциональной зависимости переходного электрического сопротивления от приложенного усилия в условиях, отличных от исследованных ранее, а именно, в контакте разновеликих поверхностей.

Для исследования влияния нагрузки на электрическое сопротивление области контактирования оказалось целесообразным базироваться на способе дугоконтактной приварки шпилек. Это обусловлено массовым изготовлением шпилек оригинальной формы, имеющих тонкий выступ на привариваемом конце. Шпильки изготавливаются холодной высадкой и потому разброс диаметров выступа и их длины в одной партии, практически, отсутствует.

При дугоконтактной конденсаторной приварке шпилек по методу «с предварительным контактом», как говорит само название, процесс начинается с контактирования шпильки с листом (рис. 1) без включения тока разряда конденсаторов. Затем включается разрядный ток, начинается нагрев тонкого выступа вплоть до его разрушения с последующим переходом процесса в дуговую стадию. Для реализации этого способа применяется сварочный пистолет с регулируемым усилием прижатия шпильки в пределах 1...10 даН.

Эксперименты проводились на приспособлении, состоящем из стойки, с закрепленным на ней сварочным пистолетом РМК-2 (рис. 2, а). Поскольку шпилька к листу прижимается пружиной сварочного пистолета, вылет торца выступа по отношению к плоскости опор пистолета выдерживался постоянным на уровне 2 мм. Сопротивление измерялось микроомметром типа GOM-802 с точ-

ностью 10 мкОм. При этом щупы прибора располагались так, как показано на рис. 2, б. Сопротивление участка листа между контактом шпильки и измерительным щупом составляло от 61 мкОм (латунь Л63) до 130 (сплав АМг3).

Эксперименты (рис. 3) проводились со шпильками М6 и листами из сталей St35 (сталь10) и 1.4301 (сталь 08X18H10), латуни CuZn37 (Л63), алюминиевого сплава АМг3 (АМг3), изготовленными фирмой Heinz Soyer Bolzenschweisstechnik GmbH. При этом брали по 3 образца из одной партии соответствующего материала.

Характерной особенностью изменения контактного сопротивления, замеченной нами при увеличении нагрузки, является отличие от приведенной выше обратнопропорциональной зависимости, а именно, увеличение сопротивления при повышении усилия прижима от 1 до 2...3 даН. При этом, как показывает сравнение графиков, относительный прирост сопротивления тем больше, чем выше твердость материала шпильки* и чувствительность к наклепу при изготовлении шпильки холодной высадкой. Последнее относится к стали 1.4301 и двухфазной латуни CuZn37 [9]. Для нержавеющей стали максимум сопротивления сместился на отметку в 3 даН, в то время, как для остальных металлов он находится на уровне

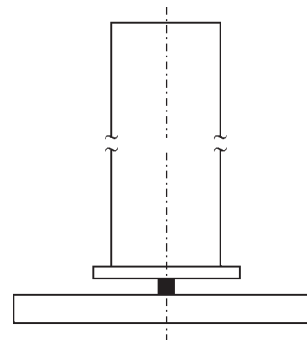


Рис. 1. Схема начальной стадии процесса приварки шпилек с предварительным контактом

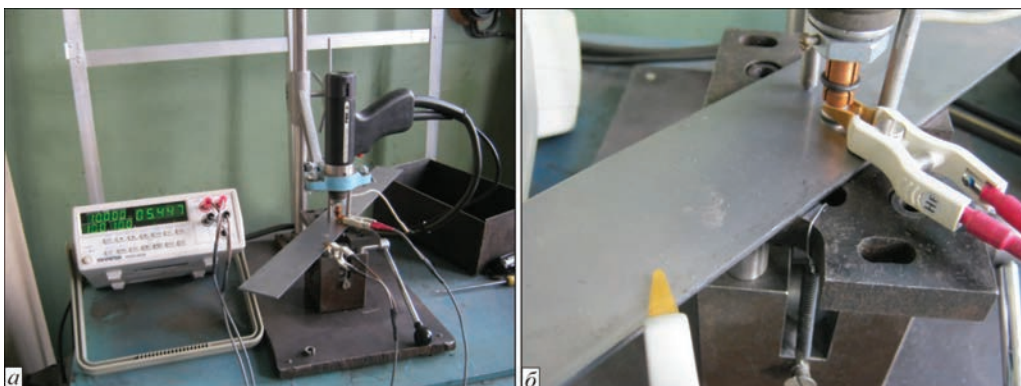


Рис. 2. Общий вид устройства (а) и расположение щупов прибора GOM-802 (б) при измерении электрического сопротивления области контакта выступа диаметром 0,75 мм на шпильке и листа

*Нормированные показатели твердости стали 10–1170 МПа (ГОСТ 4041), стали 08X18H10 — 1700 МПа (ГОСТ 25054), латуни Л64 — 700 МПа (ГОСТ 13726), сплава АМг3 — 450 МПа (ГОСТ 2208).

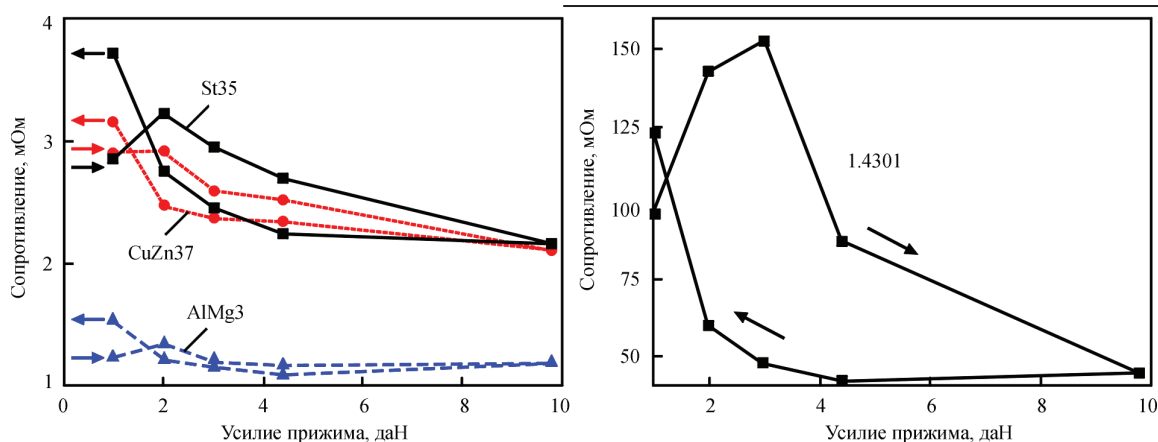


Рис. 3. Зависимость электрического сопротивления зоны контакта между выступом диаметром 0,75 мм и листом от приложенного усилия прижатия при различных масштабах

не 2 даН (с учетом дискретности усилия сжатия образцов).

Из известных нам работ только в статье [10] показано (рис. 4), что в контакте электрод-деталь при точечной сварке при повышении усилия сжатия электрическое сопротивление сначала растет, и начинает уменьшаться лишь при достижении определенной нагрузки. При этом зависимость получена на алюминиевом сплаве. Следовательно, на материалах, характеризующихся большим упругим сопротивлением, чем алюминиевые сплавы, следовало ожидать, что этот эффект проявится еще заметнее.

Качественно возрастание контактного сопротивления можно объяснить, принимая во внимание отличие в текстурах контактирующих образцов (рис. 5). Поскольку модуль сдвига $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$, где E — модуль Юнга, а ν — коэффициент Пуассона, имеющий у металлов положительное значение, ясно, что при упругом сжатии деталей, имеющих взаимноперпендикулярную текстуру, первой деформируется деталь, имеющая текстуру, нормальную по отношению к направлению нагрузки. При этом появляется зазор и уменьша-

ется площадь контакта между нагруженными деталями и, соответственно, растет электрическое сопротивление.

Решение задачи упругой деформации полубесконечного тела под действием давления P , равномерно распределенного по торцевой плоскости цилиндра радиусом r , приведено в работе [11]. Принимая контактирующие поверхности гладкими на микро- и макроуровне, т. е. отсутствие их начального неплотного прилегания и действие только сил нормальных к поверхности раздела, а также, в соответствии с приведенным выше замечанием, абсолютную жесткость цилиндра, уравнение упругого перемещения поверхности полубесконечного тела под нагрузкой в пределах нагруженной поверхности

$$u_z = \frac{4(1-\nu^2)}{\pi E} \text{Pr} E \left(\frac{R}{r} \right),$$

где $E(R/r)$ — полный эллиптический интеграл 2-го рода по модулю (R/r) , табулированный в работе [12].

Это уравнение не учитывает перемещение жесткого цилиндра вслед за деформацией пластины вне нагруженной области таким образом, что внешняя окружность основания цилиндра непрерывно опирается на пластину.

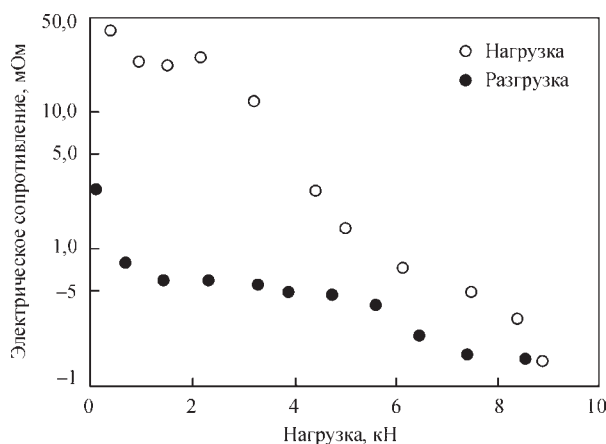


Рис. 4. Зависимость электрического сопротивления от нагрузки в контакте электрод-деталь из алюминиевого сплава 5482 в состоянии поставки. Диаметр электрода 7,5 мм [10]

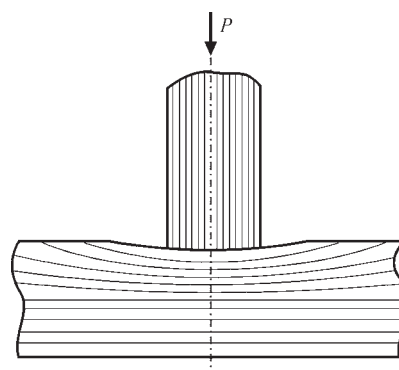


Рис. 5. Схема нагружения контакта выступа шпильки с листом

Показатели упругих свойств исследованных материалов

Металл	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона [6]
Сталь 10 [5]	206	0,24...0,28
08Х18Н10Т [5]	196	0,25...0,30
Латунь Л63 [7]	100	0,33...0,42
Сплав АМг3 [7]	71	0,32...0,36

Расчет деформации в центральной меридиональной плоскости исследованных металлов, характеристики которых приведены в таблице, дает величину отклонения от плоскости листа (зазор между контактирующими поверхностями), показанный на графиках (рис. 6). Этот рисунок носит, понятно, только иллюстративный характер, поскольку при расчете не учитывались структурные изменения в материале листа при прокатке, в частности, упрочнение поверхностного слоя металла, а также принималось чисто упругое и только нормальное взаимодействие сжимаемых поверхностей (касательными напряжениями в этой идеализированной схеме мы пренебрегли). Это оправдывается тем, что при холодной высадке шпильки выступ не имеет острой кромки (см. ниже рис. 7), нет концентрации напряжения на кромке и, соответственно, ее пластического деформирования при малых нагрузках. С учетом того, как сказано, что внешняя граница цилиндрического контакта опирается на края лунки деформации на листе, итоговые показатели зазора между контактирующими поверхностями должны быть уменьшены.

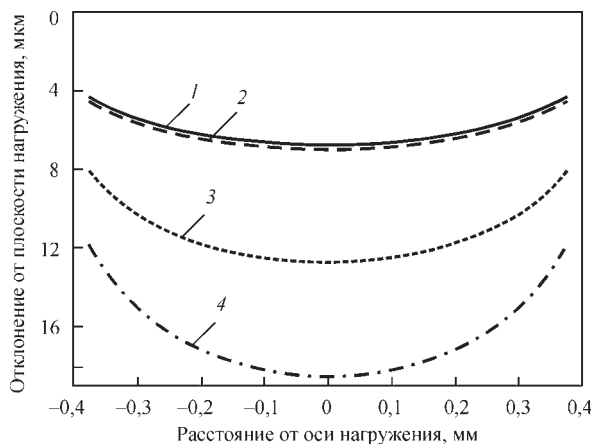


Рис. 6. Деформация плоскости листа под давлением выступа на шпильке М6 усилием 2 даН: 1 — углеродистая сталь 10; 2 — 08Х18Н10; 3 — латунь Л63; 4 — сплав АМг3

С увеличением нагрузки деформирование из чисто упругого переходит в упругопластическую область. Это заметно из сравнения графиков на рис. 3 и 6 и замечания, приведенного выше при анализе графиков на рис. 3.

Следует также обратить внимание на то, что при малых давлениях деформируется только поверхностный слой сжимаемого металла и, судя по фотографиям сечения металла после нагрузки, приведенными в цитированной выше работе [10], микровыступы шероховатости при начальном нагружении не изменяют формы и не влияют на изменение сопротивления контактной зоны.

По мере увеличения нагрузки в сдвиговую деформацию вовлекаются все более глубокие слои

Материал	Номер образца					
	1		2		3	
	До нагрузки	После	До нагрузки	После	До нагрузки	После
Сталь St35						
Сталь 1.4301						
Латунь CuZn37					—	—
Сплав АМг3					—	—

Рис. 7. Форма контактной поверхности выступа до и после нагружения усилием 10 даН

металла листа, вызывая повышение реактивного напряжения. Когда это напряжение достигнет определенного уровня, зависящего от упругих характеристик металла и степени его наклепа, начнется сначала упругая, а затем и пластическая деформация шероховатостей на торце выступа. Такое поведение металла в контакте отражается на снижении контактного сопротивления при превышении соответствующего граничного усилия сжатия (рис. 3). В результате пластической деформации происходит сближение контактирующих поверхностей и возрастание площади контакта при совпадении их формы.

Дальнейший анализ графиков на рис. 3 показывает наличие гистерезиса, который тем больше, чем меньше пластичность исследуемого металла. Гистерезис свидетельствует об упругом характере поведения металла приконтактной зоны при разгрузке. При уменьшении нагрузки ниже 4,5 даН электрическое сопротивление растет в результате упругого изменения поверхности с появлением (или сохранением) шероховатостей второго уровня [2]. При конечной разгрузке (в нашем случае до 1 даН) электрическое сопротивление контактной области оказывается для всех образцов выше начального.

С целью объяснения повышения контактного сопротивления сверх начального после цикла нагрузка-разгрузка был проведен анализ конечной формы контактной поверхности выступа на торце шпильки. Для этого шпилька М4 с выступом ($d \times h = 0,55 \times 0,65$) нагружалась усилием 10 даН пружиной пистолета РМК-2. Шпильки отбирались случайным образом из одной партии каждого материала. Торцы фотографировали с окуляра микроскопа МБС-10 при увеличении 56,3 (рис. 7).

Из приведенных фотографий видно, что первоначальный рельеф, полученный при холодной посадке шпилек, изменился после нагружения и последующей разгрузки, став более грубым в результате пластической деформации, сопровождаемой сдвигом материала из-за неконтролируемого отклонения от параллельности контактирующих поверхностей и, вызванного этим, появления касательных напряжений. Судя по кривым на рис. 3 и фотографиям на рис. 7, такое пластическое изменение приконтактного объема происходит на стадии нагружения, а наклепанный металл деформируется упруго, восстанавливая форму при разгрузке. Этим и объясняется то, что во всех экспериментах сопротивление контактной зоны после разгрузки больше, чем до нагружения.

Существенное влияние пластической деформации на сопротивление контактной области демонстрирует рис. 8, на котором показано изменение электрического сопротивления контактной области при нагружении шпилек из стали 1.4301

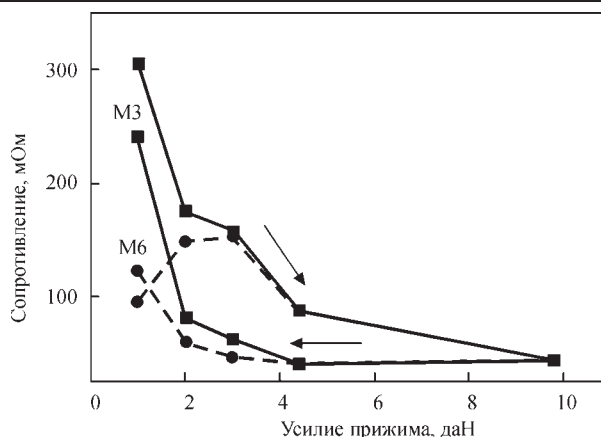


Рис. 8. Зависимость электрического сопротивления зоны контакта между выступами диаметром 0,6 (М3) и 0,75 мм (М6) листом из стали 1.4301 от приложенного усилия прижима

М3 и М6 с диаметрами выступов 0,6 (М3) и 0,75 (М6) мм, соответственно. Давление в контакте между выступом на торце шпильки и листом при нагружении шпильки М3 больше, чем при нагружении шпилек М6 в 1,5 раза. В результате пластической деформации приконтактной области происходит при меньшем усилии при нагрузке шпильки М3, чем шпильки М6, и отмеченное выше повышение электрического сопротивления при начальном нагружении выступа на шпильке М3 на графике не наблюдается. При нагрузке 5...10 даН графики для шпилек М3 и М6 практически совпадают. Следовательно, здесь, в результате большего давления на выступ шпильки М3 в результате пластической деформации фактическая площадь контакта сравнима со шпилькой М6, и зависимость переходного сопротивления от нагрузки не зависит от номинальной площади контакта и подчиняется обратной пропорциональности в соответствии с приведенной выше формулой Хольма. Вместе с тем, вследствие большего давления и вызванного этим упрочнения, упругая составляющая деформации контактирующей поверхности на шпильке М3 больше, чем на шпильке М6. Об этом свидетельствует расхождение графиков при снятии нагрузки от названных выше 4,5 даН

Выводы

1. Известная обратно пропорциональная зависимость электрического контактного сопротивления от усилия сжатия токопередающих поверхностей нарушается в области малых усилий, приложенных в контакте разновеликих площадок. Выдвинута гипотеза, что в этом случае нужно принимать во внимание не столько пластическую деформацию соприкасающихся поверхностей, сколько упругую деформацию поверхностного слоя одного из элементов под действием нагрузки, распределенной на участке этой поверхности, ограниченном площадью второго элемента контактирующей пары.

2. При малых усилиях прижатия разновеликих контактов, имеющих место, в частности, при возбуждении дуги касанием или взрывающимся тонким проводником, увеличение нагрузки приводит к росту электрического контактного сопротивления, вследствие упругой деформации поверхности и появления локального зазора между контактирующими поверхностями, соизмеримого с высотой микронеровностей на контактирующих поверхностях. Вследствие этого уменьшается площадь электрического контакта и увеличивается его электрическое сопротивление без прерывания тока.

3. Граничная величина нагрузки, при которой функциональная зависимость переходного электрического сопротивления разновеликих контактов от приложенного усилия становится обратнопропорциональной, а номинальная токопроводящая площадь теряет влияние, зависит от механических характеристик материала и тем больше, чем выше его упругие свойства.

4. При изменении нагрузки от максимальной до минимальной сохраняется обратнопропорциональная зависимость электрического переходного сопротивления от усилия прижатия токоведущих поверхностей. Но при этом пластическая деформация контактного интерфейса на этапе нагружения приводит к повышению его электрического сопротивления при минимальном усилии сжатия по сравнению с исходным.

5. Представляют интерес дополнительные исследования, конкретизирующие зависимость электрического сопротивления разновеликих контактов от механических свойств материала и соотношения площадей контактирующих поверхностей.

Список литературы

1. Хольм Р. (1961) *Электрические контакты*. Москва, ИЛ.
2. Кочергин К. А. (1972) *Сварка давлением*. Ленинград, Машиностроение.
3. Сахацкий Г. В. (1979) *Технология сварки в холодном состоянии*. Киев, Наукова думка.

4. Каракозов Э. С. (1986) *Сварка металлов давлением*. Москва, Машиностроение.
5. Демкин Н. В., Рыжов Э. В. (1981) *Качество поверхности и контакт деталей машин*. Москва, Машиностроение.
6. Крагельский И. В., Добычин Н. М., Комбалов В. С. (1977) *Основы расчета на трение и износ*. Москва, Машиностроение.
7. Слободян М. С. (2013) Анализ методик оценки электросопротивления участков электрод-электрод и деталь-деталь перед точечной контактной микросваркой. *Сварочное производство*, **8**, 20–24.
8. Лесков Г. И. (1970) *Электрическая сварочная дуга*. Москва, Машиностроение.
9. Askeland D. R., Fulay P. P., Wright W. J. (2011) *The science and engineering of materials*. Cengage Learning.
10. Thornton P. H., Krause A. R., Davies R. G. (1996) Contact resistance in spot welding. *Welding Journal*, **2**, 402–412.
11. Джонсон Г. Л. (1989) *Механика контактного взаимодействия*. Москва, Мир.
12. Янке Е., Эмде Ф., Лёш Ф. (1977) *Специальные функции. Формулы, графики, таблицы*. Москва, Наука.

References

1. Holm, R. (1961) *Electric contacts*. Moscow, IL [in Russian].
2. Kochergin, K.A. (1972) *Pressure welding*. Leningrad. Mashinostroenie [in Russian].
3. Sakhatsky, G.V. (1979) *Technology of cold welding*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
4. Karakozov, E.S. (1986) *Pressure welding of metals*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
5. Demkin, N.V., Ryzhov, E.V. (1981) *Quality of surface and contact of machine parts*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
6. Kragelsky, I.V., Dobychin, N.M., Kombalov, V.S. (1977) *Principles of calculation for friction and wear*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
7. Slobodyan, M.S. (2013) Analysis of procedures for evaluation of electric resistance of areas electrode-electrode and part-part before spot resistance microwelding. *Svarochno. Proizvodstvo*, **8**, 20-24 [in Russian].
8. Leskov, G.I. (1970) *Electric welding arc*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
9. Askeland, D.R., Fulay, P.P., Wright, W.J. (2011) *The science and engineering of materials*. Cengage Learning.
10. Thornton, P.H., Krause, A.R., Davies, R.G. (1996) Contact resistance in spot welding. *Welding J.*, **2**, 402-412.
11. Johnson, G.L. (1989) *Mechanics of contact interaction*. Moscow, Mir [in Russian].
12. Yanke, E., Emde, F., Lyosh, F. (1977) *Special functions. Formulas, plots, tables*. Moscow, Nauka [in Russian].

ДО ПИТАННЯ ПРО КОНТАКТНИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ ОПІР РІЗНОВЕЛИКИХ ПОВЕРХОНЬ

Д. М. КАЛЕКО

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

У теорії електричних контактів прийнята експериментально перевірена зворотна пропорційність електричного перехідного опору від прикладеного навантаження. У статті показано, що ця умова не виконується при невеликих зусиллях стиснення різновеликих контактів, які мають місце, зокрема, при порушенні електричної дуги дотиком або руйнуванням тонкого провідника. Вимірювання електричного опору приконтактної області між тонким (діаметром 0,75 мм) провідником і листом зі сталей St37 (сталь 10) та 1.4301 (08X18H10), латуні CuZn37 (Л63) і алюмінієвого сплаву AlMg3 (AMr3) показали, що внаслідок пружної деформації контактної поверхні під дією локального навантаження при зростанні зусилля до певних меж має місце підвищення електричного опору. В умовах експерименту граничне зусилля становило 2...3 даН, в залежності від механічних характеристик матеріалу. При виході за ці межі набуває чинності загальноприйнята функціональна залежність. Бібліогр. 12, табл. 1, рис. 8.

Ключові слова: перехідний електричний опір, електричні контакти, пружна деформація, приварка штильок

ON PROBLEM OF CONTACT RESISTANCE OF DIFFERENT-SIZED SURFACES

D. M. KALEKO

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine.
E-mail: office@paton.kiev.ua

A theory of electric contacts assumes an experimentally-verified inverse proportionality of electric transient resistance from applied load. The paper shows that this condition is not fulfilled at small compression forces of different-sized contacts, which take place, in particular, in excitation of electric arc by contact or breakup of thin conductor. Measurements of electric resistance of near-contact area between thin (0.75 mm diameter) conductor and sheet of steels St37 (steel 10) and 1.4301 (08Kh18N10), brass CuZn37 (L63) and aluminum alloy AlMg3 (AMg3) showed that there is an increase of electric resistance due to elastic deformation of contact surface under effect of local loading in rise of forces to specific limits. Under experiment conditions a boundary force made 2-3 daN, depending on mechanical characteristics of metal. Out of these limits a generally accepted functional dependence becomes effective. 12 Ref., 1 Tabl., 8 Fig.

Keywords: transient electric resistance, electric contacts, elastic deformation, studs welding

Поступила в редакцию 26.08.2018

SAVE THE DATE



**THE 72ND IIW ANNUAL
ASSEMBLY AND
INTERNATIONAL
CONFERENCE**

Bratislava, Slovakia

7th – 12th July 2019

The annual event of the International
Institute of Welding IIW 2019

www.iiw2019.com



The main topic of the International Conference:

**New Progressive Materials and Welding
Methods in the Automotive Industry**

Hosted by



Conference Secretariat



ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ ТЕРМООБРАБОТКА ПАРОПРОВОДОВ И ИХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ (Обзор)

В. В. ДМИТРИК¹, Е. С. ГАРАЩЕНКО¹, А. В. ГЛУШКО¹, В. Н. СОКОЛОВА², Т. А. СЫРЕНКО¹

¹НТУ «Харьковский политехнический институт». 61002, г. Харьков, ул. Кирпичева, 2.

²Харьковская Теплоэлектростанция-3. 61036, г. Харьков, ул. Энергетическая, 3. E-mail: svarka126@ukr.net

Рассмотрены состояние и ключевые направления развития технологий восстановительной термообработки сварных соединений труб паропроводов. Представлены технологии термообработки и их достоинства и недостатки. В первой части обзора представлена краткая информация о развитии восстановительной термообработки. Сформулированы и обоснованы наиболее перспективные, по мнению авторов, направления развития восстановительной термообработки сварных соединений для продления ресурса эксплуатации паропроводов. Дано обоснование возможности применения термической обработки длительно эксплуатируемых элементов паропроводов с деградированной структурой и наличием повреждаемости. Обоснована возможность получения металла паропровода со структурным состоянием и свойствами, удовлетворяющими эксплуатационные требования. Библиогр. 23, рис. 3.

Ключевые слова: восстановительная термообработка, паропровод, сварные соединения, структура металла, эксплуатация, повреждаемость

Структурные изменения, которые проходят в металле паропроводов из теплоустойчивых перлитных сталей 15X1M1Ф и 12X1MФ, длительно работающих в условиях ползучести и малоциклового усталости, приводят к снижению его свойств и уменьшению ресурса эксплуатации. Сварные соединения паропроводов характеризуются наличием определенной структурной, химической и механической неоднородности, образующейся в результате сварочного нагрева. Наличие неоднородности обеспечивает большую интенсивность структурных превращений в металле сварных соединений по сравнению с аналогичными превращениями основного металла паропроводов. Соответственно ресурс эксплуатации металла сварных соединений паропроводов лимитируется структурными превращениями, проходящими в их металле.

В процессе длительной наработки паропроводов (более 250 тыс. ч) в условиях ползучести их исходная структура, рекомендуемая нормативной документацией [1–3], превращается в ферритно-карбидную смесь. Одновременно металл повреждается порами ползучести и трещинами усталости. Структурные изменения металла участков зоны термического влияния (ЗТВ) сварных соединений, а также его повреждаемость, происходят с большей интенсивностью, чем аналогичные изменения и повреждаемость металла шва и основного металла. Структурные изменения и повреждаемость в большей мере характерны для определенных участков ЗТВ сварных соединений из сталей 15X1M1Ф и 12X1MФ [4, 5]: неполной перекристаллизации, где новые продукты распа-

да аустенита представляют глобуляризованный перлит (рис. 1); перегрева, где номер аустенитного зерна меньше 5-го (ГОСТ 5639-82); сплавления, где могут образовываться относительно крупные ферритные зерна, сгруппированные в цепочки, расположенные симметрично металлу шва (рис. 2).

В связи с постоянно возрастающим количеством паропроводов, имеющих деградированную структуру, а также определенную степень повреждаемости, для продления ресурса их эксплуатации актуально применять восстановительную термическую обработку (ВТО) [7–13]. Применение ВТО может обеспечить восстановление деградированной структуры и свойств до уровня, близкого к исходному состоянию, а также устранить повреждаемость, образующуюся по механизму ползучести.

Целью работы является уточнение возможности применения ВТО длительно эксплуати-

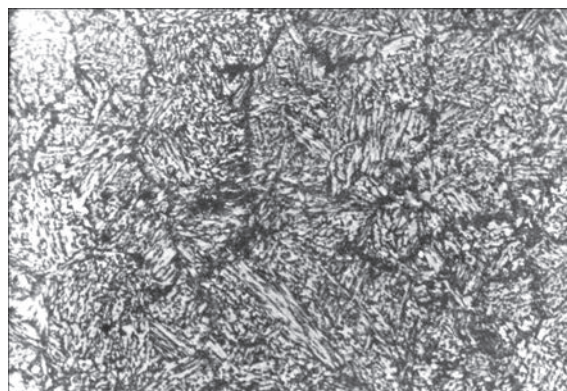


Рис. 1. Микроструктура ($\times 300$) участка неполной перекристаллизации металла ЗТВ сварного соединения из стали 15X1M1Ф [6]

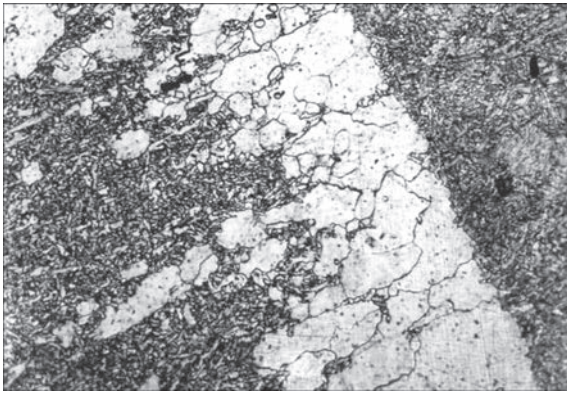


Рис. 2. Микроструктура ($\times 100$) участка сплавления металла ЗТВ сварного соединения из стали 15X1M1Ф [5]

руемых элементов паропроводов, имеющих различную степень деградации структуры и определенный уровень повреждаемости, для получения их структурного состояния и свойств, отвечающих эксплуатационным требованиям.

Замена паропроводов, имеющих деградированную структуру и наличие повреждаемости, на новые, является весьма трудоемкой и дорогостоящей операцией. В ряде случаев такую операцию можно предотвратить путем использования местной ВТО. При выполнении ВТО следует учитывать особенности распределения напряжений, образующихся при раскреплении опорно-подвесной системы [14].

Для оптимизации выполнения ВТО имеет смысл рассмотреть особенности структурных изменений, проходящих в металле паропроводов длительно эксплуатируемых в условиях ползучести. Превращение исходной структуры в ферритно-карбидную смесь обеспечивает физико-химические процессы, проходящие с различной интенсивностью в металле участков ЗТВ сварных соединений и с постоянной (менее интенсивной) в металле шва и в основном металле паропроводов. Физико-химические процессы можно представить по последовательности прохождения их стадий [15–17]: диффузионное перемещение хрома и молибдена из центральных зон кристаллов α -фазы в их приграничные зоны, что приводит к образованию сегрегаций; переход хрома, молибдена и ванадия из кристаллов α -фазы в карбиды, а также образование новых карбидов II группы (Mo_2C и VC); прохождение карбидных реакций $\text{M}_3\text{C} \rightarrow \text{M}_7\text{C}_3 \rightarrow \text{M}_{23}\text{C}_6$; коагуляция карбидных фаз, преимущественно M_{23}C_6 и M_7C_3 ; образование прерывистых цепочек, в основном из карбидов M_{23}C_6 по границам зерен α -фазы; формирование полигональной структуры (участки перегрева и неполной перекристаллизации ЗТВ); локальная ликвидация границ зерен (начальная стадия рекристаллизации); слияние вакансий, зарождение и развитие пор ползучести; отход границ зерен от

карбидов; зарождение и развитие микротрещин усталости.

Эксплуатация энергоблоков в маневренном режиме характеризуется наличием переменных (циклических) напряжений, а также наличием локальных участков их концентраций. Например, у подкладных колец соединений, сваренных встык; в местах контакта паропроводов разных толщин; на участке сплавления ЗТВ (внутренняя поверхность паропровода); в местах непроваров, несплавлений по стенкам зазора и др.

Структурные изменения приводят к уменьшению прочности и ударной вязкости металла паропроводов. В процессе длительной эксплуатации в условиях ползучести происходят деформационные процессы, которые взаимосвязаны со структурными превращениями. Например, образованием субзеренной структуры, увеличением плотности дислокаций возле препятствий и др. Известно, что деформационные процессы связаны с образованием пор ползучести [18], что требует дополнительного уточнения.

В процессе ВТО (обычный режим) поры, имеющие диаметр меньше 2 мм, устраняются (залечиваются) [7–13]. Отмечается, что при наличии накопления повреждаемости свыше 20...25 % состояния разрушения, жаропрочность элементов паропроводов путем ВТО повышается недостаточно. Залечивание пор в результате диффузии элементов замещения и внедрения происходит под влиянием следующих факторов: температуры изотермической выдержки в аустенитном состоянии; длительности выдержки; полиморфных превращений. Целесообразно выявить форму и граничные размеры пор ползучести и трещин усталости, которые могут устраняться путем применения ВТО.

Заслуживает внимания предложенная П. А. Антикайном [19, 20] двойная нормализация: первая — при температуре $T \geq 1050 \dots 1100$ °С, обеспечивающая устранение относительно больших по размерам пор и гомогенизацию γ -фазы; вторая — при температурах, рекомендуемых нормативной документацией и используемых для обработки сталей в исходном состоянии, что позволяет увеличить номер аустенитного зерна.

Требуется уточнение проведения высокотемпературной циклической термической обработки (ВЦТО), предусматривающей многократный циклический нагрев выше температуры полиморфного превращения и последующее охлаждение. Целесообразно также изучить особенности залечивания пор, расположенных по телу и по границам зерен α -фазы, а также уточнить, как залечивание пор связано с сегрегацией хрома и молибдена.

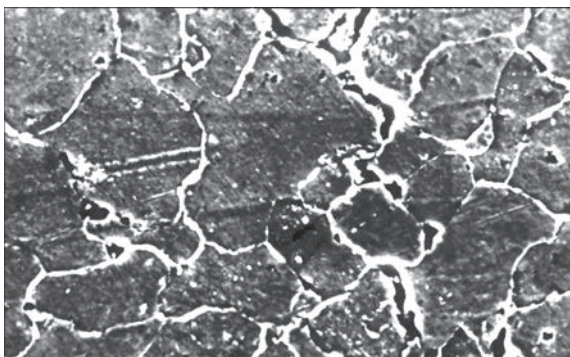


Рис. 3. Микроструктура ($\times 2500$) с порами ползучести в структуре участка неполной перекристаллизации металла 3ТВ сварных соединений из стали 15X1M1Ф [21]

Нагрев и соответствующая выдержка выше критической точки A_{c3} обеспечивает распад карбидов I и частично II групп. Происходит обратный переход легирующих элементов хрома, молибдена и ванадия из карбидов в кристаллы α -фазы.

Целесообразно уточнить: как выдержка при температурах выше A_{c3} связана с величиной аустенитного зерна; влияние продолжительности выдержки на однородность аустенитных зерен, т. е. равномерное распределение в γ -фазе элементов замещения и внедрения; как термообработка обеспечивает устранение пор ползучести, имеющих округлую и разветвленную форму, показанную на рис. 3; воздействие ВТО на трещины усталости.

Значительный практический интерес представляет восстановительная термообработка сварных соединений. Как отмечено выше, структурные превращения и повреждаемость сварных соединений происходят наиболее интенсивно на участках сплавления, перегрева и неполной перекристаллизации их 3ТВ [4, 5].

Металл участка неполной перекристаллизации подвергается сварочному нагреву при изготовлении соединений в области температур $A_{c1} - A_{c3}$. Участок может иметь твердость более низкую, чем другие участки 3ТВ, а также металл шва и основной металл. При длительной эксплуатации сварных соединений твердость участка неполной перекристаллизации уменьшается в большей степени, чем твердость других участков 3ТВ, а также металла шва и основного металла [6, 18, 21]. Структура участка неполной перекристаллизации может представлять глобуляризованный перлит как браковочную составляющую [4, 5]. Двойная ВТО, а также ВЦТО позволяет в более полной мере устранять образующиеся при сварке на участках 3ТВ, а также в металле шва браковочные структуры и повреждаемость [7–15, 22, 23]. Заслуживает внимания при использовании термической обработки двойная нормализация и отпуск [8], что обеспечивает возможность относительно полного устранения структурной, химической и механической неоднородности, а также дисперсное упроч-

нение металла сварных соединений. Актуально установить возможность индукционного нагрева при проведении термической обработки паропроводов, в том числе их сварных соединений без демонтажа самих паропроводов. Усовершенствование термической обработки паропроводов, имеющих деградированную структуру и определенный уровень повреждаемости, позволит получать структурное состояние их металла и свойства, отвечающие эксплуатационным требованиям, что обеспечит увеличение их ресурса.

Выводы

Установили, что для внедрения восстановительной термической обработки металла паропроводов и их сварных соединений, имеющих деградированную структуру, а также определенную повреждаемость, необходимо исследовать:

влияние нагрева на величину аустенитного зерна;

взаимосвязь между нагревом и однородностью аустенитной структуры, а также зависимость от нагрева структурного состояния;

возможность устранения путем термообработки определенных по величине и форме пор ползучести.

Список литературы

1. (2003) *Типовая инструкция по контролю металла и продлению срока службы металла основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электростанций* (РД 10-577-03). Москва, ГУП НТЦ по безопасности промышленности Ростехнадзора России.
2. (2004) *Инструкция о порядке обследования и продления срока службы паропроводов сверх паркового ресурса* (СО 153-34.17.470). Москва, ЦПТИ ОРГРЭС.
3. (2003) *Инструкция по восстановительной термической обработке элементов теплоэнергетического оборудования* (СО 153-34.17.459-2003). Москва, Минэнерго РФ.
4. Дмитрик В. В., Баумер В. Н. (2007) Карбидные фазы и повреждаемость сварных соединений при длительной эксплуатации. *Металлофизика, новейшие технологии*, 29, 7, 937–948.
5. Дмитрик В. В., Браташ С. Н. (2010) К повреждаемости сварных соединений паропроводов по механизму ползучести. *Там же*, 32, 2, 1657–1663.
6. Dmytryk V. V., Syrenko T. A., Bartash S. N., Glushko A. V. (2015) Specification of metal damageability mechanism of long-operated steam line welds. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*, 6(1), 8, 13–18.
7. Гладштейн В. И., Ермолаев В. В., Шкляр А. И. и др. (2007) Восстановительная термическая обработка корпусных деталей при реновации турбин. *Теплоэнергетика*, 4, 8–12.
8. Хромченко Ф. А., Лаппа В. А. (1997) Ресурс сварных соединений паропроводов после восстановительной термической обработки. *Сварочное производство*, 6, 32–35.
9. Швецова Т. А., Крейцер К. К. (2007) Об опыте восстановительной термообработки паропроводов и результатах их последующей эксплуатации. *Энергетик*, 5, 7–9.
10. Лоскутов С. А., Корягин Ю. Д., Букин Ю. А. (2014) Оптимизация структуры и свойств длительно работавшего металла паропроводов из стали 12X1MФ восстановительной термической обработкой. *Вестник ЮУрГУ. Серия Металлургия*, 14, 4, 45–51.

11. Трусов Л. П., Березина Т. Г., Богатырев Ю. М. и др. (1973) Восстановление тонкой структуры и свойств стали 12Х1МФ после длительной эксплуатации. *Проблемы прочности*, **1**, 67–71.
12. Иванова В. С., Антикайн П. А., Сабитова Н. С. (1965) Залечивание повреждений, накопленных при циклических перегрузках стали. *Металловедение и термическая обработка металлов*, **1**, 7–9.
13. Шкляр М. И., Осмаков В. Н., Алексеев С. В. и др. (1995) Продление ресурса деталей энергооборудования с помощью восстановительной термической обработки. *Теплоэнергетика*, **4**, 2–7.
14. Попов А. Б., Чеботарев О. М. (2003) Задачи, возникающие при проведении восстановительной термообработки паропроводов. *Там же*, **3**, 42–45.
15. Должанский П. Р. (2005) Особенности оценки остаточного ресурса паропроводных труб при эксплуатации сверхпаркового ресурса. *Там же*, **8**, 35–39.
16. Дитяшев Б. Д., Попов А. Б. (2007) Комплексный подход к определению остаточного ресурса паропроводов ТЭС. *Там же*, **2**, 21–25.
17. Семенов В. К., Беляев А. А. (2010) Прогнозирование количества повреждений сетевых трубопроводов и паропроводов ТЭС. *Там же*, **1**, 37–39.
18. Дмитрик В. В., Глушко А. В., Сыренко Т. А., Григоренко С. Г. (2018) Особенности разупрочнения сварных соединений эксплуатируемых паропроводов. *Автоматическая сварка*, **5**, 9–14.
19. Антикайн П. А. (1990) *Металлы и расчет на прочность котлов и трубопроводов*. Москва, Энергоатомиздат.
20. Антикайн П. А. (1977) Восстановительная термическая обработка сварных соединений паропроводов ТЭС. *Теплоэнергетика*, **0**, 34–38.
21. Glushko A. (2016) Researching of welded steam pipe joints operated for a long time. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, **6**, 1(84), 14–20.
22. Зислин Г. С., Каменская Н. И., Шабаль В. Н. и др. (1995) Восстановительная термическая обработка труб главного паропровода на Череповецкой ГРЭС. *Теплоэнергетика*, **4**, 8–11.
23. Попов А. Б. (2002) Некоторые особенности технического сопровождения операций по восстановительной термической обработке паропроводов. *Там же*, **4**, 15–17.
6. Dmytryk, V.V., Syrenko, T.A., Bartash, S.N., Glushko, A.V. (2015) Specification of metal damageability mechanism of long-operated steam line welds. *Eastern-European J. of Enterprise Technologies*, **6**(1), **8**, 13–18.
7. Gladshitejn, V.I., Ermolaev, V.V., Shklyar, A.I. et al. (2007) Restoration heat treatment of casing parts during turbine renovation. *Teploenergetika*, **4**, 8-12 [in Russian].
8. Khromchenko, F.A., Lappa, V.A. (1997) Life of welded joints of steam pipelines after restoration heat treatment. *Svarochn. Proizvodstvo*, **6**, 32-35 [in Russian].
9. Shvetsova, T.A., Krejtser, K.K. (2007) About experience of restoration heat treatment of steam pipelines and results of their subsequent operation. *Energetik*, **5**, 7-9 [in Russian].
10. Loskutov, S.A., Koryagin, Yu.D., Bukin, Yu.A. (2014) Optimization of structure and properties of long-operated metal of steam pipelines from 12Kh1MF steel by restoration heat treatment. *Vestnik YuUrGU. Seriya Metallurgiya*, **14**(4), 45-51 [in Russian].
11. Trusov, L.P., Berezina, T.G., Bogatyrev, Yu.M. et al. (1973) Restoration of thin structure and properties of 12Kh1MF steel after long-term operation. *Problemy Prochnosti*, **1**, 67-71 [in Russian].
12. Ivanova, V.S., Antikajin, P.A., Sabitova, N.S. (1965) Healing of damages accumulated under cyclic overloads of steel. *Metallovedenie i Termich. Obrab. Metallov*, **1**, 7-9 [in Russian].
13. Shklyarov, M.I., Osmakov, V.N., Alekseev, S.V. et al. (1995) Prolongation of life of power equipment parts using restoration heat treatment. *Teploenergetika*, **4**, 2-7 [in Russian].
14. Popov, A.B., Chebotarev, O.M. (2003) Problems appearing in conducting of restoration heat treatment of steam pipelines. *Ibid.*, **3**, 42-45 [in Russian].
15. Dolzhansky, P.R. (2005) Peculiarities of evaluation of life of steam line pipes under operation extending beyond economic life. *Ibid.*, **8**, 35-39 [in Russian].
16. Dityashchev, B.D., Popov, A.B. (2007) Complex approach to determination of residual life of TPP steam pipelines. *Ibid.*, **2**, 21-25 [in Russian].
17. Semenov, V.K., Belyaev, A.A. (2010) Prediction of amount of damages of pipeline systems and steam pipelines of TPPs. *Ibid.*, **1**, 37-39 [in Russian].
18. Dmytryk, V.V., Glushko, A.V., Syrenko, T.A. (2018) Peculiarities of welded joints weakening in operating steam pipelines. *The Paton Welding J.*, **5**, 7-11.
19. Antikajin, P.A. (1990) *Metals and strength calculation of boilers and pipelines*. Moscow, Energoatomizdat [in Russian].
20. Antikajin, P.A. (1977) Restoration heat treatment of welded joints of TPP steam lines. *Teploenergetika*, **0**, 34-38 [in Russian].
21. Glushko, A. (2016) Researching of welded steam pipe joints operated for a long time. *Eastern-European J. of Enterprise Technologies*, **1**(8), 14-20.
22. Zislin, G.S., Kamenskaya, N.I., Shabal, V.N. et al. (1995) Restoration heat treatment of pipes of steam main at Cherepovetsky hydropower plant. *Teploenergetika*, **4**, 8-11 [in Russian].
23. Popov, A.B. (2002) Some peculiarities of technical support of restoration heat treatment procedures of steam pipelines. *Ibid.*, **4**, 15-17 [in Russian].

References

1. (2003) *Standard instruction on control of metal and prolongation of metal life of basic components of boilers, turbines and pipelines of thermal power plants* (RD 10-577-03). Moscow, GUP NTTs, Gostekhnadzor Rossii [in Russian].
2. (2004) *Instruction on examination procedure and prolongation of service life of steam pipelines extending beyond economic life* (SO 153-34.17.470). Moscow, TsPTI ORGRES [in Russian].
3. (2003) *Instruction on restoration heat treatment of components of heat power equipment* (SO 153-34.17.459-2003). Moscow, Minenergo RF [in Russian].
4. Dmitrik, V.V., Baumer, V.N. (2007) Carbide phases and damageability of welded joints in long-term operation. *Metallofizika, Novejshie Tekhnologii*, **7**, 937-948 [in Russian].
5. Dmitrik, V.V., Bratash, S.N. (2010) On damageability of welded joints of steam pipelines by creep mechanism. *Ibid.*, **32**(2), 1657-1663 [in Russian].

ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ТЕРМООБРОБКА ПАРОПРОВОДІВ ТА ЇХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ (Огляд)

В. В. ДМИТРИК¹, О. С. ГАРАЩЕНКО¹, А. В. ГЛУШКО¹, В. М. СОКОЛОВА², Т. О. СИРЕНКО¹

¹НТУ «Харківський політехнічний інститут». 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

²Харківська Теплоелектроцентрально-3. 61036, м. Харків, вул. Енергетична, 3. E-mail: svarka126@ukr.net

Розглянуто стан і ключові напрямки розвитку технологій відновлювальної термообробки зварних з'єднань труб паропроводів. Представлено технології термообробки та їхні переваги й недоліки. У першій частині огляду представлено

коротку інформацію щодо розвитку відновлювальної термообробки. Сформульовано та обґрунтовано найбільш перспективні, на думку авторів, напрямки розвитку відновлювальної термообробки зварних з'єднань для продовження ресурсу експлуатації паропроводів. Обґрунтовано можливості застосування термічної обробки тривало експлуатованих елементів паропроводів з деградованою структурою та наявністю пошкоджуваності, а також отримання металу паропроводу зі структурним станом і властивостями, що задовольняють експлуатаційні вимоги. Бібліогр. 23, рис. 3.

Ключові слова: відновна термічна обробка, паропровід, зварні з'єднання, структура металу, експлуатація, пошкоджуваність

RESTORATIVE HEAT TREATMENT OF STEAM PIPELINES AND THEIR WELDED JOINTS (Review)

V.V. DMITRIK¹, E.S. GARASHCHENKO¹, A.V. GLUSHKO¹, V.N. SOKOLOVA², T.A. SYRENKO¹

¹NTU «Kharkov Polytechnic Institute», 2 Kirpicheva Str., 61002, Kharkov, Ukraine

²Kharkov Heat and Power Plant-3, 3 Energeticheskaya Str., 61036, Kharkov, Ukraine. E-mail: svarka126@ukr.net

The state and key directions of development of the technology of restorative heat treatment of welded joints of steam pipelines are considered. The technologies of heat treatment and their advantages and disadvantages are presented. The first part of the review presents a summary of the development of restorative heat treatment. The directions of development of restorative heat treatment of welded joints, the most promising for extension of service life of steam pipelines according to the opinion of the authors, were formulated and justified. The justification of the possibility of using heat treatment of long-operating elements of steam pipelines with a degraded structure and presence of damageability is given. The possibility of producing a metal of a steam line with a structural state and properties, satisfying the service requirements is justified. 23 Ref., 3 Fig.

Keywords: restorative heat treatment, steam pipeline, welded joints, metal structure, operation, damageability

Поступила в редакцію 20.10.2018


UzMetalMashExpo

X INTERNATIONAL EXHIBITION
«UzMetalMashExpo-2019»

Metallurgy and metal processing / Machine-tool construction / Welding

27-29 March 2019

Tashkent, Uzbekistan



- Equipment and technology for welding, surfacing and soldering
- Equipment and technology for heat treatment
- Materials for welding, cutting, spraying, surfacing and soldering
- Protection materials and methods
- Quality control of welded joints
- Welding tools and facilities

Tel.: + 998 71 238 57 82
Fax: + 998 71 238 59 82
E-mail: enerqy@ieq.uz
www.ieq.uz

МІЦНІСТЬ ТА ДОВГОВІЧНІСТЬ З'ЄДНАНЬ ВИСОКОМІЦНОГО СПЛАВУ АА7056-Т351, ВИКОНАНИХ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВИМ ЗВАРЮВАННЯМ

І. М. КЛОЧКОВ, В. М. НЕСТЕРЕНКОВ, О. М. БЕРДНІКОВА, С. І. МОТРУНІЧ

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Використання сучасних алюмінієвих сплавів при проектуванні елементів та конструкцій авіа- та ракетобудування, морських суден та наземного транспорту забезпечує високі показники їх міцності та довговічності. Новітні технологічні процеси зварювання дозволяють зменшити масу конструкції та відповідно знизити експлуатаційні витрати, забезпечуючи необхідні показники міцності та довговічності. При цьому отримання якісних зварних з'єднань термічнозміцнених алюмінієвих сплавів є актуальною науково-технічною задачею. Використання технологій зварювання з низьким температурним вкладом, таких як електронно-променево зварювання у порівнянні з традиційними способами зварювання є перспективним для авіаційної та ракетобудівної промисловості. Ціль даної роботи дослідити рівень знеміцнення, структурні особливості, величину залишкових післязварювальних напружень, механічні властивості та закономірності опору втомі з'єднань термічнозміцненого алюмінієвого сплаву АА7056-Т351 з підвищеним вмістом цинку, отриманих електронно-променеви зварюванням. Бібліогр. 8, табл. 2, рис. 5.

Ключові слова: зварні з'єднання, опір втомі, залишкові напруження, алюмінієвий сплав, електронно-променево зварювання

Термічнозміцнювані алюмінієві сплави завдяки високій питомій міцності, значній корозійній стійкості, високим показникам опору втомі та росту втомних тріщин широко застосовуються для виготовлення вузлів ракет-носіїв і космічних апаратів, стартових комплексів, суден, повітряного і наземного транспорту, сільськогосподарських машин, хімічного обладнання та інших зварних конструкцій, які, як правило, експлуатуються в надзвичайно складних умовах [1, 2].

На сучасному етапі розвитку дозвукової і надзвукової авіації алюмінієві сплави є основними конструкційними матеріалами в літакобудуванні [3]. Вибір сплаву для конструкції здійснюється на основі диференційованого підходу до роботи кожного вузла з урахуванням його ресурсу, експлуатаційних навантажень, можливості нагріву та інших вимог до деталей. При виготовленні авіаційної техніки успішно використовуються термічнозміцнювані високоміцні алюмінієві сплави 7xxx серії (системи легування Al-Zn-Mg-Cu). Вони є конструкційним матеріалом для крила, обшивки і внутрішнього силового набору елементів планера літака (лонжерони, нервюри, шпангоути та ін.). Алюмінієвий сплав АА7056 був розроблений як сплав з покращеними відносно сплавів АА7150 та АА7449 характеристиками міцності, корозійної стійкості та довговічності. Цей сплав застосовується для виготовлення середньо- та крупногабаритних деталей, таких як верхні панелі крила в авіабудуванні, які працюють в умовах змінного

навантаження. Сучасні технологічні процеси зварювання дозволяють зменшити масу конструкції та відповідно знизити експлуатаційні витрати, забезпечуючи необхідні показники міцності та довговічності. Дані стосовно характеристик опору втомі зварних з'єднань сплаву АА7056 відсутні, тому дослідження в цьому напрямку є актуальними, а отримання якісного зварного з'єднання з високими фізико-механічними властивостями є важливою науково-технічною задачею [4, 5].

Електронно-променево зварювання (ЕПЗ) за рахунок високої концентрації енергії в електронному пучку забезпечує можливість отримання зварних з'єднань з мінімальними розмірами зони термічного впливу і великим співвідношенням глибини швів до їх ширини. ЕПЗ дає можливість використовувати низькі погонні енергії з малими об'ємом розплавленого металу ванни і короткочасного теплового впливу на зварюваний метал. В результаті введення малої кількості теплоти різко знижуються деформації виробу. Зварювання у вакуумі запобігає насиченню розплавленого і нагрітого металу газами. В результаті цього досягається висока якість зварних з'єднань на хімічно активних металах і сплавах, таких як ніобій, цирконій, титан, молібден та інші [6].

Ціль даної роботи дослідити рівень знеміцнення, структурні особливості, величину залишкових післязварювальних напружень, механічні властивості та закономірності опору втомі з'єднань термічнозміцненого алюмінієвого сплаву АА7056 з

підвищеним вмістом цинку, отриманих технологією ЕПЗ.

Високоміцний алюмінієвий сплав АА7056 (8,5...9,7 % Zn, 1,5...2,3 % Mg, 1,2...1,9 % Cu) зварювався в термічнозміцненому стані Т351. Пластини товщиною 12 та 30 мм зварювались електронно-променевим зварюванням у вакуумній камері.

ЕПЗ спеціально підготовлених згідно з технологічними вимогами пластин алюмінієвого сплаву АА7056-Т351 товщиною 12 і 30 мм проводилось на установці УЛ-209М у вакуумі. Установа УЛ-209М конструкції ІЕЗ ім. Є. О. Патона з комп'ютерним управлінням укомплектована енергетичним комплексом на базі ЕЛА-60/60 та електронно-променевою гарматою, що переміщується у вакуумній камері з внутрішніми розмірами 3850×2500×2500 мм. Робочий вакуум становив $3,54 \cdot 10^{-2}$ МПа в камері та $6,65 \cdot 10^{-3}$ МПа в гарматі і створювався за 30 хв. Електронно-променева гармата з металевим вольфрамовим катодом разом з високовольтним джерелом живлення ЕЛА-60/60 забезпечує діапазон струму електронного пучка $I_{п} = 0...500$ мА при прискорюючому напруженні $U_{приск} = 60$ кВ. При відпрацюванні технології ЕПЗ

алюмінієвого сплаву 7056-Т351 використовувалися локальне розгортання електронного пучка з частотою до 1000 Гц і амплітудою до 4 мм.

Дослідження структурних особливостей стикових зварних з'єднань алюмінієвого сплаву 7056-Т351 товщиною 12 і 30 мм показали, що для зварного шва характерна рівномірна структура при відсутності пор та тріщин, зерна мають рівновісний характер при їх розмірі 4...15 мкм (рис. 1, а, б). На границях зерен спостерігаються досить тонкі прошарки фазових утворень (ФУ) шириною 0,1...0,4 мкм (рис. 1, в, г). У внутрішніх об'ємах зеренної структури – дисперсні частки ФУ розміром 0,1...0,2 мкм при рівномірному їх розподілі, також утворюються одиничні ФУ більшого розміру 0,7...1,0 мкм. При цьому характерне формування субструктурної складової, розмір субзерен складає 0,4...0,8 мкм (рис. 1, г). При переході до лінії сплавлення з боку шва зеренна структура практично не змінюється, а з боку ЗТВ — формується смугаста структура із однаковою спрямованістю, характерною для основного металу, ширина смуг 10...30 мкм, при збільшенні ФУ до 2...3 мкм (рис. 1). По границях смугової складової формуються тонкі прошарки ФУ шириною до 0,5 мкм.

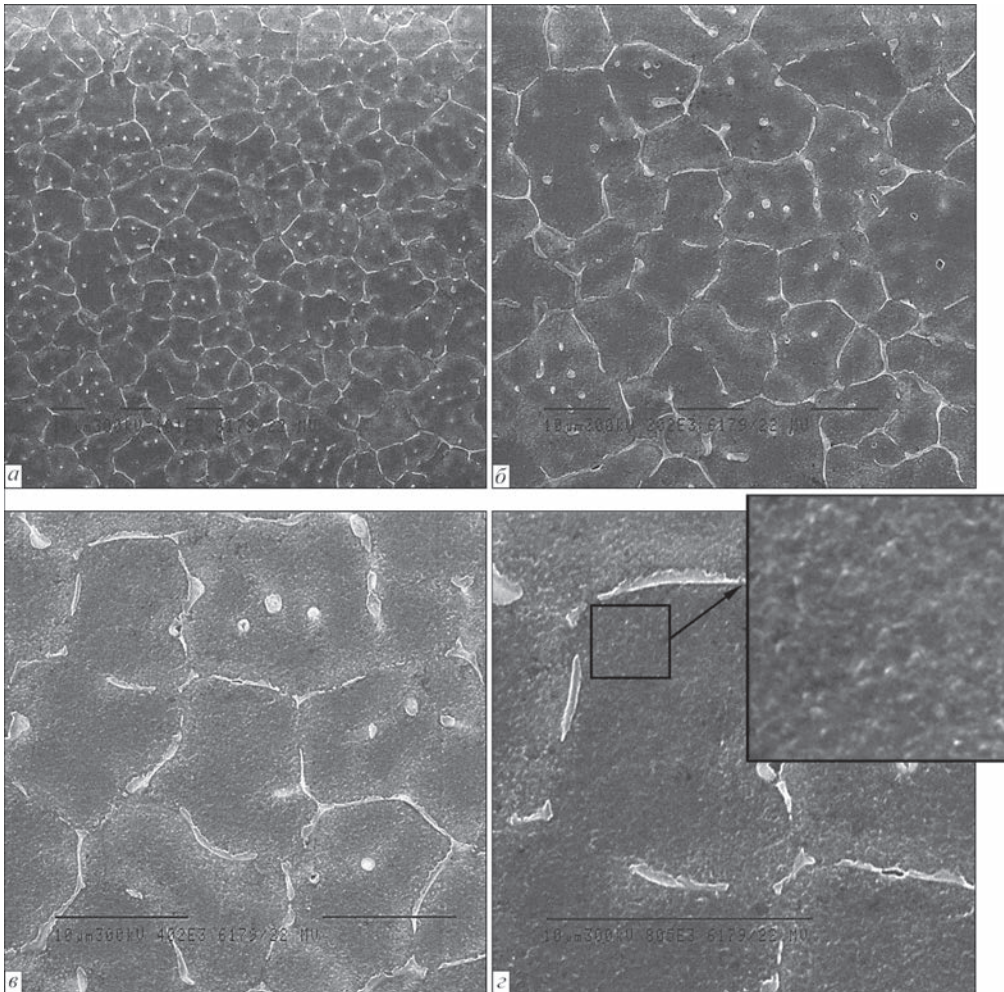


Рис. 1. Структура металу зварного з'єднання сплаву 7056-Т351: а — $\times 1010$; б — $\times 2020$; в — $\times 4040$; г — $\times 8080$

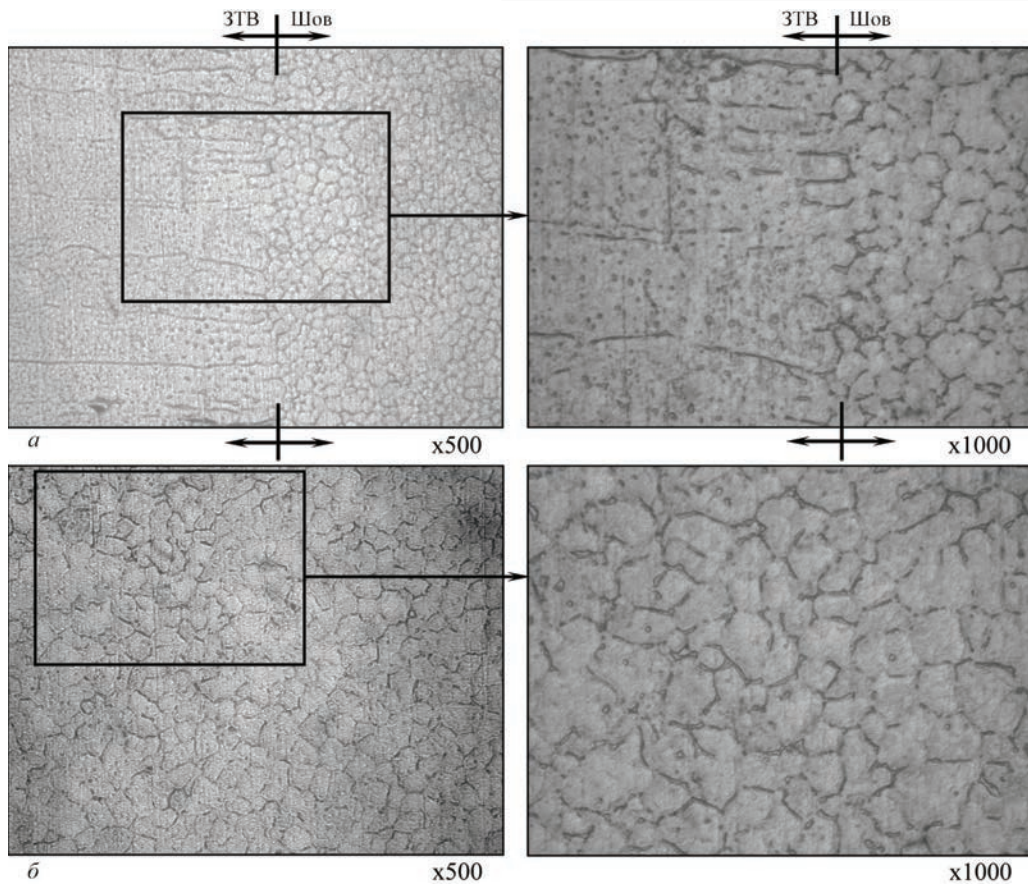


Рис. 2. Мікроструктура характерних ділянок з'єднання сплаву 7056-Т351 в зоні сплавлення (а) та в металі шва (б)

Для основного металу сплаву характерна структура з розміром зерна 6...10 мкм при рівномірній спрямованості вздовж смугастої структури (шириною до 15 мкм), що формується за умов спрямованого деформування (прокат). При цьому в основному металі спостерігається формування також більш дрібнозернистої структури. Таким чином, при ЕПЗ в металі шва, лінії сплавлення та ЗТВ зварних з'єднань алюмінієвого сплаву 7056-Т351 формується рівномірна структура при значному диспергуванні як зеренної структури, так і фазових утворень; пори та тріщини відсутні (рис. 2). При зварюванні на невідпрацьованих режимах можуть виникати суттєві технологічні проблеми, пов'язані з його підвищеною схильністю до утворення кристалізаційних тріщин в шві та частковим оплавленням зерен основного металу. Всі ці дефекти обумовлені структурними та фазовими перетвореннями, що протікають під дією термічного циклу при зварюванні.

Ступінь знеміцнення металу в зоні зварювання оцінювали за результатами вимірювання його твердості за ГОСТ 9013-59 на приладі Роквелл сталюю кулькою діаметром 1/16" і навантаженні 600 Н. На рис. 3 представлено розподіл твердості в зварному з'єднанні сплаву 7056-Т351. Твердість основного металу сплаву АА7056-Т351 знаходиться на рівні HRB 108...109. В зварному з'єднанні ширина зони розміщення становить 15 мм, твердість металу шва HRB 105...110.

Зважаючи на малий розмір шва було проведено додаткові виміри мікротвердості за Вікерсом у відповідності до ГОСТ 2999-75. Показники мікротвердості металу шва на 13 % нижчі від основного металу, в той час в зоні сплавлення мікротвердість вища на 9...13 %. Узагальнені результати вимірів мікротвердості приведені в табл. 1.

Характер розподілення та рівні залишкових напружень, зумовлених процесом зварювання в зразках, визначали руйнівним методом розвантаження з використанням тензометричних давачів опору і приладу ИСД-3 [7], а також неруйнівним ультразвуковим методом за допомогою приладу УПКН [8].

Виміри залишкових напружень з'єднань свідчать, що їх максимальні значення досягають свого максимуму у поздовжньому напрямку до шва,

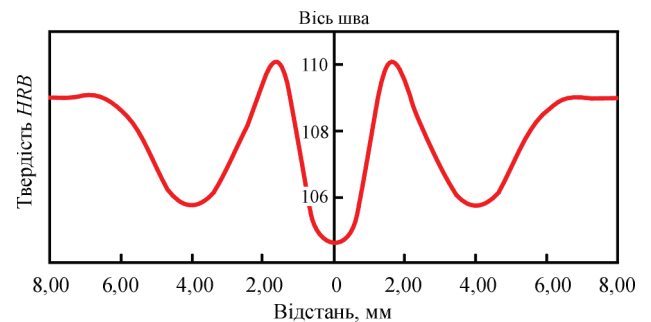


Рис. 3. Твердість металу в зварному з'єднанні сплаву 7056-Т351

Таблиця 1. Мікротвердість сплаву 7056-T351 по зонах з'єднання

Зона з'єднання	Шов	Лінія сплавлення		ЗТВ	Основний метал
		Шов	ЗТВ		
HV, МПа	1360	1600...1870	1690...1760	1700	1560

Таблиця 2. Механічні властивості основного металу та зварних з'єднань сплаву 7056-T351*

Властивості	Основний метал	ЕПЗ
Умовна межа текучості $\sigma_{0,2}$, МПа	540...560	-
Межа міцності σ_B , МПа	610...625	412...426
Відносне видовження δ_5 , %	14...16	2...5

*T351 — термічнозміцнений стан, який складається з загартування, регламентованого деформування та природного старіння.

а у поперечному майже у двічі менші. При цьому у центрі зразка діють максимальні залишкові напруження розтягу. На рис. 4 наведені епюри залишкових напружень, отримані ультразвуковим методом, в зварній пластині ($\delta = 12$ мм) сплаву 7056-T351 розміром 500×240 мм. За рахунок меншого температурного вкладу максимальне значення поздовжніх (σ_x) залишкових напружень становлять лише 90...95 МПа, а поперечних (σ_y) — 40...45 МПа.

Механічні випробування зразків проводили на універсальному сервогідролічному комплексі MTS 318.25 з максимальним зусиллям 250 кН у відповідності до прийнятих державних стандартів. З листів основного металу сплаву AA7056-T351 товщиною 12 та 30 мм виготовля-

лися циліндричні зразки III-го типу діаметром 8 та 10 мм відповідно до ГОСТ 1497-84 для визначення основних механічних характеристик. З отриманих зварних пластин листового прокату згідно ГОСТ 6996-66 виготовляли пропорційні зразки (з поперечним перерізом 6×28 мм і довжиною 270 мм) для визначення межі міцності при одновісному розтягуванні. Середнє значення межі міцності для серії зразків склало 412...426 МПа, що становить близько 70 % від відповідних показників для основного матеріалу (табл. 2).

Для досліджень опору втомі з'єднань сплаву 7056-T351, із пластин розмірами 500×250×30, з центральним швом довжиною 500 мм вирізались плоскі зразки перерізом 30×6 мм із швом по центру зразка. Для випробувань на втому застосовували зразки корсетного типу розмірами 250×30 мм (у робочій зоні 20 мм) у відповідності до ГОСТ 25.502-79. Випробування проводили в умовах циклічного одновісного розтягу із частотою 8 Гц при значенні коефіцієнту асиметрії напружень 0,1 та 0,4. За результатами проведених втомних випробувань для кожної серії зразків на основі встановлених значень границь обмеженої витривалості будували відповідні криві втоми — лінії регресії в координатах $2\sigma_a - \lg N$. Криві втоми будували для багатоциклової області довговічності $10^4 \dots 2 \cdot 10^6$ циклів змін напружень.

Обмежена границя витривалості на базі $2 \cdot 10^6$ з'єднань при асиметрії циклу навантажень 0,1 і 0,4, становить 150 і 110 МПа відповідно, що складає близько 70 % відповідних показників основного металу (рис. 5). Нахил кривих втоми, отриманих при асиметрії циклу навантажень 0,1 і 0,4 в подвійній логарифмічній системі координат для з'єднань становить $m_{0,1} = 5,36$ і $m_{0,4} = 6,99$, в той час як для основного металу цей показник становить $m_{0,1} = 6,92$ і $m_{0,4} = 8,5$, відповідно. При цьому довговічність зразків на стадії розповсюдження тріщини втоми до повного руйнування значно менша, ніж довговічність стадії до зародження тріщини, що пояснюється низькою пластичністю металу зварного шва та ЗТВ.

Отримані результати свідчать про перспективність використання електронно-променевого зварювання для отримання якісних з'єднань високоміцного алюмінієвого сплаву 7056-T351 з підвищеним вмістом цинку.

Висновки

1. Досліджено фізико-механічні властивості зварних з'єднань високоміцного термічнозміцненого

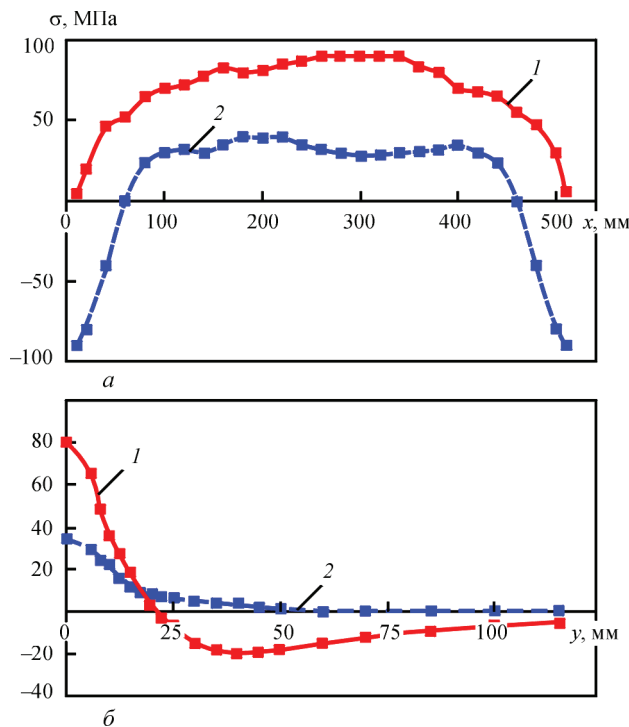


Рис. 4. Розподіл максимальних поздовжніх та поперечних залишкових напружень вздовж шва (а) та перпендикулярно шву (б) зварного з'єднання сплаву 7056-T351 товщиною 12 мм: 1 — σ_x ; 2 — σ_y

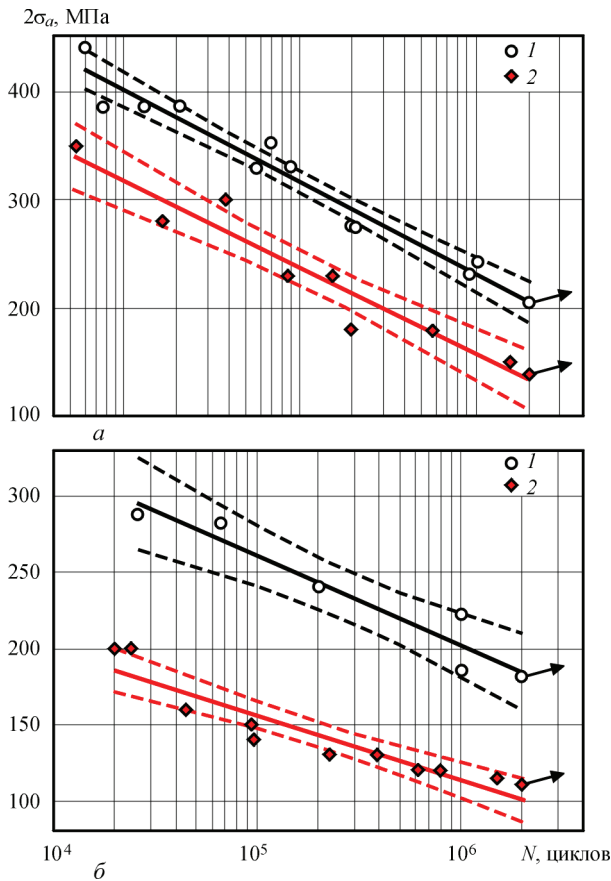


Рис. 5. Криві втоми та відповідна 95 % область розсіяння даних зразків основного металу і зварних з'єднань алюмінієвого сплаву 7056-T351 товщиною 6 мм при асиметрії циклу напружень 0,1 (а) та 0,4 (б): 1 — основний метал; 2 — зварні з'єднання

алюмінієвого сплаву 7056-T351 ($\delta = 12$ і 30 мм) з підвищеним вмістом цинку (8,7...9,8 %), отриманих за відпрацьованою технологією ЕПЗ. Встановлено, що межа міцності таких з'єднань складає близько 70 % від відповідних показників основного металу ($\sigma_{в.ом} = 620$ МПа).

2. Максимальні значення залишкових поздовжніх напружень в зварній пластині розміром 500×240×30 мм, отриманій технологією ЕПЗ, складають 90..95 МПа, а поперечних — 40...45 МПа.

3. Встановлено, що обмежена межа витривалості на базі $2 \cdot 10^6$ з'єднань, виконаних ЕПЗ, при асиметрії циклу навантажень 0,1 і 0,4, становить 150 і 110 МПа, відповідно, що складає близько 70 % відповідних показників основного металу.

4. При ЕПЗ в металі зварних швів, лінії сплавлення та ЗТВ формується бездефектна рівномірна структура при диспергуванні зеренної струк-

тури та фазових утворень, що забезпечує високий рівень міцності та довговічність зварних з'єднань алюмінієвого сплаву 7056-T351.

Список літератури

1. Ищенко А. Я. (2003) Алюминиевые высокопрочные сплавы для сварных конструкций. *Прогресивні матеріали і технології*, 1, сс. 50–82.
2. Гуреева М. А., Грушко О. Е., Овчинников В. В. (2008) Свариваемые алюминиевые сплавы в конструкциях транспортных средств. *ВИАМ/2008-205182*, 10, 51–82.
3. Фридляндер И. Н., Сандлер В. Г., Грушко О. Е., Берсенов В. В. и др. (2002) Алюминиевые сплавы – перспективный материал в автомобилестроении. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 9, 3–9.
4. Martin K., Růžek R., Nováková L. (2015) Mechanical behaviour of AA7475 friction stir welds with the kissing bond defect. *International Journal of Fatigue*, 74, 5, 7–19.
5. Eibla M., Sonsinob С.М., Kaufmann Н., Zhanga G. (2003) Fatigue assessment of laser welded thin sheet aluminium. *Ibid.*, 25, 8, 719–731.
6. Нестеренков В. М., Кравчук Л. А., Архангельский Ю. А., Орса Ю. В. (2017) Формирование сварных соединений магниевых сплавов при импульсной многопроходной электронно-лучевой сварке. *Автоматическая сварка*, 4, 38–42.
7. Касаткин Б. С., Кудрин А. Б., Лобанов Л. М. и др. (1981) *Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений*. Киев, Наукова думка.
8. Гуца О. И. Смиленко В. Н., Кот В. Г. и др. (2009) Контроль напряжений на основе использования подповерхностных акустических волн. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 1, 11–13.

References

1. Ishchenko, A.Ya. (2003) Aluminium high-strength alloys for welded structures. *Progresywni Materialy i Tekhnologii*, 1, 50-82 [in Russian].
2. Gureeva, M.A., Grushko, O.E., Ovchinnikov, V.V. (2008) *Welded aluminium alloys in structures of transport vehicles*. VIAM/2008-205182, 10, 51-82 [in Russian].
3. Fridlyander, I.N., Sandler, V.G., Grushko, O.E., Bersenov, V.V. et al. (2002) Aluminium alloys as a perspective material in automobile industry. *Metallvedenie i Termich. Obrab. Metallov*, 9, 3-9 [in Russian].
4. Martin, K., Ruzek, R., Novakova, L. (2015) Mechanical behaviour of AA7475 friction stir welds with the kissing bond defect. *Int. J. of Fatigue*, 74(5), 7-19.
5. Eibla, M., Sonsinob, C.M., Kaufmann, H., Zhanga, G. (2003) Fatigue assessment of laser welded thin sheet aluminium. *Ibid.*, 25(8), 719-731.
6. Nesterenkov, V.M., Kravchuk, L.A., Arkhangelsky, Yu.A., Orsa, Yu.V. (2017) Formation of welded joints of magnesium alloys in pulse multipass electron beam welding. *The Paton Welding J.*, 4, 35-38.
7. Kasatkin, B.S., Kudrin, A.B., Lobanov, L.M. et al. (1981) *Experimental methods of investigation of strains and stresses*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
8. Gushcha, O.I., Smilenko, V.N., Kot, V.G., Brodovoj, V.A., Klochkov, I.N. (2009) Control of stresses based on application of subsurface acoustic waves. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, 1, 11-13.

ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ ВЫСОКОПРОЧНОГО СПЛАВА AA7056-T351, ВЫПОЛНЕННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКОЙ

И. Н. КЛОЧКОВ, В. М. НЕСТЕРЕНКОВ, Е. Н. БЕРДНИКОВА, С. И. МОТРУНИЧ

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Использование современных алюминиевых сплавов при проектировании элементов и конструкций авиа- и ракетостроения, морских судов и наземного транспорта обеспечивает высокие показатели их прочности и долговечности. Новейшие технологические процессы сварки позволяют уменьшить массу конструкции и соответственно снизить эксплуатационные расходы, обеспечивая необходимые показатели прочности и долговечности. При этом получение качественных сварных соединений термически упрочненных алюминиевых сплавов является актуальной научно-технической задачей. Использование технологий сварки с низким температурным вкладом, таких как электронно-лучевая сварка по сравнению с традиционными способами сварки является перспективным для авиационной и ракетостроительной промышленности. Цель данной работы исследовать уровень разупрочнения, структурные особенности, величину остаточных послесварочных напряжений, механические свойства и закономерности сопротивления усталости соединений термически упрочненного алюминиевого сплава AA7056-T351 с повышенным содержанием цинка, полученных электронно-лучевой сваркой. Библиогр. 8, табл. 2, рис. 5.

Ключевые слова: сварные соединения, сопротивление усталости, остаточные напряжения, алюминиевый сплав, электронно-лучевая сварка

STRENGTH AND FATIGUE LIFE OF JOINTS OF HIGH-STRENGTH ALLOY AA7056-T351, MADE BY ELECTRON BEAM WELDING

I.M. KLOCHKOV, V.M. NESTERENKOV, O.M. BERDNIKOVA, S.I. MOTRUNICH

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv.

E-mail: office@paton.kiev.ua

Application of modern aluminium alloys when designing elements and structures for aircraft and rocket construction, sea vessels and ground transportation, is ensured by high values of their strength and ductility. New welding technologies allow reducing the structure weight and lowering the operating costs, respectively, while providing the required values of strength and fatigue life. Here, producing sound welded joints of heat-treatable aluminium alloys is an urgent science and technology problem. Application of welding technologies with a small temperature contribution, such as electron beam welding, compared to traditional welding processes, is promising for aircraft and rocket construction. The objective of this work is studying the level of softening, structural features, magnitude of residual postweld stresses, mechanical properties and regularities of fatigue resistance of joints of heat-hardenable aluminium alloy AA7056-T351 with higher zinc content, produced by electron beam welding. 8 Ref., 2 Tabl., 5 Fig.

Keywords: welded joints, fatigue resistance, residual stresses, aluminium alloy, electron beam

Надійшла до редакції 04.10.2018

Новая книга

Физические процессы при сварке и обработке материалов. Теоретическое исследование, математическое моделирование, вычислительный эксперимент: Сб. статей и докладов под ред. акад. НАН Украины И.В. Кривцуна. — Киев: Международная Ассоциация «Сварка», 2018. — 642 с.

Сборник включает 86 статей и докладов сотрудников отдела физики газового разряда и техники плазмы Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, опубликованных за период 1978–2018 гг. В нем обобщен сорокалетний опыт научно-исследовательской деятельности отдела в области теоретического исследования и компьютерного моделирования физических явлений, протекающих при дугowych, плазменных, лазерных и гибридных процессах сварки, наплавки и напыления покрытий. Может быть интересен и полезен ученым, инженерам и технологам, занимающимся проблемами дуговой, плазменной, лазерной и гибридной сварки и обработки материалов, а также аспирантам и студентам, изучающим теоретические основы сварочных и родственных процессов.

Сборник можно заказать в редакции журнала «Автоматическая сварка».



ЗАВИСИМОСТЬ ГИГРОСКОПИЧНОСТИ ПОКРЫТИЙ НИЗКОВОДОРОДНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ОТ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ЖИДКОГО СТЕКЛА

А. Е. МАРЧЕНКО¹, В. В. ТРАЧЕВСКИЙ², Н. В. СКОРИНА¹

¹ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

²Технический центр НАН Украины. 04070, г. Киев, ул. Покровская, 13. E-mail: tracev@imp.kiev.ua

Изложены результаты исследований гигроскопичности покрытий низководородных электродов в зависимости от состава жидких Li-, Na- и K-стекло, а также их бинарных смесей, которые интерпретированы с позиций эволюции кремний-кислородной структуры в процессе стеклообразования под влиянием изменяющихся вида и соотношения катионов щелочных металлов. Проведенная диагностика структурно-функциональной самоорганизации кремнекислородных анионов в составе жидких стекол осуществлена на основе данных ядерного магнитного резонанса. Использовались спектры ядерного магнитного резонанса ²⁹Si. Обобщенные данные рассмотрены с учетом доминирования механизма поликонденсации. Выявлена корреляция между показателями гигроскопичности покрытий и соотношением мостиковых Q⁴, Q³, Q² и немостиковых Q¹ связей в структуре кремнекислородных анионов. Библиогр. 19, табл. 2, рис. 12.

Ключевые слова: дуговая сварка, сварочные электроды, гигроскопичность покрытия, технология изготовления, жидкое стекло, структура жидкого стекла, спектроскопия ядерного магнитного резонанса

Атмосфера всегда содержит какое-то количество водяного пара, т. е. обладает относительной влажностью. При достижении насыщения водяной пар конденсируется в виде росы, тумана, инея, снежинок или дождевых капель в зависимости от температуры окружающей среды.

В ходе штатной термообработки электродов в диапазоне температур 150...400 °С влажность (влагосодержание) электродного покрытия доводится до уровня, более низкого, чем равновесное влагосодержание среды, т. е. покрытие гигроскопично и характеризуется способностью сорбировать влагу как и многие другие обезвоженные капиллярно-пористые и коллоидные материалы.

Проникнув в покрытие, влага со временем инициирует химические превращения его составляющих. При достижении определенной концентрации, характерной для того или иного состава покрытия, поглощенная влага вызывает существенное ухудшение сварочно-технологических характеристик электродов, сопряженное с изменением внешнего вида, образованием дефектов, понижением прочности покрытия, а впоследствии с образованием пористости шва и околовшовных трещин (табл. 1).

На выявление, удаление, восстановление дефектных участков швов и подтверждение качественного выполнения

ремонтных работ, сварочное производство тратит огромные средства [1, 2].

Для поддержания кондиции электродов по влажности на уровне нормативных требований используются специфические виды их упаковки, а для восстановления кондиции и последующего хранения электродов вплоть до применения в производстве используется парк сушильно-прокалочных установок. Выполнение реанимационных процедур, перечень и последовательность выполнения которых представлены на рис. 1, тоже требует вовлечения огромных ресурсов.

Для преодоления проблем возникла необходимость разработки технологических приемов в производстве электродов, позволяющих коренным образом улучшить влагостойкость покрытия. Одна из задач: добиться сохранения такого состояния покрытия извлеченных из упаковки

Таблица 1. Виды и место возникновения несоответствий, вызываемых гигроскопической влажностью покрытия

Объект контроля	Вид и характер возникающих несоответствий
Внешний вид электродов	Пятна на поверхности покрытия
	Пузыри в покрытии
	Коррозия стержня
Покрытие электрода	Понижение прочности
Сварочно-технологические свойства электродов	Ухудшение стабильности горения дуги
	Чрезмерное разбрызгивание расплавленного металла
	Неудовлетворительное формирование шва
	Плохая отделимость сварочной корки
Сварной шов	Пористость
	Водородная хрупкость
	Холодные трещины

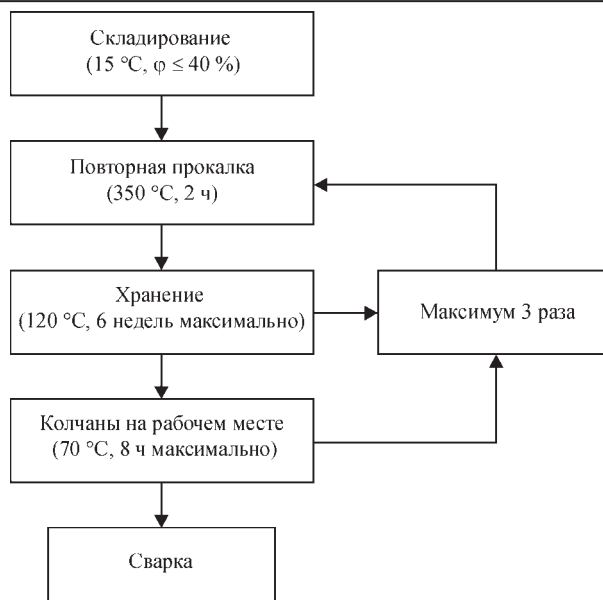


Рис. 1. Схема управления подготовкой к сварке и применением электродов с низководородным покрытием

электродов, при котором на протяжении, по крайней мере, восьмичасовой рабочей смены, содержание водорода в наплавленном металле оставалось в нормативных пределах. Причем, не в ущерб сварочно-технологическим, металлургическим и санитарно-гигиеническим характеристикам электродов.

Решением проблемы занимались такие электроизготавливающие фирмы, как ESAB [3, 4], Smith weld [5], Oerlikon [6], Metrode Product [7], Quasy Arc [8, 9], Thyssen Draht, Kobelco, Lincoln Electric и др., а также ряд отечественных НИИ, включая ИЭС им Е. О. Патона [10, 11].

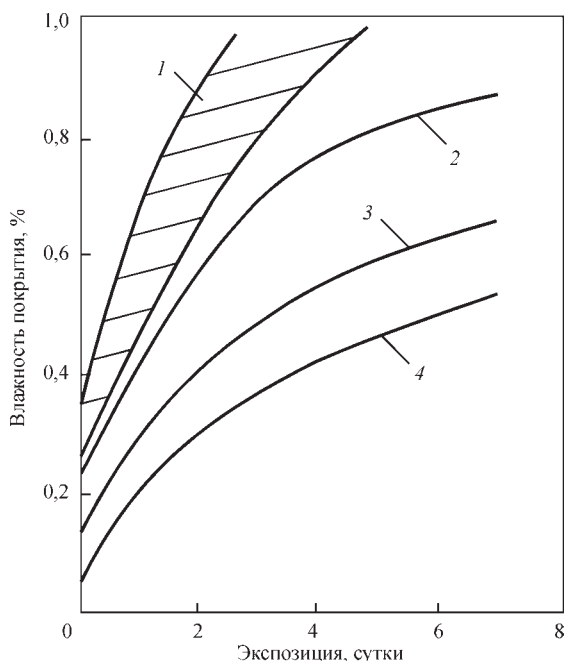


Рис. 2. Гигросорбционная стойкость электродных покрытий в зависимости от метода регулирования полимерного состояния кремнекислородных анионов в жидком стекле ($\varphi = 75\%$, $T = 25\text{ }^\circ\text{C}$; обозначения 1–4 см. в тексте) [7]

В итоге разработан ряд технологических приемов повышения гигросорбционной стойкости электродных покрытий. Важнейшие из них основаны на регулировании степени полимеризации щелочных силикатов в бинарном жидком стекле. По эффективности их можно разделить на 3 группы (рис. 2).

Цифрой 1 обозначены обычные электроды, цифрой 2 — электроды, изготовленные на бинарных NaK жидких стеклах с соотношением щелочных ионов-модификаторов, обеспечивающим минимальную гигросорбционную способность щелочного гидросиликатного связующего. Цифрой 3 отмечены электроды с покрытием на NaK стекле, модуль которого увеличен путем регулирования молярного соотношения $\text{SiO}_2/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, в том числе путем добавления в жидкое стекло аммонийного силиката. Цифрой 4 отмечены электроды с самой низкой гигроскопичностью покрытия, достигнутой благодаря дополнительному модифицированию структурной сетки высокомолекулярного силиката катионом-стеклообразователем.

Электроды с высокой гигросорбционной стойкостью покрытия маркируют знаками R, MR, EMR, HMR или LMA. Обозначенные этими знаками электроды удовлетворяют изложенным выше требованиям к гигросорбционной стойкости покрытия и позволяют получить существенный экономический результат благодаря снижению температуры подогрева, уменьшению расходов на ремонт сварных швов, повторную прокатку и содержание прокаленных электродов [1, 5, 11].

Причины гигроскопичности электродных покрытий неоднозначны. Известно шесть типов изотерм адсорбции, каждой из которых или их определенной комбинацией можно охарактеризовать индивидуальные особенности любого природного адсорбента, включая показатели кинетики поглощения и пределы их насыщения влагой (равновесные влагосодержания). К ним относятся приведенные на рис. 3 моно- или бипараметрические изотермы Генри ($x = kP$), Ленгмюра ($x = kP/(1 + kP)$), Фрейдриха ($x = kP^{1/n}$), БЭТ, Зигмонди и гистерезисной формы.

Гигросорбционные характеристики электродных покрытий не совпадают по форме ни с одной из приведенных изотерм. Это объясняется тем, что в покрытии электродов имеется несколько видов сорбционных центров. К ним относятся:

- зерна минеральных газшлакообразующих материалов, ферросплавов-раскислителей и железного порошка;
- сухой остаток жидкого стекла в виде щелочных гидросиликатов, заключенных в пространстве между ними;
- частицы минеральных пластификаторов в виде каолина, бентонита, слюды, талька, карбона-

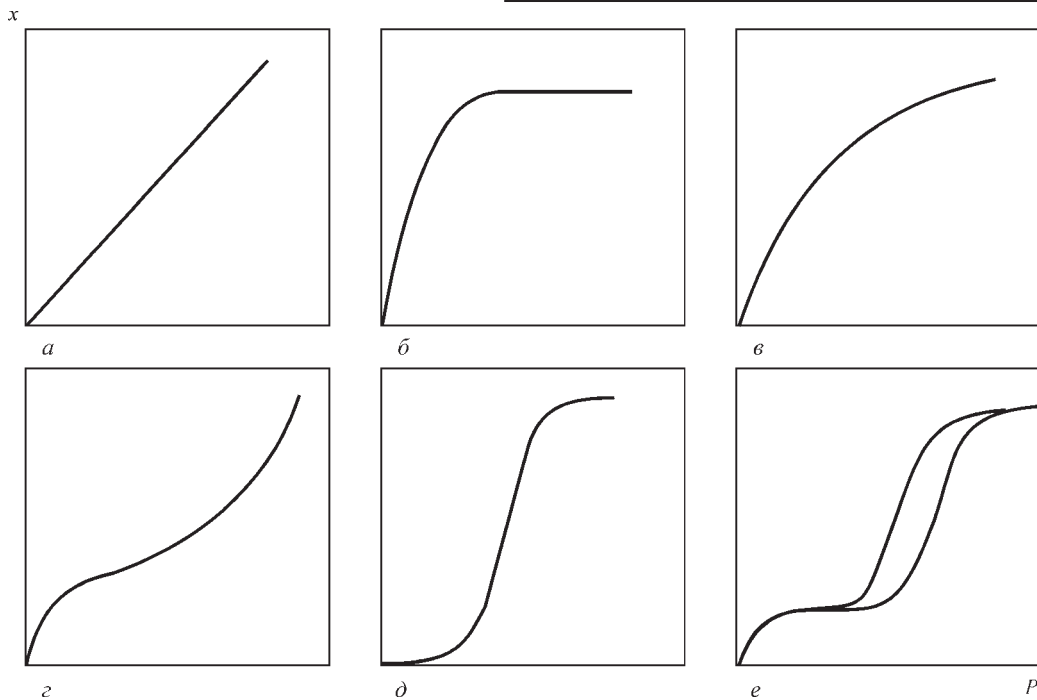


Рис. 3. Типичные виды абсорбционных изотермических кривых [12]: *a* — Генри; *б* — Ленгмюра; *в* — Фрейндлиха; *г* — БЭТ; *д* — Зигмонди; *е* — гистерезисный

тов Na и K, а также альгинатов, КМЦ и других органических гидроколлоидов;

- зольные остатки термоокислительной деградации органических гидроколлоидов.

Наибольшей гигросорбционной способностью в составе покрытия отличаются сухие остатки жидких стекол, сода, поташ и зольные остатки гидроколлоидов.

Влага, поглощенная из атмосферы, с течением времени изменяет свое физико-химическое состояние в покрытии, постепенно превращаясь из капиллярной в химически связанную форму.

Поскольку влагосорбционные изотермы электродных покрытий не приводятся к линейному виду, позволяющему определить параметры, необходимые для сопоставления разных покрытий по гигроскопичности, их сравнивают по общему виду гигросорбционных кривых, полученных в стандартизированных условиях.

Методика. Основанные на этом методики определения гигроскопичности электродных покрытий делятся на 3 группы по назначению, а именно:

- для исследований природы и характеристик гигросорбционного процесса;
- для классификационных (сертификационных) испытаний электродов по способности их покрытий сопротивляться поглощению атмосферной влаги;
- для технологического контроля электродной продукции.

В любом случае оборудование включает климатическую камеру, предназначенную для поддер-

жания заданных (или стандартных, если речь идет о классификационных тестированиях) климатических условий, в которых экспонируют электроды в ходе испытаний. Она состоит из гигростата и термостата.

Гигростат — это выполненный из стекла, пластика или другого инертного материала бокс, в котором размещаются:

- штатив с тестируемыми электродами, уложенными на него без соприкосновения друг с другом;
- термометр;
- открытая емкость с насыщенным соляным раствором, гарантированно обеспечивающим влажность атмосферы с заданным значением парциального давления влаги (относительной влажности ϕ). Измерение ϕ в ходе тестирования не допускается, поскольку во время замеров провоцировалась бы циркуляция воздуха в гигростате, которая, следовательно, привела бы к нарушению воспроизводимости результатов.

Термостат изготавливается в виде надежно теплоизолированной и плотно закрывающейся камеры, в которой терморегулятор по сигналу датчика автоматически, с точностью ± 1 °C, поддерживает заданную температуру, а встроенный вентилятор равномерно распределяет ее по рабочему пространству камеры.

Международные институты сварки (МИС) и стандартизации (ИСО) разработали стандарты, регламентирующие условия, порядок проведения классификационных испытаний и сертификации низководородных электродов на стойкость покрытия против поглощения атмосферной влаги.

В первом из них классификационным признаком является предельная влажность покрытия, при достижении которой электрод должен пройти термообработку, восстанавливающую его кондицию. Во втором таким признаком является допустимое содержание водорода в наплавленном металле, которое в результате адсорбции влаги покрытием в регламентируемых стандартом климатических условиях ($\varphi = 80 \%$, $T = 27 \text{ }^\circ\text{C}$, $t = 24 \text{ ч}$) ни в коем случае не должно быть превышенным. Для поддержания таких условий используется насыщенный раствор сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Стандарт МИС одновременно регламентирует условия подготовки электродов к испытаниям, сохранения достигнутой гигросорбционной влажности покрытия в течение тестирования, что обеспечивается использованием переносных герметичных ампул для электродов, а также порядок обращения с электродами на протяжении процедуры измерения содержания водорода в наплавленном металле, соответствующей положениям ISO 3650 [13].

В ИЭС им. Е. О. Патона используется методика оценки гигросорбционной способности электродных покрытий, максимально приближенная к этим требованиям. Оценивается кинетика сорбции влаги покрытием непосредственно после термообработки электродов. Используется краткосрочная (8 ч) и долгосрочная (14 дней) экспозиция электродов в атмосфере с $\varphi = 80 \%$ и $T = 27 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Суть методики заключается в следующем:

- от контролируемой партии отбирается несколько электродов, из них вырезают три образца длиной 125 мм;
- вырезанные образцы электродов прокаливаются при режимах, предписанных технической документацией;
- после охлаждения на воздухе до $20 \dots 30 \text{ }^\circ\text{C}$ образцы электродов взвешивают на аналитических весах и сразу переносят в гигростат, представляющий собой стандартный стеклянный эксикатор (рис. 4), в котором поддерживаются заданные климатические условия;
- гигростат с образцами электродов помещают в рабочую камеру термостата ТВЗ-25 (ТУ 64-1-

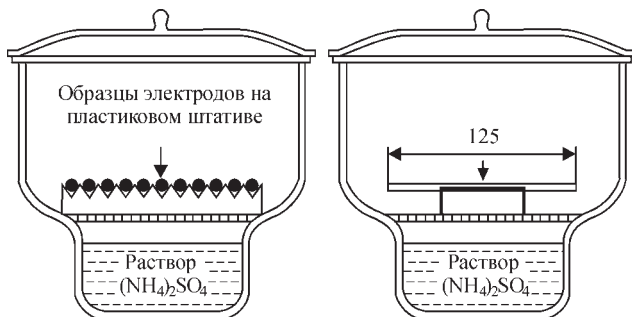


Рис. 4. Гигростат для определения гигросорбционной способности электродных покрытий

619-76, мощность нагревателя 300 Вт), в котором поддерживается температура $27 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$;

- кинетика поглощения влаги покрытием контролируется взвешиванием каждого электрода на аналитических весах через 1, 2, 3, 5 и 8 ч, а затем через 1, 2, 3, 5, 8, 10, 12 и 14 сут. Во время взвешивания эксикатор вынимается из термостата. Из него поочередно извлекаются и взвешиваются электроды. Продолжительность взвешивания одного электрода не превышает 10 с;

- расчеты ведутся по формуле:

$$x = \frac{(P_x - P_0)}{(P_0 - P_c)} 100, \quad (1)$$

где x — количество сорбированной влаги в виде приращения массы адсорбента в ходе увлажнения, %; P_0 , P_x — масса электрода до и после гигросорбционного увлажнения, г; P_c — масса стержня электрода, г.

Задаваемую относительную влажность в гигростате, в случае необходимости, изменяли, используя другую растворенную в ванне гигростата соль. Это же относится и к длительности наблюдения за процессом.

Как отмечалось выше, при исследовании гигроскопичности электродных покрытий считается, что прирост массы адсорбата вызван исключительно поглощенной из атмосферы влагой. Для электродных покрытий такое предположение не всегда справедливо из-за того, что щелочной гидросиликат поглощает не только влагу, но и CO_2 в случае продолжительных экспозиций. По этой причине в экспертных случаях делаются проверки состава адсорбированного вещества, например, путем проведения специальных анализов с использованием газоанализатора, совмещенного с ДТА.

Роль комбинированных жидких стекол в торможении гигросорбционного процесса. У электродных покрытий, изготовленных с использованием бинарных (относительно ионов-модификаторов) жидких стекол, при варьировании соотношений щелочных составляющих в жидком стекле выявлены не подчиняющиеся правилу аддитивности изменения гигросорбционных характеристик [4, 10].

На рис. 5 сравнивается динамика изменения гигроскопичности покрытий электродов УОНИ 13/55, изготовленных на бинарных NaK жидких стеклах в зависимости от соотношения Na- и K-ингредиентов в смеси. Модули исходных монокислородных стекол $M_{\text{Na}} = M_{\text{K}} = 2,9$, вязкость — 500 МПа·с. Видно, что покрытия на жидком стекле с молярной долей калиевой составляющей, весьма близкой 30...40 %, характеризуются минимальной гигросорбционной способностью. По-

крытия с большей долей калиевой компоненты, чем в точке минимума, сорбируют влагу интенсивнее, как и изготовленные на стеклах с меньшей долей указанной компоненты. Восходящие (калиевые) ветви кривых при коротких экспозициях круче, чем нисходящие (натриевые). Наряду с минимумом, при 70...80 % калиевой составляющей, на кривой появляется максимум гигроскопичности (отмечен, как и минимум, стрелкой). С увеличением экспозиции наклоны восходящих ветвей выравниваются, а степень отклонения экстремальной точки от аддитивного значения уменьшается. Экстремальность наблюдается для изменения вязкости жидких стекол (появляется максимум), и для водоудерживающей способности сухих остатков бинарных стекол и электродных покрытий на их основе (появляется минимум, как и у гигроскопичности). Эта картина изменяется под влиянием вида и модуля растворов щелочных силикатов, взятых для приготовления бинарных жидких стекол [7, 10, 14, 15].

На рис. 6 показан характер изменения гигроскопичности электродных покрытий в зависимости от соотношения исходных натриевой (Na_2O) и калиевой (K_2O) составляющих, а также от модуля приготовленных из них NaK-жидких стекол, предназначенных для изготовления электродов. С целью сохранения одинакового соотношения Na_2O/K_2O в сравниваемых бинарных смесях стекол авторы [7] повышали их модуль добавлением в заготовленную смесь 5%-го аммониевого силиката Quagam.

Принятые обозначения:

▪ 1 и 1' — электроды непосредственно после прокаливания;

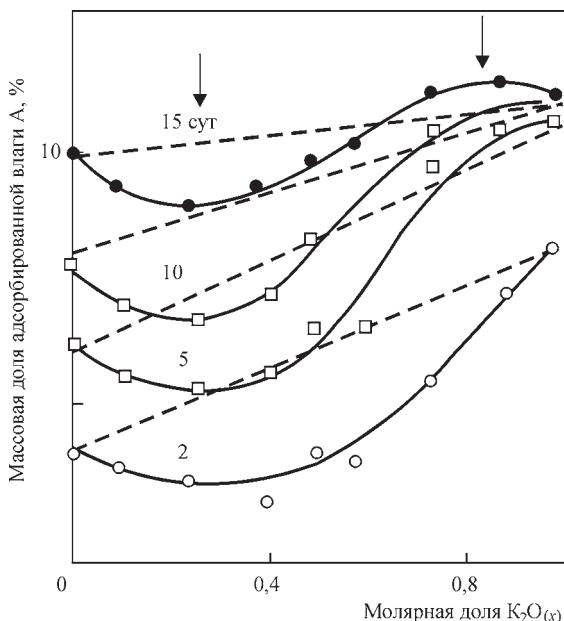


Рис. 5. Влияние соотношения щелочных оксидов в NaK-жидком стекле на гигроскопичность электродного покрытия ($\varphi = 95\%$; $T = 25^\circ C$). Цифрами указана длительность экспозиции электродов в гигростате [7]

▪ 2, 3, 4 и 2', 3', 4' — электроды, экспонированные во влажной среде в продолжение — 24, 48 и 168 ч, соответственно;

▪ сплошными линиями отмечены варианты образцов, изготовленных на смесях стекол с меньшим, а пунктирными — с большим значением модуля.

Влажность покрытия определяли после прокаливании при $1000^\circ C$ (по методу МИС).

Приведенные на рис. 6 данные подтверждают, что на количество влаги, поглощенной электродным покрытием из соответствующей атмосферы, соотношение щелочных составляющих и их модуль влияют по-разному, в зависимости от длительности экспозиции. Минимальное увлажнение наблюдается не при одном фиксированном соотношении Na_2O/K_2O , как было установлено в работах [4, 10, 16]. Согласно рис 6 положение минимума достигнутых влагосодержаний при увеличении экспозиции электродов во влажной среде может смещаться в сторону больших или меньших от начальных значений.

С увеличением модуля жидкого стекла влагопоглощение в минимуме понижается, а точка минимума действительно смещается в сторону большей доли калиевой составляющей в смеси жидких стекол. Одновременно проявляется асимметрия кривых влагопоглощения: у правой, т. е. калиевой ветви, наклон больше, чем натриевой, особенно в случае длительных экспозиций.

Картина усложняется, когда бинарные смеси готовятся из монощелочных растворов силикатов с большей разницей размеров катионов, чем у K и Na. На рис. 7 сравниваются гигросорбционные кривые, полученные при исследовании опытных вариантов электродов УОНИ 13/55, обозначенных индексом Т-99. Покрытия изготовлены с использованием Li, Na и K жидких стекол с $M = 3,2$ и их бинарных смесей. Диаметр электродов 4 мм.

Видно, что в течение короткой экспозиции покрытия на жидких Li-, Na- и K- стеклах поглощали

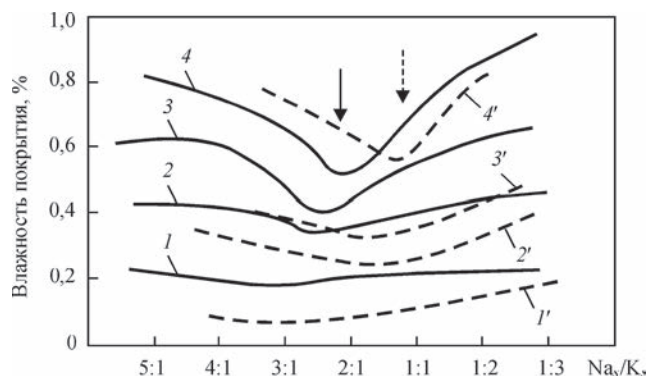


Рис. 6. Зависимость количества поглощенной покрытием влаги от соотношения Na_2O и K_2O составляющих, а также модуля бинарных жидких стекол ($\varphi = 75\%$; $T = 25^\circ C$; описание см. в тексте) [7]

0,1, 0,3 и 2,0 % влаги. С увеличением выдержки электродов до 14 сут количество сорбированной влаги у Li- и K-вариантов возросло почти в 3 раза, а у Na-варианта — в 5 раз. При кратковременной экспозиции количество поглощенной покрытием влаги монотонно нарастает по мере увеличения доли второго компонента в смеси жидких стекол. При длительной экспозиции на кривой поглощения влаги покрытиями NaK-серии имеются минимум и максимум, только смещенные левее и заметнее выраженные, чем у серии электродов, изготовленных на жидких NaK стеклах с модулем 2,9 (см. рис. 5).

Следует обратить внимание на то, что влияние на гигросорбционные свойства покрытия, добавляемого к литиевому стеклу компонента, значительно нивелируется литиевой составляющей. При кратковременной экспозиции это касается

только калиевой, а при длительной экспозиции — и натриевой составляющей. Такая же картина наблюдается и в случае влияния NaK-жидких стекол на гигроскопичность покрытий. При кратковременных экспозициях натриевый компонент подавляет гигроскопичность калиевой составляющей, а при длительных выдержках они по степени влияния на сорбционную способность покрытия почти сравниваются — как если бы модульность калиевой компоненты по какой-то причине существенно повысилась.

Из всего изложенного можно заключить, что изменение гигроскопичности электродных покрытий при использовании комбинированных жидких стекол, имеет сложный характер. Его нельзя объяснить лишь эффектом повышения доли более «гигроскопичных» катионов в композиции с менее гигроскопичными, если априорно предположить, что изменение интегральной гигроскопичности катионной составляющей подчиняется линейному закону. Роль структуры анионной составляющей, по-видимому, тоже должна учитываться, поскольку в синергизме вязкости бинарных жидких стекол и в нелинейном изменении водоудерживающей способности бинарных смесей гидросиликатов при их термическом обезвоживании основополагающую роль играет структура кремнекислородных анионов (ККА), которая изменяется под влиянием соотношения катионов-модификаторов.

В связи с этим в работе исследована гигроскопичность низководородных электродных покрытий АНВ-35 во взаимосвязи со структурой ККА жидких LiNa-, LiK- и NaK-стекол, которые готовили из мошоелочных жидких Li-, Na- и K-стекол со значениями модулей 2,8; 3,0 и 3,6, соответственно. Химический состав исходных стекол приведен в табл. 2 [17]. Вязкость исходных стекол составляла 350 МПа·с. Доза стекол в обмазке — 25, 26 и 23 %.

Мошоелочные жидкие Li-, Na- и K-стекла использовались для приготовления обмазок опытных электродов с той же консистенцией, что и в работе [17].

В отличие от них бинарные стекла заблаговременно, с целью нивелирования синергетического эффекта, путем разбавления небольшими добавками воды доводили до уровня вязкости исходных мошоелочных стекол. У жидких LiK-стекол, содержащих от 16,3 до 50,0 мас. % калиевой составляющей, в исходном состоянии синергетический всплеск вязкости достигал 20800 МПа·с. Поэтому степень их разбавления была намного больше, чем у остальных образцов указанного ряда.

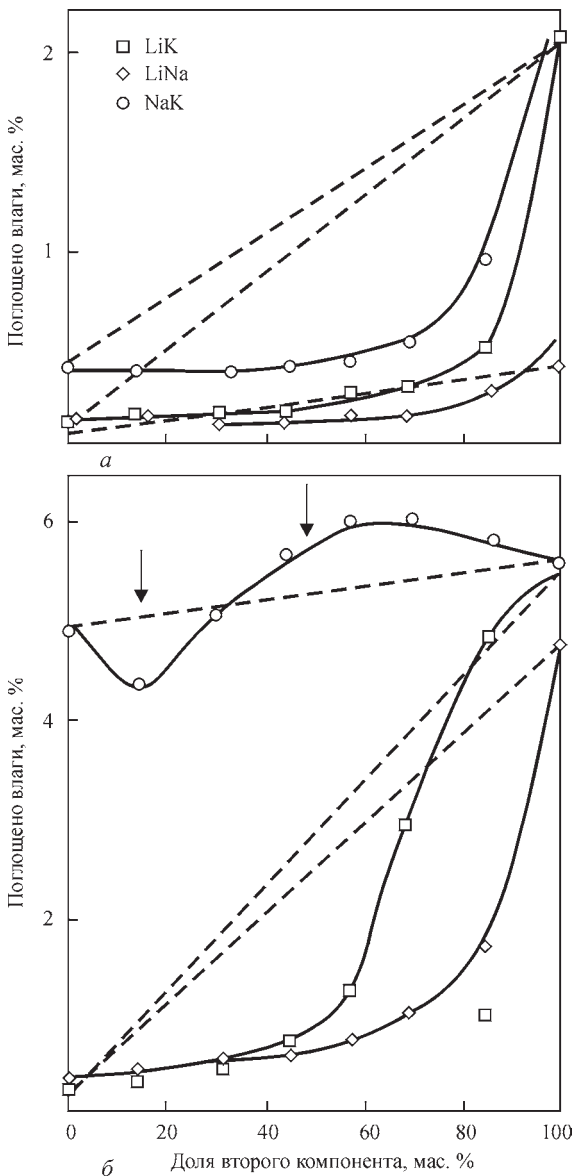


Рис. 7. Влияние состава бинарных высокомоульных жидких LiNa-, LiK- и NaK-стекол на гигроскопичность покрытия опытных электродов Т-99: а — 8 ч; б — 14 сут

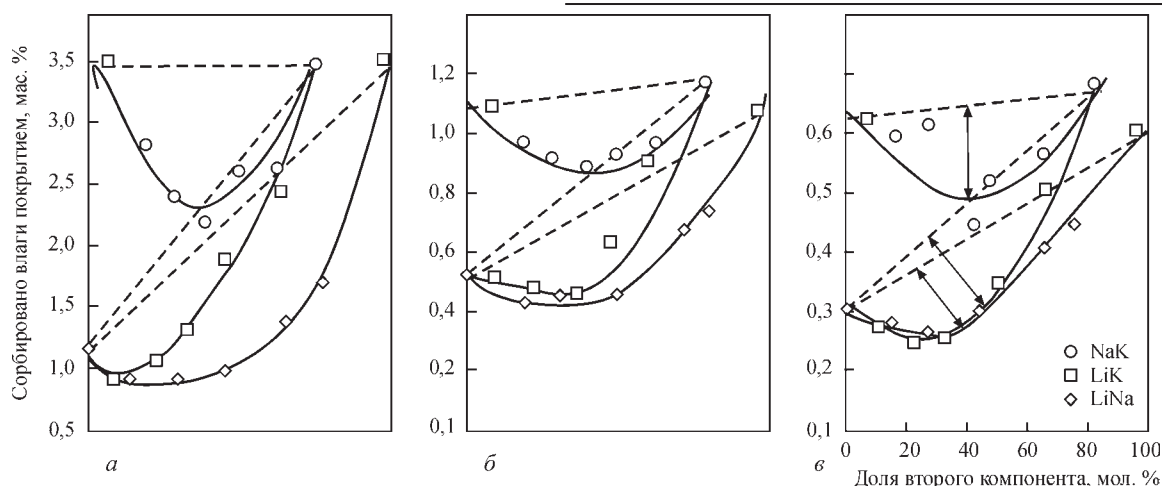


Рис. 8. Зависимость количества влаги, сорбированной покрытием, от состава жидкого стекла и продолжительности наблюдения: а — 14 сут; б — 24 ч; в — 8 ч

Изготовленные электроды сушили 24 ч на воздухе, после этого в течение 1 ч выдерживали при 200 °С, а затем прокаливали при 400 °С.

Значения химического сдвига (δ , ppm) ^{29}Si сигналов для образцов монощелочных и комбинированных жидких стекол определены при комнатной температуре на спектрометре ядерного магнитного резонанса (ЯМР-спектрометре) модели AVANSE 400. Источником информации о структуре ККА жидких стекол служила относительная интегральная интенсивность сигналов соответствующих структурных групп Q_n в первичных ^{29}Si ЯМР аналитических спектрах. Методика работы изложена в [17]. Среднее значение степени связ-

ности $Q_{\text{ср}}$ рассчитывали, пользуясь выражением $\sum x_i Q_i$, где Q_i — показатель химического сдвига, характеризующего связность n , а x_i — парциальное значение данного вида связностей. Гигроскопичность электродных покрытий исследовалась в условиях $\phi = 84\%$, $T = 25\text{ }^\circ\text{C}$. Результаты оценки гигроскопичности приведены на рис. 8.

Как и в серии опытов Т-99 минимальная гигроскопичность выявлена у покрытия, изготовленного на основе литиевого жидкого стекла. Как следует из табл. 2 в структуре их ККА самая высокая доля мостиковых связностей Q^4 . В течение 8 ч композиция поглотила 0,1 % влаги, а Na- и К-стекла — 0,6 %. Однако спустя 14 сут сорбция достигла значений 0,3; 5,0 и 5,5 % H_2O , соответственно, т. е. в 3...10 раз больших. Как видим, гигросорбционная способность образцов покрытий данной серии существенно выше в сравнении с покрытиями Т-99, изготовленных на основе жидких стекол с $M = 3,2$.

Из рис. 8 также следует, что с появлением второго компонента в бинарных стеклах гигроскопичность покрытий сначала ниже ожидаемой согласно правилу аддитивности. Затем, после достижения минимума, она монотонно возрастает, причем для LiK-серии значительно интенсивнее, чем для LiNa- и NaK-серий. Длительность экспозиции электродов во влажной среде мало влияет на эволюцию сорбционной способности рассмотренных покрытий.

На рис. 9 показано, как изменяется средневзвешенное значение показателя связности в структуре ККА комбинированных жидких стекол в зависимости от концентрации в них второго компонента. Зависимость количества влаги, сорбированной покрытиями, от показателя $Q_{\text{ср}} = \sum x_i Q_i$, приведена на рис. 10.

Сравнивая содержательные аспекты указанных рисунков, можно полагать,

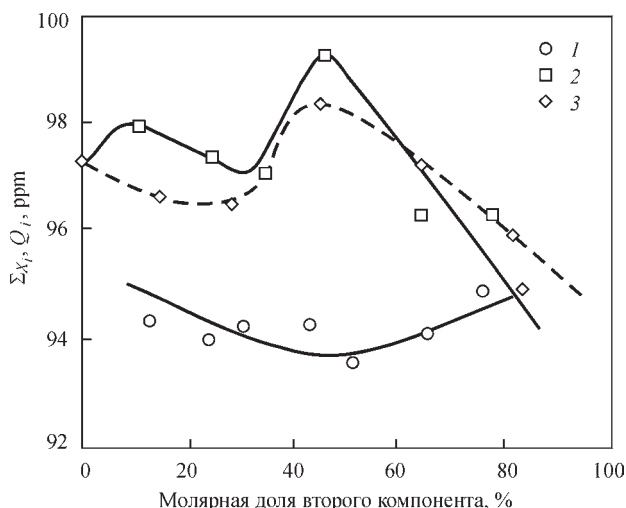


Рис. 9. Изменение $Q_{\text{ср}}$ в зависимости от концентрации второго компонента в NaK (1), LiK (2) и LiNa (3) жидком стекле

Таблица 2. Химический состав, плотность и вязкость Li, Na и K жидких стекол

Вид стекла	Модуль	Массовая доля, %				Свойства стекла		
		SiO ₂	Li ₂ O	Na ₂ O	K ₂ O	ρ , кг·м ⁻³	η , МПа·с	Q^4 , ppm
Li	2,77	25,52	4,60	-	-	1313	325	26,5
Na	3,09	28,54	-	8,40	1,70	1433	325	16,0
K	3,67	26,37	-	1,66	8,93	1422	360	13,5

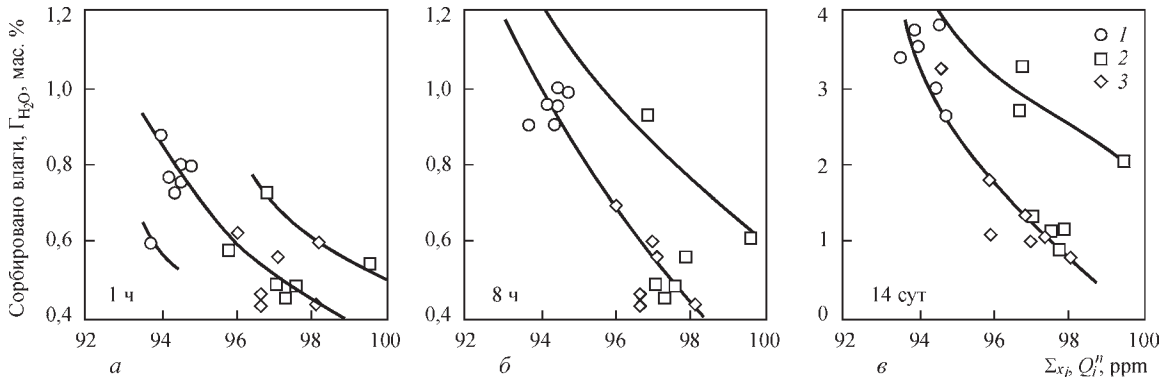


Рис. 10. Зависимость количества влаги, сорбированной покрытием из влажной атмосферы, от Q_m бинарных жидких стекол: а — 1 ч; б — 8 ч; в — 14 сут (обозначения см. на рис. 9)

что разная гигросорбционная способность электродных покрытий, изготовленных при комбинировании соотношений компонентов жидких стекол, действительно определяется не только склонностью к гидратации ионов-модификаторов, но и, в значительной мере, структурой доминирующих в конкретных условиях ККА жидких стекол, которая формируется под определяющим влиянием соответствующих катионов.

При этом изменяется и средневзвешенное значение связности. В результате, как следует из данных, приведенных на рис. 10, гигроскопичность покрытий определяется именно показателем $Q_{ср}$. При этом, как следует из рис. 11, $Q_{ср}$ возрастает вследствие увеличения соотношения $Q^4/Q^2 + Q^3$.

Выпадающие из общей картины результаты относятся к трем жидким LiK-стеклам, в составе которых молярные соотношения $K_2O/Li_2O \geq 1$.

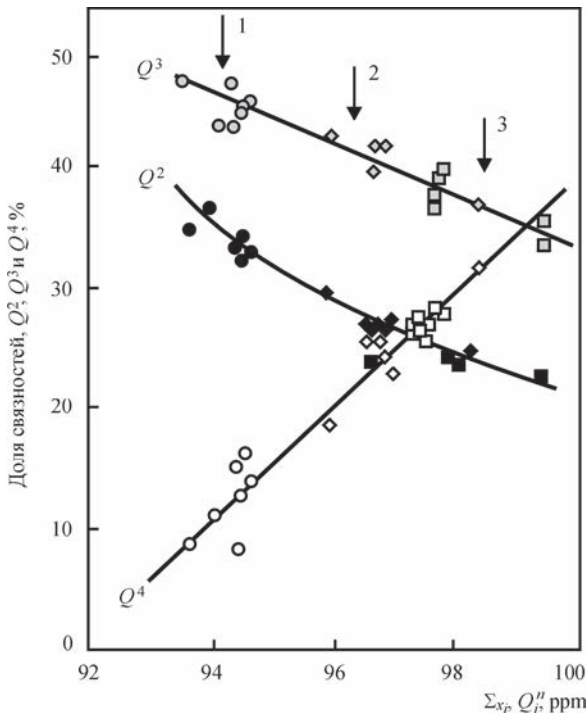


Рис. 11. Изменение соотношения связностей в структуре ККА NaK (стрелка 1), LiNa (стрелка 2) и LiK (стрелка 3) жидких стекол в зависимости от средневзвешенного значения химического сдвига

Полное инкапсулирование гигроскопичных К-катионов высокомодульной кремнекислородной оболочкой при этом становится невозможным.

Влияние катиона-стеклообразователя на гигроскопичность электродных покрытий.

У жидких стекол, результаты исследования которых изложены в предыдущих разделах, кремний является единственным так называемым катионом-стеклообразователем, определяющим в составе образуемых SiO_4^{4-} многообразие пространственных построений. Тонкими регуляторами структуры формирующихся ККА, а следовательно, и физико-химических свойств жидких стекол, используемых в производстве электродов, являются щелочные катионы-модификаторы (Li^+ , Na^+ , K^+ , NH_3^+ и редко — Rb^+ и Cs^+). Даже такой, казалось бы, ограниченный круг модификаторов, значительно расширяет возможности повышения эффективности производства, достижения заданных технических характеристик и показателей качества сварочных электродов.

Действительно, гигроскопичность покрытия можно существенно понизить добавлением гидросиликата аммония в обмазочную композицию или жидкое стекло, обуславливающим повышение его модуля и снижение значение pH [7]. Достижимый при этом уровень гигроскопичности покрытия можно обеспечить повышением температуры прокаливания электродов от 400 до 450 °С, но на это понадобятся большие энергозатраты, чем при введении модифицирующей аммонийной добавки.

В силикатных технологиях для регулирования структуры ККА силикатных расплавов используются модификаторы в виде катионов-стеклообразователей (на основе Al^{3+} , P^{5+} и др.) [18]. Их влияние на структуру ККА может осуществляться разными механизмами, в зависимости от силы соответствующего катиона, находящегося в анионной части модифицирующей добавки. Попадая в силикат, он стремится сформировать свое ближайшее окружение в новой обстановке из не-мостиковых (Q^1 , Q^2), или мостиковых (Q^3 , Q^4) фрагментов.

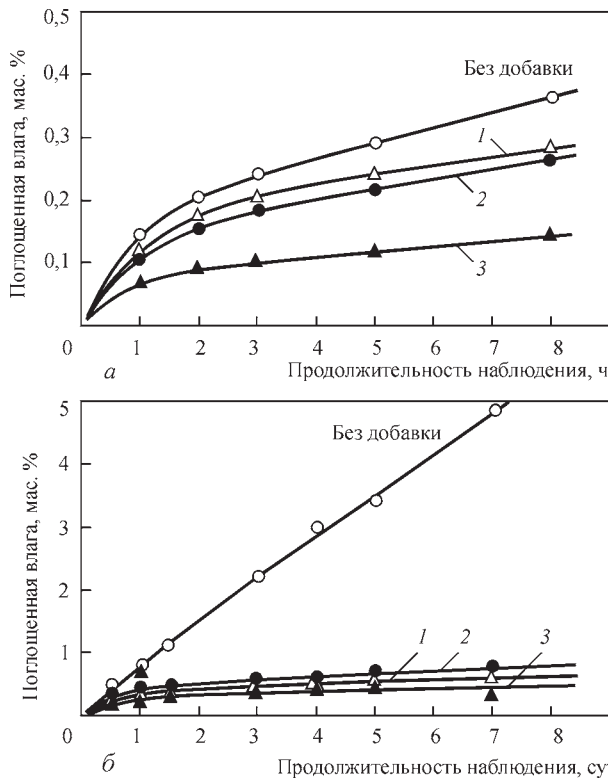


Рис. 12. Сравнение кинетики сорбции влаги обычным и модифицированным электродным покрытием с 0,5 (1), 1,0 (2) и 1,5 % (3) модифицирующей добавки на основе катиона-стеклообразователя. Экспозиция 1 (а) и 14 (б) сут

При этом формируются анионные группировки с разной степенью полимеризации. Те из них, которые образованы более сильными кислотами, будут менее полимеризованы в сравнении с анионными группировками, сформировавшимися с участием более слабых кислот. В любом случае достигается результат значительно больший, чем при использовании катионного модификатора.

На рис. 12 приведены результаты испытаний одной из таких добавок в покрытие опытных электродов УОНИ 13/55. Видно, что гигроскопичность электродного покрытия под ее влиянием понижается в 5...10 раз.

В заключение отметим следующее. Структура ККА междузеренной пленки жидкого стекла в электродном покрытии в ходе его термообработки формируется по поликонденсационному механизму.

Щелочные гидросиликаты обезвоживаются тем глубже, чем дальше молекулы воды, выделившиеся в ходе реакции поликонденсации, остаются в зоне реакции и участвуют в последующих актах поликонденсационного превращения в качестве своеобразного катализатора [19].

Можно предположить, что из разноразмерных модификаций ККА, которые возникают в модифицированных жидких стеклах, образуются плотные, т. е. менее проницаемые для выделяющихся паров воды упаковки, чем упаковки из одинако-

вых по размеру ККА — образований, характерных для немодифицированных жидких стекол.

Следовательно, при глубоком обезвоживании в плотных упаковках, достигается надежнее блокирование крупных, более склонных к гидратации катионов-модификаторов, что повышает гигросорбционную стойкость электродных покрытий, изготовленных на основе комбинированных жидких стекол, в том числе с применением технологических добавок, содержащих модификаторы различной функциональной принадлежности.

Выводы

1. Исследована гигроскопичность покрытий низководородных электродов, изготовленных на основе жидких Li-, Na- и K-стекол, а также на составленных из них бинарных LiNa-, LiK- и NaK-вариантах с различным соотношением содержащихся ионов-модификаторов. Наименьшую гигроскопичность имеют покрытия, изготовленные на основе жидких Li-стекол. Это объясняется доминированием в структуре ККА литиевых жидких стекол фрагментов со связностями Q^4 .

2. Повышение гигроскопичности покрытий с увеличением концентрации в бинарной смеси стекол второго, отличающегося большей плотностью заряда Z/r катиона, не пропорционально его концентрации. Неблагоприятное с точки зрения гигроскопичности влияние Na- или K-компоненты блокируется в бинарных композициях литевой составляющей: при кратковременной экспозиции подавляется влияние преимущественно калиевой, а при длительной также и натриевой компоненты. Натриевая составляющая в составе бинарных жидких NaK-стекол при малых экспозициях блокирует повышение гигроскопичности покрытия, вызванное калиевой компонентой, а при длительных выдержках Na и K составляющие влияют на сорбционную способность покрытия почти в одинаковой степени.

3. Между гигроскопичностью электродных покрытий, с одной стороны, и концентрацией разных форм связностей в ККА бинарных жидких стекол, с другой стороны, имеется тесная взаимосвязь. Чем выше средневзвешенное значение связностей $Q_{cp} = \sum x_i Q_i^n$, тем ниже гигроскопичность покрытия. Это справедливо и для моно- и для бинарных жидких стекол. Действительно, и в том и другом случае гигроскопичность покрытий уменьшается с повышением модуля жидкого стекла, что объясняется увеличением вклада высших форм связности в общую структуру ККА.

4. В бинарных жидких стеклах, в отличие от их монощелочных аналогов, нет статистического распределения ионов-модификаторов. Катионы с меньшим значением Z/r , к примеру, K^+ , занимают

место в окружении высокополимеризированных фрагментов ККА (Q^3 и Q^4), а катион с большим Z/r (Na^+ или Li^+) — в окружении менее полимеризированных ККА, т. е. с большим количеством мостиковых связностей (Q^2 и Q^1). До тех пор, пока катион, более склонный к гидратации «заблокирован» высокомолекулярными, т. е. менее гигроскопичными и менее влагопроницаемыми формами ККА, он, как и окружающий его ККА, мало склонен поглощать влагу и гидратироваться. В результате, между веществным составом бинарных жидких стекол и средневзвешенным значением связностей в структуре ККА нет однозначной связи. Одному и тому же Q_{cp} соответствует более двух число комбинаций Q_i^n , и, соответственно, характеристик жидких стекол и составленных из них наполненных композиций.

5. При кратковременных выдержках эффект блокирования ионов калия «высокомолекулярными» ККА начинает ощущаться при массовой доле Li_2O в смеси с K_2O , в наших опытах равной примерно 30 %, а ионов натрия — при еще меньшей доле. В структуре ККА жидких NaK-стекол преобладают связности Q^2 и Q^3 . Поэтому эффект инкапсулирования проявляется в меньшей мере, а понижение гигроскопичности в минимуме выражается заметнее, чем у взятых для сравнения покрытий на литийсодержащих жидких стеклах.

6. В жидких стеклах с двумя катионами-стеклообразователями катионы также конкурируют за место в структуре ККА, как и катионы-модификаторы. Вызванное такой конкуренцией увеличение неоднородности распределения немостиковых атомов кислорода способствует торможению процесса сорбирования покрытием влаги из атмосферы.

Список литературы/References

- Smith R. (1987) Improved consumables can change shopfloor practice. *Metal construction*, 19, 5, 282–283.
- Barbin L. M. (1977) The new Moisture Resistance Electrodes. *Weld. J.*, 56, 7, 15–19.
- (1983) LMA-a new quality concept for low hydrogen electrodes with low moisture absorption. *Svetsaren* (A welding review), 2, 3–5.
- Almqist G., Budgifvars S., Lindström L. et al. (1983) Some principles for low moisture absorption properties of basic MMA electrodes. *2nd Int. Conf. Offshore Welding Structure. (London 16–18 sept. 1982)*. Abington, pp. 1–6.
- Van NASSAU L. Recent welding consumable improvements providing major handling advantages for offshore fabricators. *Smitweld International Report*, doc N 00774.
- Becker H. von. (1964) Über die Feuchtigkeitsaufnahme, die Auswirkung und die Zweckmässige Rücktrocknung bei Schweisselektroden. *Oerlikon Schweissmitteilungen*, 22, 3, 12–19.
- Marshall F. W., Farrar J. C. M. (1983) Progress in Moisture. Hydrogen Control of Lime-fluorspar and Lime-titania Electrodes. *First International Conference «Developments and Innovations for Improved Welding Production» (13–15 Sept. 1983. Abington)*. London, 28, pp. 1–10.
- Kaljee J. (1978) Hydrogen in weld metal; causes and remedies. *Welding Reporter*, 14, 2, 5–10.
- Kaljee J. (1986) Moisture resistant electrode coating. *FWP Journal*, 26, 1, 29, 30, 32–34, 38, 40.
- Марченко А. Е., Скорина Н. В. (1989) Комбинированные щелочные силикаты в производстве низководородных электродов. *Металлургические и технологические проблемы электродов с основным покрытием: Доклады II Междунар. школы стран-членов СЭВ. София, 1989*. Киев, Наукова думка, 123–130.
- Marchenko, A.E., Skorina, N.V. (1989) Combined alkaline silicates in manufacture of low-hydrogen electrodes. *Metallurgical and technological problems of basic covered electrodes. In: Proc. of 2nd Int. School for Countries-Members of CMEA (Sofia, 1989)*. Kiev, Naukova Dumka, 123-130.
- Явдошин И. Р., Скорина Н. В., Марченко А. Е. и др. (2004) Новые электроды для сварки углеродистых и низколегированных сталей, спрос и предложение. *Сб. докл. III междунар. конференции по сварочным материалам стран СНГ «Сварочные материалы. Разработка. Технологии. Производство. Качество»*. (Днепропетровск, 1–4 июня 2004 г.). Днепропетровск, 64–67.
- Yavdoshchin, I.R., Skorina, N.V., Marchenko, A.E. et al. (2004) New electrodes for welding of carbon and low-alloy steels, demand and supply. *In: Proc. of 3rd Int. Conf. of CIS Countries on Welding Consumables. Development. Technologies. Manufacture. Quality (Dnepropetrovsk, 1-4 June 2004)*. Dnepropetrovsk, 64-67.
- Hirai Y., Minakawa S., Tsuboi J. (1980) IIW Doc II-929-80. *Prediction of Diffusible Hydrogen Content in deposited Metal with basic Type covered Electrodes*.
- ISO 14372:2000 (E) *Welding Consumables – Determination of Moisture Resistance of Manual Metal arc welding electrodes by Measurement of Diffusible Hydrogen*.
- Марченко А. Е., Скорина Н. В. (1981) Синергизм вязкости комбинированных жидких стекол и свойства электродных обмазочных масс. *СЭВ. Информ. материалы*, 2 (20), 109–115.
- Marchenko, A.E., Skorina, N.V. (1981) Synergism of toughness of combined liquid glasses and properties of electrode compounds. *СМЕА: Информ. Материалы*, 2(20), 109-115 [in Russian].
- Марченко А. У., Скорина Н. В. (1987) Водоудерживающая способность щелочных силикатов и ее влияние на дегидратацию электродных покрытий. *Там же*, 1(31), 43–60.
- Marchenko, A.E., Skorina, N.V. (1987) Water-retaining ability of alkaline silicates and its effect on dehydration of electrode coatings. *Ibid.*, 1(31), 43-60 [in Russian].
- Schleyer W. L. (1970) Welding electrodes and the properties of soluble silicates. *Weld. J.*, 49, 2, 918–924.
- Марченко А. Е., Скорина Н. В., Киселев М. О., Трачевский В. В. (2017) Исследование структуры жидких стекол для сварочных электродов методом ядерной магнитной спектроскопии. *Автоматическая сварка*, 1, 49–53.
- Marchenko, A.E., Skorina, N.V., Kiselev, M.O., Trachevsky, V.V. (2017) Nuclear magnetic spectroscopy study of the structure of liquid glasses for welding electrodes. *The Paton Welding J.*, 1, 41-45.
- Анфилогов В. Н., Быков В. Н., Осипов Ф. Ф. (2005) *Силикатные расплавы*. Москва, Наука.
- Anfilogov, V.N., Bykov, V.N., Osipov, F.F. (2005) *Silicate melts*. Moscow, Nauka [in Russian].
- Dent Glasser L. S., Lee C. K. (1971) Drying of Sodium Silicate Solution. *Journal of Appl. Chemical Biotechnology*, 21, 5, 127–133.

ЗАЛЕЖНІСТЬ ГІГРОСКОПІЧНОСТІ ПОКРИТТІВ НИЗЬКОВОДНЕВИХ ЕЛЕКТРОДІВ ВІД СКЛАДУ ТА СТРУКТУРИ РІДКОГО СКЛА

А. Ю. МАРЧЕНКО¹, В. В. ТРАЧЕВСЬКИЙ², М. В. СКОРИНА¹

¹ІЕЗ ім. С. О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

²Технічний центр НАН України. 04070, м. Київ, вул. Покровська, 13. E-mail: tracev@imp.kiev.ua

Викладено результати досліджень гігроскопічності покриттів низьководневих електродів в залежності від складу рідкого Li-, Na- і K-скла, а також їх бінарних сумішей, які інтерпретовані з позицій еволюції кремнекисневої структури в процесі склоутворення під впливом зміни виду та співвідношення катіонів лужних металів. Проведена діагностика структурно-функціональної самоорганізації кремнекисневих аніонів в складі рідкого скла здійснена на основі даних ядерного магнітного резонансу. Було використано спектри ядерного магнітного резонансу ²⁹Si. Узагальнені дані розглянуто з урахуванням домінування механізму поліконденсації. Виявлена кореляція між показниками гігроскопичності покриттів і співвідношенням місткових Q^4 , Q^3 , Q^2 та немісткових Q^1 зв'язностей в структурі кремнекисневих аніонів. Бібліогр. 19, табл. 2, рис. 12.

Ключові слова: дугове зварювання, зварювальні електроди, гігроскопічність покриття, технологія виготовлення, рідке скло, структура рідкого скла, спектроскопія ядерного магнітного резонансу

DEPENDENCE OF HYGROSCOPICITY OF COATINGS OF LOW-HYDROGEN ELECTRODES ON COMPOSITION AND STRUCTURE OF LIQUID GLASS

A. E. MARCHENKO¹, V. V. TRACHEVSKIY², N. V. SKORINA¹

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

²Technical Center of the NAS of Ukraine, 13 Pokrovskaya str., 04070 Kyiv, Ukraine. E-mail: tracev@imp.kiev.ua

Presented were the results of hygroscopicity of coatings of low-hydrogen electrodes depending on composition of liquid Li-, Na- and K-glasses as well as their binary mixtures, which were interpreted from point of view of evolution of silicon-oxygen structure in process of glass formation under effect of changing type and relationship of cations of alkali metals. Carried diagnostics of structure-functional self-organization of silicon-oxygen anions in composition of liquid glasses was performed based on data of nuclear magnetic resonance. The spectra of nuclear magnetic resonance ²⁹Si were used. Generalized data were considered taking into account dominance of polycondensation mechanism. Correlation between the indices of coating hygroscopicity and relationship of bridging and Q^4 , Q^3 , Q^2 and nonbridging bonds in structure of silicon-oxygen anions were determined. 19 Ref., 12 Tabl., 12 Fig.

Keywords: arc welding, welding electrodes, coating hygroscopicity, production technology, liquid glass, structure of liquid metal, spectroscopy of nuclear magnetic resonance

Поступила в редакцію 30.10.2018

НОВА КНИГА

Словник-довідник зі зварювання та склеювання пластмас / За ред. Б.Є. Патона. Київ: Наукова думка, 2018. — 368 с.

Словник-довідник є доповненим перекладом «Словаря-справочника по сварке и склеиванию пластмасс» видання 1988 р. Він містить близько 1,5 тис. термінів зі зварювання та склеювання полімерних матеріалів, а також споріднених галузей. Наведено переклади термінів англійською та російською мовами. Додано широкий ряд термінів, що стосуються сучасних тенденцій та знань в галузі з'єднання матеріалів та формування виробів з них, їх випробовування і використання. Найбільшу увагу приділено термінам та їх тлумаченням зі структурних, механічних та теплових процесів, які відбуваються під час різних способів зварювання полімерних матеріалів, технологіям та обладнанню для зварювання пластмас і склеювання різних матеріалів. Також наведені терміни, які описують явища і процеси, що відбуваються при експлуатації зварних та клейових з'єднань, та ті, які належать до методів дослідження і контролю якості з'єднань.

Для наукових та інженерно-технічних працівників, викладачів та студентів технічних вузів і технікумів, а також спеціалістів зварювального виробництва.



ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ ШВОВ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

А. Д. РАЗМЫШЛЯЕВ¹, М. В. АГЕЕВА²

¹ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет». 87500, г. Мариуполь, ул. Университетская, 7.
E-mail: razmyshljaev@gmail.com

²Донбасская государственная машиностроительная академия. 84313, г. Краматорск, ул. Академическая, 72.
E-mail: maryna_ah@ukr.net

Обзор публикаций по металлургическому и литейному производству показал, что многие авторы при анализе свойств жидких металлов и сплавов исходят из представлений о кластерном их строении. Кластерное строение жидкости является гипотезой, но она подтверждена исследованиями дифракций отраженных от ее поверхности рентгеновских лучей, электронов и нейтронов. В работе рассмотрены существующие представления о том, что кластер — это кристаллоподобное сгущение атомов. Вокруг кластеров существует разупрочненная зона, которая состоит из неупорядоченных атомов, объем которой не превышает 3...5 %, и это обеспечивает жидкотекучесть многих расплавов. Авторы публикаций достигли успехов в объяснении формирующейся структуры слитков, исходя из кластерного механизма процесса кристаллизации жидких металлов и сплавов. Авторы данной работы высказали предположение, что перегретый жидкий металл в головной части ванны, имеющей более мелкие кластеры, перемещается под действием магнитных полей в хвостовую ее часть, и обеспечивает измельчение первичной структуры металла шва. Библиогр. 20, рис. 1.

Ключевые слова: сварка, сварочная ванна, магнитное поле, кластер, структура шва, кристаллизация

Использование управляющих воздействий продольных магнитных полей (ПРМП), либо поперечных магнитных полей (ПОМП) при дуговой сварке повышает производительность процесса, измельчает структуру швов, повышает служебные характеристики сварных изделий [1–3]. В работе [4] показано, что существует много гипотез о механизме измельчения структуры швов при сварке с управляющими магнитными полями (МП). Измельчение структурных составляющих металла швов при сварке с воздействием МП, вероятно, происходит на стадии их первичной кристаллизации. Известные работы о механизме кристаллизации металла в процессе его затвердевания относятся к литейным процессам, либо к получению сверхчистых монокристаллов [5, 6]. Условия кристаллизации металла в сварочной ванне, как известно [7, 8], отличаются от условий, приведенных в работах [5, 6]. Следует также отметить, что в работах [5, 6] и в работах [7, 8] процесс кристаллизации расплавов представляется как процесс присоединения атомов расплавов к твердой подложке. Во всех известных работах, краткий обзор которых приведен в работе [4], процесс кристаллизации различных металлов и сплавов рассматривают из представлений, высказанных в работах [5–8]. Механизм роста кристаллов представляется как присоединение атомов вещества из расплава к твердой фазе (подложке), т. е. как диффузионный процесс. При этом процесс кристаллизации трактуется как периодический, с остановками в период

выделения скрытой теплоты кристаллизации. На границе затвердевающего металла ванны с жидким металлом образуется тонкая твердо-жидкая прослойка, в которой развиваются диффузионные процессы (движение атомов из расплава к твердому закристиализовавшемуся металлу шва). В этом слое выделяют участок концентрационного уплотнения δ [8] и рассматривают диффузионные процессы в этом участке (δ), а также в жидкой и твердой фазе [5, 6]. Такой подход использован во всех работах, которые посвящены изучению воздействия МП при дуговой сварке на измельчение структуры швов.

Следует отметить, что кристаллизация металла сварных швов имеет сходство с кристаллизацией слитков при обычных процессах литья в литейном и металлургическом производствах. В настоящее время имеется огромное число работ (исследований) по литейному и металлургическому производству, в которых по-иному рассматривается механизм кристаллизации слитков.

Целью работы является анализ литературных данных о кластерной модели строения жидких металлов и сплавов применительно к кристаллизации металла ванны при дуговой сварке с воздействием управляющих магнитных полей.

В работах по кристаллизации слитков исходят из модели кластерного строения жидких металлов и сплавов. Данные этих работ, на наш взгляд, являются перспективными при рассмотрении кристаллизации швов при дуговой сварке с воздействием МП.

Рассмотрим подробнее существо вопроса. Путем дифракции отраженных от жидких металлов и сплавов (в том числе и на основе железа) рентгеновских лучей, электронов и нейтронов установлено, что в жидкости имеются кристаллоподобные составляющие — кластеры [9–14].

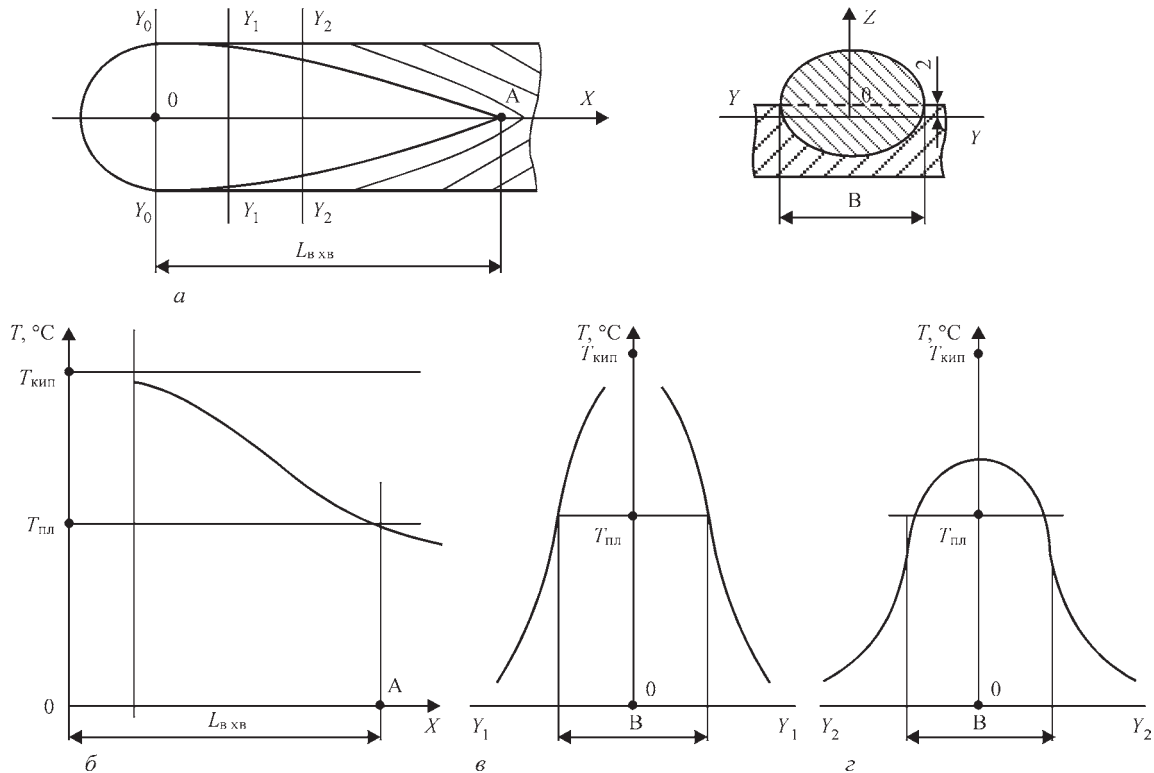
Кластер — это кристаллоподобное сгущение атомов [13]. Кластеры возникают при плавлении кристаллических тел [9, 10]. Время жизни кластеров составляет $10^{-7} \dots 10^{-8}$ с, которое гораздо больше периода колебания атомов в кристаллической решетке ($10^{-14} \dots 10^{-13}$ с). Кластеры — это короткоживущие, но достаточно устойчивые группировки атомов [10, 11]. Вокруг кластеров существует разупрочненная зона (т. е. атомы жидкого металла). В одном кластере жидкого металла (сплава на основе железа) порядка $10^2 \dots 10^3$ атомов [12, 13]. Объем разупрочненной зоны составляет для многих жидких металлов и сплавов порядка 2...5 % [9, 10, 19]. Разупрочненная зона является промежуточной средой, посредством которой атомы из одних кластеров переходят к другим [12]. В литературе по литейному и металлургическому производству подробно рассматриваются процессы «твёрдо-жидкий металл», исходя из гипотезы о кластерном строении жидкого металла [9, 14–18].

Механизм кристаллизации жидких металлов рассматривается следующим образом. Исходят из того, что в жидкости уже имеются кристаллоподобные группировки (кластеры). Убедительно показано, что ранее использовавшийся диффузи-

онный механизм кристаллизации не выдерживает критики, поскольку процесс кристаллизации металла протекает примерно на 2-3 порядка быстрее, чем скорость диффузии (самодиффузии) атомов в жидких металлах. Диффузионный механизм кристаллизации предполагает, что на твердой фазе образуется моноатомный слой твердой фазы. Однако доказано, что при кристаллизации атомы образуют ступеньку, величина которой на несколько порядков больше, чем атом [9]. Элементарным кирпичиком роста кристаллов является некоторое более крупное образование, чем атом, а именно: кластер [9, 10]. Рост кристаллов за счет присоединения кластеров к твердой фазе не исключает, что одновременно происходит и присоединение отдельных атомов. Но этот процесс является как бы дополнительным [10].

В работах [15–19] теоретически обоснован указанный механизм кристаллизации. В диссертации [18] математическим моделированием подтвержден этот механизм кристаллизации сплавов на основе железа. Получаемые модельные структуры объясняются наличием двух стадий процесса кристаллизации сплавов. На первой стадии происходит формирование кластеров в пограничном слое, а на второй — последующее их присоединение к кластерно-шероховатой поверхности [18].

На наш взгляд, на основе представлений о строении жидких металлов (сплавов) в виде кластеров возможно объяснить механизм влияния внешних (управляющих) МП на процесс кристал-



Вид сварочной ванны (а) и схема распределения температуры в сварочной ванне ($Z=0$): б — вдоль ванны; в — вдоль оси Y_1 ; г — вдоль оси Y_2 - Y_2

лизации расплава в ванне при дуговой сварке следующим образом. Как известно, жидкий металл в головной части ванны при сварке сплавов на основе железа имеет температуру не менее 2500 °С (под дугой эта температура достигает температуры кипения — $T_{\text{кип}}$). Температура металла плавно снижается в направлении к хвостовой части ванны до температуры плавления — $T_{\text{пл}}$ ($T_{\text{пл}} \approx 1500$ °С). Измеренные погружением термопар в жидкий металл ванны при дуговой сварке на глубину 2 мм от поверхности пластины данные работы [20] о температуре жидкого металла в ванне схематично приведены на рисунке. Наблюдается перепад (градиент) температуры жидкого металла в направлении к хвостовой части ванны (рис. б). Еще в большей степени наблюдается перепад (градиент) температур в поперечных сечениях ванны (рис. в, з). Следует отметить, что аналогичный перепад температур имеет место в направлении ко дну ванны (вдоль оси OZ по рис. а). То есть процесс кристаллизации жидкого металла ванны начинается на боковых стенках и у дна ванны, и продвигается в хвостовую часть ванны (до т. А на рис. а, б, где $T = T_{\text{пл}}$). Как убедительно показано в работе [1] при сварке с воздействием знакопеременного ПРМП (и ПОМП по нашим исследованиям) перегретый почти до $T = T_{\text{кип}}$ под дугой жидкий металл ванны из головной части периодически перемещается к хвостовой ее части, а потом — к головной части ванны. В работе [1] установлено, что перепад температур перед фронтом кристаллизации при некоторых частотах ПРМП достигал 350 °С.

В работах [9, 10, 12] установлено, что при перегреве жидкого металла в нем увеличивается число кластеров, а их размеры уменьшаются. Учитывая данные работ [9, 10, 14-19] о кластерном механизме кристаллизации и конкурентном их присоединении к твердой подложке ванны это должно привести к измельчению первичной структуры металла шва при сварке с воздействием МП, что и наблюдали в работах [1-4].

Выводы

1. Анализ публикаций по металлургическому и литейному производству показал, что многие авторы поддерживают гипотезу о кластерном строении жидких металлов, которое установлено дифракцией от их поверхности рентгеновских лучей, электронов и нейтронов. При этом структура слитков формируется с участием кластеров в жидком металле.

2. Высказано предположение, что при дуговой сварке с воздействием управляющих магнитных полей, когда перегретый жидкий металл из головной части ванны, имеющей более мелкие кластеры, периодически достигает фронта кри-

сталлизации в хвостовой ее части и обеспечивает измельчение первичной структуры швов.

Список литературы

1. Черныш В. П., Кузнецов В. Д., Брисман А. Н. и др. (1983) *Сварка с электромагнитным перемешиванием*. Киев, Техника.
2. Razmyshlyayev A. D., Ahieieva M. V. (2014) Features of arc surfacing process in a longitudinal magnetic field. *Applied Mechanics and Materials*, 682, 313–318.
3. Размышляев А. Д., Выдмыш П. А., Агеева М. В. (2017) *Автоматическая электродуговая сварка под флюсом с воздействием внешнего магнитного поля*. Мариуполь, Изд-во ПГТУ.
4. Размышляев А. Д., Агеева М. В. (2018) О механизме измельчения структуры металла шва при дуговой сварке с воздействием магнитных полей (Обзор). *Автоматическая сварка*, 3, 29–33.
5. Чалмерс Б. (1968) *Теория затвердевания*. Москва, Металлургия.
6. Флемингс М. (1977) *Процессы затвердевания*. Москва, Мир.
7. Багрянский К. В., Добротина З. А., Хренов К. К. (1976) *Теория сварочных процессов*. Киев, Вища школа.
8. Фролов В. В. (1988) *Теория сварочных процессов*. Москва, Высшая школа.
9. Гаврилин И. В. (2000) *Плавление и кристаллизация металлов и сплавов*. Владимир, Владимир. гос. ун-г.
10. Толочко Н. К., Андрушевич А. А. (2013) Кластерная структура расплавов. *Литье и металлургия*, 4 (73), 59–63.
11. Жукова Л.А. (2002) *Строение металлических жидкостей*. Учебное пособие. Екатеринбург, УГТУ-УПИ.
12. Скребиц А. М., Иванов Г. А., Секачев А. О. и др. (2006) Новый способ определения числа атомов в кластере металлического расплава. *Вісник Приазовського державного технічного університету*. Зб. наук. пр., 16, сс. 1–7.
13. Скребиц А. М. (2009) Структура жидких металлов в интервале температуры ликвидус-кипения. *Процессы литья*, 3, 3–7.
14. Найдек В. Л., Мельник С. Г. (2015) Кластеры – структурные составляющие металлических расплавов. *Металл и литье Украины*, 7 (266), 21–33.
15. Аганаев Ю. П. (2014) Формирование структуры металлических сплавов в условиях энергетической неоднородности поверхности раздела фаз при периодической кристаллизации. *Современные наукоемкие технологии*, 9, 6–10.
16. Стеценко В. Ю. (2015) Кластеры в жидких металлах – стабильные нанокристаллы. *Литье и металлургия*, 2 (79), 33–35.
17. Марукович Е. И., Стеценко В. Ю. (2015) Основные трудности современной теории металлических расплавов. Пути преодоления. *Литье и металлургия*, 3 (84), 24–27.
18. Иванов И. А. (2007) Кинетический фазовый переход при кристаллизации металлов из расплава: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Москва.
19. Деев В. Б., Цепорина С. А., Селянин И. Ф., Приходько О. Г. (2003) Некоторые особенности кластерной модели металлических расплавов. *Ползуновский альманах*, 3, 141–149.
20. Фруммин И. И. (1961) *Автоматическая электродуговая наплавка*. Харьков, Изд-во лит-ры по черной и цветной металлургии.

References

1. Chernysh, V.P., Kuznetsov, V.D., Briskman, A.N. et al. (1983) *Welding with electromagnetic stirring*. Kiev, Tekhnika [in Russian].
2. Razmyshlyayev, A.D., Ahieieva, M.V. (2014) Features of arc surfacing process in a longitudinal magnetic field. *Appl. Mech. Mater.*, 682, 313-318.

3. Razmyshlyayev, A.D., Vydmysh, P.A., Ageeva, M.V. (2017) *Automatic submerged-arc welding under action of external magnetic field*. Mariupol, PGTU [in Russian].
4. Razmyshlyayev, A.D., Ageeva, M.V. (2018) On mechanism of weld metal structure refinement in arc welding under action of magnetic fields (Review). *The Paton Welding J.*, **3**, 25-28.
5. Chalmers, B. (1968) *Theory of solidification*. Moscow, Metallurgiya [in Russian].
6. Flemings, M. (1977) *Processes of solidification*. Moscow, Mir [in Russian].
7. Bagryansky, K.V., Dobrotina, Z.A., Khrenov, K.K. (1976) *Theory of welding processes*. Kiev, Vyshcha Shkola [in Russian].
8. Frolov, V.V. (1988) *Theory of welding processes*. Moscow, Vyschaya Shkola [in Russian].
9. Gavrilin, I.V. (2000) *Melting and solidification of metals and alloys*. Vladimir, Vladimir. Un-t [in Russian].
10. Tolochko, N.K., Andrushevich, A.A. (2013) Cluster structure of melts. *Litio i Metallurgiya*, **4**(73), 59-63 [in Russian].
11. Zhukova, L.A. (2002) *Structure of metallic liquids: Manual*. Ekaterinburg, UGTU-UPI [in Russian].
12. Skrebtsov, A.M., Ivanov, G.A., Sekachev, A.O. et al. (2006) New method for determination of number of atoms in metal melt cluster. *Visnyk Pryazov. DTU: Transact.*, **6**, 1-7.
13. Skrebtsov, A.M. Structure of liquid metals in liquidus-boiling temperature range. *Protsessy Litiya*, **3**, 3-7 [in Russian].
14. Najdek, V.L., Melnik, S.G. (2015) Clusters – the structural constituents of metal melts. *Metall i Litio Ukrainy*, **7**(266), 21-33 [in Russian].
15. Aganaev, Yu.P. (2014) Formation of structure of metal alloys under conditions of energy inhomogeneity of phase interface in periodic solidification. *Sovrem. Naukoyomkie Tekhnologii*, **9**, 6-10 [in Russian].
16. Stetsenko, V.Yu. (2015) Clusters in liquid metals – stable nanocrystals. *Litio i Metallurgiya*, **2**(79), 33-35 [in Russian].
17. Marukovich, E.I., Stetsenko, V.Yu. (2015) Main difficulties of modern theory of metal melt. Ways to overcome. *Litio i Metallurgiya*, **3**(84), 24-27 [in Russian].
18. Ivanov, I.A. (2007) Kinetic phase transition in solidification of metals from melt. In: *Syn. of Thesis for Cand. of Phys.-Math. Sci. Degree*. Moscow [in Russian].
19. Deev, V.B., Tsetsorina, S.A., Selyanin, I.F., Prikhodko, O.G. (2003) Some peculiarities of cluster model of metal melts. *Polzunovskiy Almanakh*, **3**, 141-149 [in Russian].
20. Frumin, I.I. (1961) *Automatic electric arc surfacing*. Kharkov, Lit-ra po Chyornoj i Tsvetnoj Metallurgii [in Russian].

ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА КРИСТАЛІЗАЦІЮ ШВІВ ПРИ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ

О. Д. РАЗМИШЛЯЄВ¹, М. В. АГЕЄВА²

¹ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет». 87500, м. Мариупіль, вул. Університетська, 7.

E-mail: razmyshljaev@gmail.com

²Донбаська державна машинобудівна академія. 84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.

E-mail: maryna_ah@ukr.net

Огляд публікацій з металургійного і ливарного виробництва показав, що багато авторів при аналізі властивостей рідких металів і сплавів виходять з уявлень про кластерну їх будову. Кластерна будова рідини є гіпотезою, але вона підтверджена дослідженнями дифракції відбитих від її поверхні рентгенівських променів, електронів і нейтронів. В роботі розглянуті існуючі уявлення про те, що кластер — це кристалоподібні згущення атомів. Навколо кластерів існує знеміцнена зона, яка складається з неупорядкованих атомів, обсяг якої не перевищує 3...5 %, і це забезпечує рідкоплинність багатьох розплавів. Автори публікацій досягли успіхів в поясненні структури злитків, що формується, виходячи з кластерного механізму процесу кристалізації рідких металів і сплавів. Автори даної роботи висловили припущення, що перегрітий рідкий метал в головній частині ванни, що має більш дрібні кластери, переміщується під дією магнітних полів в хвостову її частину, і забезпечує подібнення первинної структури металу шва. Бібліогр. 20, рис. 1.

Ключові слова: зварювання, зварювальна ванна, магнітне поле, кластер, структура шва, кристалізація

EFFECT OF MAGNETIC FIELD ON CRYSTALLIZATION OF WELDS IN ARC WELDING

A.D. RAZMYSHLJAEV¹, M.V. AGEJEVA²

¹State Higher Education Institute Pryazovskiy State Technical University. 7 Universitetskaya Str., 87500, Mariupil, Ukraine.

E-mail: razmyshljaev@gmail.com

²Donbass State Machine Building Academy. 72 Akademicheskaya Str., 84313, Kramatorsk, Ukraine.

E-mail: maryna_ah@ukr.net

A review of publications on metallurgical and casting industry showed that analyzing the properties of liquid metals and alloys, many authors proceed from the notions of their cluster structure. The cluster structure of the liquid is a hypothesis, but it is confirmed by investigations of diffractions of X-rays, electrons and neutrons reflected from its surface. The work considers the existing notions about the fact, that a cluster is a crystal-like concentration of atoms. Around the clusters a softening zone exists, which consists of disordered atoms, the volume of which does not exceed 3...5 %, and this provides the fluidity of many melts. The authors of publications achieved successes in explaining the forming structure of ingots, based on the cluster mechanism of the process of crystallization of liquid metals and alloys. The authors of this work suggested that overheated molten metal at the head part of the pool, which has smaller clusters, moves under the action of magnetic fields to its tail part, and provides a refinement of the primary structure of the weld metal. 20 Ref., 1 Fig.

Keywords: welding, weld pool, magnetic field, cluster, weld structure, crystallization

Поступила в редакцію 23.10.2018

ROBOTIC WELDING ON TUBE NODES

S. KEITEL¹, U. MÜCKENHEIM¹, U. WOLSKI¹, S. LOTZ¹, J. MÜGLITZ², T. SIGMUND³¹SLV Halle GmbH, Halle, Germany²ZIS Industrietechnik GmbH, Meerane, Germany³Ibs Automation GmbH, Chemnitz. E-mail: mail@slv-hall.de

Hollow-profile structures are significantly more stable than structures made using open profiles, which is the main reason for their use in truss and truss-like structures. The node intersections of such structures requires three-dimensional curved welded joints. Small and medium-sized enterprises usually weld tubular frame and truss structures manually, which is highly time-consuming and cost-intensive. In addition, this method requires personnel with corresponding qualifications to carry out the work as the welders need to adapt to constantly changing conditions in weld preparation and welding position, which obviously requires intensive training. Replacing this manual activity by mechanised welding processes would provide great relief to welders. 1 Ref., 2 Tabl., 8 Fig.

Keywords: hollow-profiles, robotsystem, sensor, MAG, productivity; 3D-welding; 3D-cutting

Introduction. One-off production still dominates in steel construction as there is hardly any standardisation in joints as applies in other applications, such as pipeline construction. This has kept series production on hollow profile nodes out of the focus in research and development. However, the situation has changed in recent years especially due to developments in offshore wind farms. These structures have frequently repeating joints at the nodes, so a process would be conceivable involving prefabricated nodes with beams welded in between the nodes on site using orbital welding processes. Node prefabrication using the corresponding equipment and manipulation automation would be realistic in view of the small size that nodes occupy compared to the overall structure. Even so, tube node joint welding has so far only been fully mechanised to a limited extent in practice. The equipment is almost only programmed using teach-in methods. Technological limits exist in applications such as those involving multilayer welds and excessive tolerances in semi-finished structures, especially in fully mechanised root welds. Hollow profile prefabrication, on the other hand, involves CNC-controlled thermal cutting using offline programming.

This was the point of focus in the research project, which used theoretical studies, systematisation, welding process development, software customisation, and experimental production on a test rig for industrial implementation towards developing a decision-making basis with presentable reference solutions.

Defining the general conditions.

Tube node geometries and dimensions. The studies included lattice boom structures in crane construction, tube nodes in vehicle construction and nodes in offshore constructions. These industries all share similar node structures, albeit in varying dimensions. Diameters range from 40 mm to 300 mm

in typical structures, with wall thicknesses varying from around 2 to 16 mm.

All the nodes shared a full joint to the socket on the entire wall thickness with added fillet welds. The following materials and tube dimensions were selected for the nodes as examples based on offshore construction applications:

- Main tube: Diameter 406.4 mm x 10 mm;
- socket: Diameter 273 mm x 16 mm
- Material: S355
- Oblique joint: 45°, T-joint: 90°
- Bevel angle: 50°

Weld preparation. Flame or plasma cutting may be used on tube sections in the offshore industry due to the materials and wall thicknesses used. Autogenous flame cutting is usually used in this thickness range, and was also used in the studies. The main reason for that is that flame cutting is suitable for very large cutting angles of up to 65°. Machining processes were also considered in weld preparation, beginning with considering a possible saving in costs especially with thin walls by eliminating the reworking required on thermally cut surfaces and higher accuracy of fit between the components to be joined, even with the increased costs of thin walls. Machining would reduce tolerances to about ± 0.5 mm as compared to about ± 2 mm for flame cutting sockets at diameters of 273 mm. Sockets cut at angles of 90° and 60° to the main tube were first flame-cut at a dimensional tolerance of 5 mm, and then machined down. This involved setting the main tube contour at 3 mm away from the nominal inner diameter of the socket to achieve a high degree of accuracy, rather than at the inner diameter itself.

The selected K-node was shaped as a full joint throughout the largest part. The intersection contour in the remaining portion was joined using a multilayer fillet weld, but did not cover the whole

material thickness of the socket. In contrast, the double T-node required a full joint around the whole circumference.

Welding processes, additives and auxiliaries. MAG welding (135) was used for deposition rates and suitability for difficult welding positions in agreement with representatives from industry. The intersection contour and frequent variations in roundness in the tubes cause different gap dimensions in positioning the connecting tubes to the main tube. One of the project's areas of focus was therefore to study automated root-run welding on varying gap widths. A number of process variants available on the market may be suitable for this problem, which required research. Several process control options were available using a suitable MIG/MAG power source from EWM. The studies were limited to one power source manufacturer so as to ensure the same equipment in the studies at Halle and on the larger tube nodes at the project partner ibs Automation GmbH in Chemnitz. Welding additive: DIN EN ISO 14341 – A – G4Si1; diameter 1.2 mm Inert gas: DIN EN ISO 14175 – M21 – ArC – 18; 15 l/min.

Design and construction of a test rig. Considerations on applicable component geometries included accessibility during welding, working space and load capacities of potentially suitable robots. Another important point was component positioning depending on weld characteristics with the various component geometries.

These general conditions led to the test rig design as shown in Fig. 1.

- KR 15/2 robot with 15 kg load capacity
- One manipulator with 5 m lift to move the robot
- Manually movable and fixable DKP-400 rotary tilting table on a linear axis positioned before the manipulator
- One manually movable and fixable roller block on the linear axis
- CNC control for the nine synchronised movable axes connected to a laser triangulation sensor for weld tracking.

The robot was equipped with Sinumerik 840D SolutionLine CNC control as options for integrating

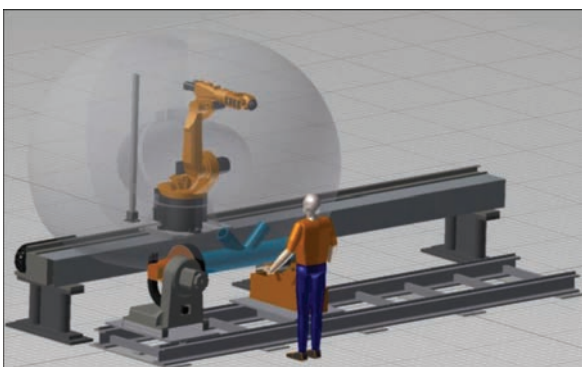


Fig. 1. Test rig design with tube nodes



Fig. 2. Partial view of the robot system

sensor systems, and therefore data connections to the tube blanks. CNC control has a more open structure for the integration required compared to robot controllers. The arrangement of the tilt-and-turn table's rotation axis in the lower part of the work space of the robot and the resulting steep angle of the robot's forearm minimised the risk of collision with the component. Apart from that, the main tube was rotated around its central axis on tracking the weld contour, so the contour on the intersection was effectively welded in a single plane allowing the horizontal rotated welding position.

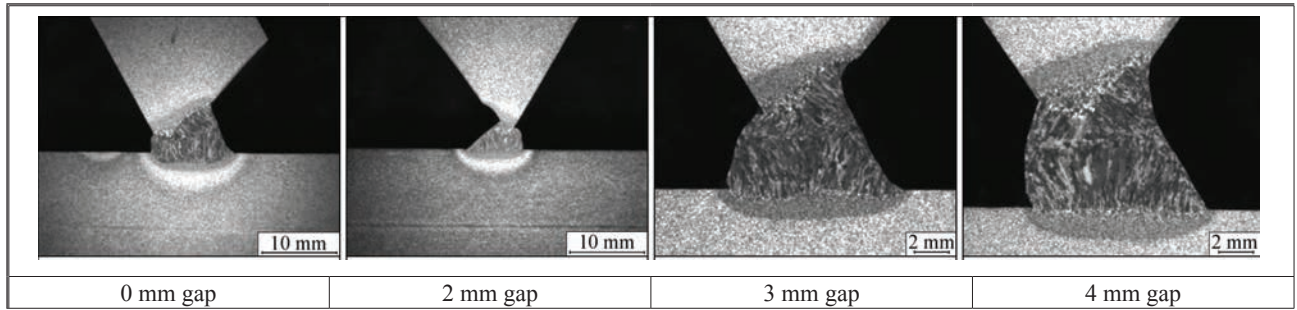
A fixed station with monitor, keyboard, mouse and a machine control panel and a hand-held controller as alternative options are available for CNC operation. An interface controller includes, among other things, safety components for an external emergency-stop circuit and access protection for the work space using a light curtain in automatic mode. Fig. 2 shows a partial view of the system with the control components.

Developing welding technologies. Initial welding tests on 20 mm linear oblique weld samples using bevel-groove weld preparation alongside the development phase of the robot system were carried out with a 60° flame angle and 50° bevel angle for parameter determination on varying gap widths on a three-axis portal in horizontal rotated welding position. Gap widths of around 1 to 2.5 mm were bridged using a stringer bead root weld, but existing technology (standard process, no pulsing) was unreliable at welding root gaps of 3 mm. The root was unevenly welded through in parts; we were unable to weld a secure joint onto the chamfered side of the metal sheet. This bevel-groove weld preparation posed increased risk of incomplete fusion

Table 1. Process parameters determined for oblique joint samples (pulsed root)

Gap, mm	I_s , A	U_s , V	v_D , m/min	v_s , cm/min	Comment
0	270-280	30,0	9,3	45	Stringer bead
2	140-150	23,0	4,5	40	Stringer bead
3	140-150	23,0	4,5	16	0,8 s pulse, 1,5 mm amplitude
4	140-150	23,0	4,5	11	0,8 s pulse, 3,0 mm amplitude

Table 2. Macrosections for the root weld using the pulsed MAG process



at the root. After starting up the robot work station and connecting a suitable power source using a suitable interface, we made more attempts on a 4 mm gap using methods including the pulse-controlled process and ColdArc light arc. The study focused on determining the parameters for the root weld up to a gap of 4 mm. Samples with gaps of up to 2 mm were still welded wire oscillation, while the torch required oscillation on gaps of 3 mm. We were able to determine suitable parameters for intermediate and outer layers in the preliminary tests on the three-axis portal. In summary, the pulse process proved to be the most suitable root-welding method as shown by detectable level of reliability in edge fusion. The process parameters ultimately defined for the root welds are listed in Table 1. The following Table 2 shows the macrosections for the root welds using the MAG pulse process. Wire oscillation is advisable for reliable fusion on the base plate or tube with root gaps of more than 2 mm. In summary, we opted for the pulse process for the root, intermediate and cover layers in the experiments on the tube nodes.

Control and sensor designs. The robot system’s control concept was based on Sinumerik 840D SolutionLine CNC control with Sinumerik Operate 4.7 and Sinamics S120 drive technology from Siemens. These components were designed for operation with a KR15/2 robot and DKP-400 tilt-and-turn table.

The whole approach includes a sensor system consisting of an S7 laser triangulation sensor and a sensor computer from Falldorf. Together with Inspector software, this proved suitable for weld tracking and inspection. Weld tracking used the functions on the gap sensor to determine characteristics of the joint or parts of the joint not yet welded. The joint characteristics were transferred to the CNC controller and processed in real time while the sensor computer received information such as applicable parameters for weld tracking and current path speed from the controller. A Profinet interface was used for communication between the CNC control and sensor computer.

Weld preparation and layer structure required analysis in developing the sensor design. The important point here was to ensure reliable

readings for geometric characteristics on the weld joint together with the appropriate evaluation algorithms in the sensor software. Existing geometric characteristics comprised the surfaces on the sheets or tubes, intersections between weld bead and sheet or tube, and intersections between weld layers. Preliminary tests showed evaluation algorithm No. 40, T-joint Multimax, to be suitable, as it allowed two lines to be defined around the profile to be imaged. The intersection between the two lines was interpreted as the weld tracking position, and its coordinates were transferred to the CNC control. Additional adjustable offsets in two directions enabled torch position movement against the weld tracking point in addition to the positions of following weld layer on intermediate and cover layers during weld tracking. Smooth metal surfaces are unsuitable for the laser triangulation sensor as surface condition plays a critical role. Sandblasting or brushing the weld preparation or surface in the laser sensor’s detection area provides a remedy. The option to decouple welding from measurement proved correct. Fig. 3 shows the example of weld tracking on a tube node T-joint recorded before a root weld. As the weld filled, usable areas were reduced with decreasing numbers of imaging points available; this



Fig. 3. Sensor arrangement and weld tracking recording on a T-joint before welding the root

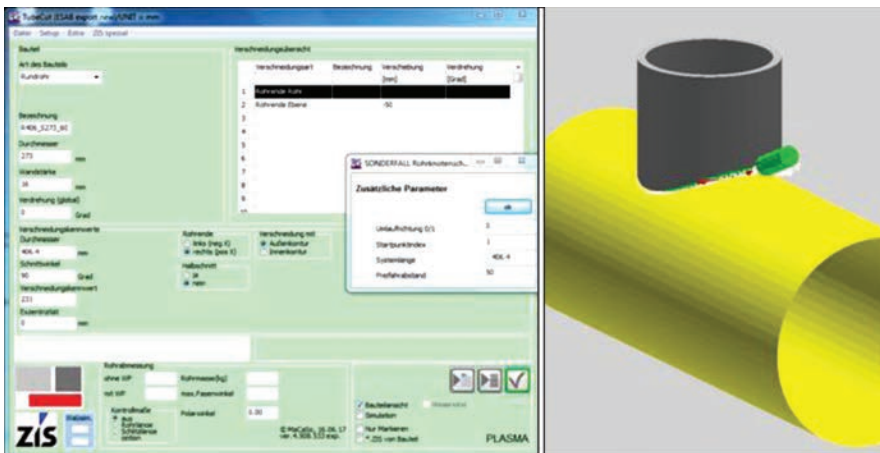


Fig. 4. TubeCut input dialogue with rotating direction and starting point as well as a graphical rendering for the T-joint

made weld tracking more difficult for mathematically modelling the two intersecting lines, at least on the socket side. This evaluation method was unreliable for use on intermediate layers featuring several adjacent welds with a convex profile, which already arose after the third weld layer. Further progress in the multilayer weld saw increasingly varied geometry characteristics due to the uneven filling between the saddle and crown points during inspection tracking. Therefore, the path resulting from weld tracking on the non-welded joint was used for all the weld layers on the welds to the tube nodes and tracked using offset values derived from the layer structure of the oblique joint samples.

Test procedure. First, the weld path was generated using TubeCut CAM software (ZIS Industrietechnik GmbH) [1]. The direction of travel around the socket and the beginning of the path were selectable. A DXF file was suitable for setting the welding torch position and angle to the layer structure. The horizontal rotated welding position was used in welding the socket, which involved using the robot system to turn the tube nodes around the main axis of the tube in sync with the tool. The equipment configuration caused access problems for the welding torch while encircling the oblique joint at the acute angle of the joint. The parameter input dialogue in the customised TubeCut showed more favourable conditions for welding studies on the T-joint as shown in Fig. 4.

TubeCut was used again to create the NC program for the T-joint, which only generated the path for the root weld. The path was then used to start weld tracking, the calculated path adjusted to match the actual process, and the coordinates of the path points stored in an NC file for further use. There was no algorithm for parameter adjustment on the widely fluctuating root gap at this point, so the weld preparation was additionally manually adjusted for a root gap from 0 to 0.5 mm. This made the root

weld possible at fixed process parameters for a gap of 0 mm at a welding speed adjusted to 40 cm/min. T-joint nodes were also partly mechanically welded to compare cost-effectiveness; Fig. 5 shows selected steps in the robot welding process flow.

The small amount of welding material missing at one point on the top layer in the first attempt was solved by minor adjustments in wire positioning; no external irregularities were recognisable in subsequent tests. Fig. 6 shows an example image of a cover layer part of a T-joint with a flame-cut and manually altered weld preparation and a total of nine weld layers required.

Welders constantly need to change posture in partly mechanised welding, and each bead required welding in four individual sections (approximately horizontal rotated position). Achieving a favourable weld shape while minimising grinding effort on the intermediate layers required lowering the wire feed and welding current. However, this also required eighteen weld layers.

Results. Three macrosections each were obtained at different positions on the weld for metallographic tests on the example tube node above in order to assess weld and root fusion quality, see Fig. 7 and Fig. 8.

The macrosections show that the root weld was not easy for the welder either; this type of work requires extensive training and experience as well



Fig. 5. Steps in the process flow

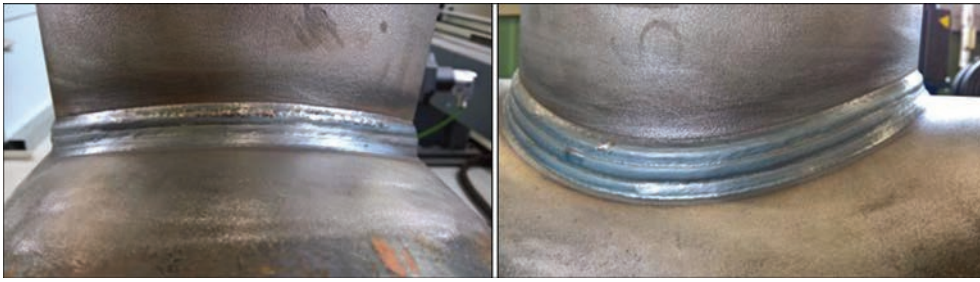


Fig. 6. Tube node weld, T-joint (cover layer)

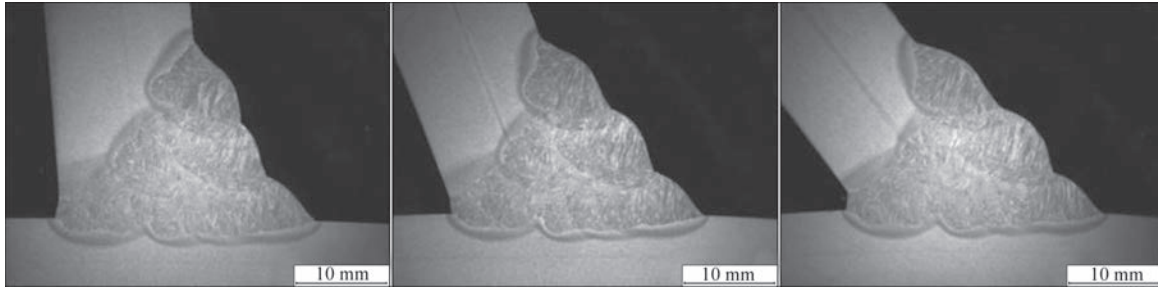


Fig. 7. Macrosections on a robotic T-joint weld

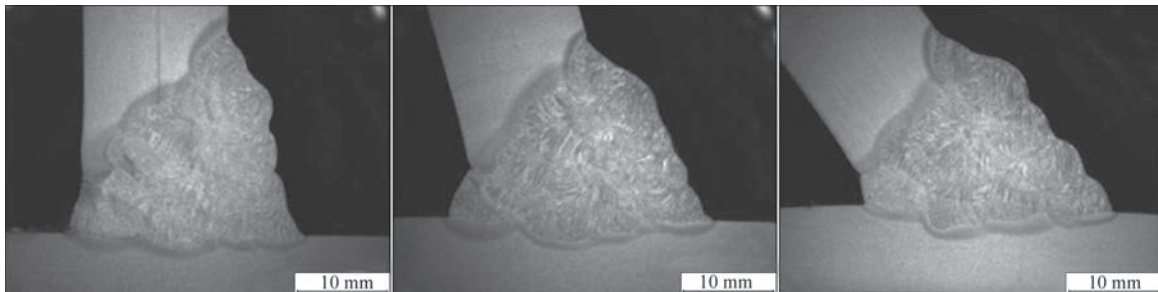


Fig. 8. Macro sections on a manual T-joint weld

as excellent judgement. The test also showed that automation may lead to a favourable outcome on constant gap dimensions. Constant welding speed combined with continuous component movement also increased the deposition rate, thus halving the number of weld layers.

Summary and outlook. The tests carried out in the project have shown that fully mechanised multi-layered MIG/MAG welding is possible on tube joints. The weld quality achieved represents a leap in both geometric and visual quality as well as in material properties, so the findings will be used in further studies planned for this topic. The research findings define the influencing factors determined and possible approaches in performing these complex welding jobs using robots. We intend to research approaches into more detailed issues such as root welding with varying gaps or welding on oblique tube nodes together with the project partners we have been working with so far and new project partners. Implementation on root welds with varying gaps or other joint types (oblique joints) promises a high

level of potential in financial terms as shown in initial theoretical economic comparisons using the welded tube nodes as an example. Comparison between manual and robotic welding showed production time savings of around two-thirds. These studies and findings are also of great economic importance in demonstrating automation options as an alternative in view of the apparent lack of qualified welders on the market.

Acknowledgements. We would like to express our gratitude to the German Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi) and EuroNorm as the project owner for their support in our research. We would especially like to thank the companies that participated in these studies:

- ZIS Industrietechnik GmbH
- ibs Automation GmbH
- Falldorf Sensor GmbH
- EWM AG

References

[1] <http://www.zis-meerane.de/software/tubecut/>

РОБОТИЗИРОВАННАЯ СВАРКА ТРУБЧАТЫХ УЗЛОВ

С. КАЙТЕЛЬ¹, У. МЮККЕНХАЙМ¹, У. ВОЛЬСКИ¹, С. ЛОТЦ¹, ДЖ. МЮГЛИЦ², Т. ЗИГМУНД³¹SLV Halle GmbH, Галле, Германия²ZIS Industrietechnik GmbH, Миране, Германия³Ibs Automation GmbH, Chemnitz, Германия. E-mail: mail@slv-hall.de

Конструкции с полым профилем значительно более устойчивы, чем конструкции, изготовленные с использованием открытых профилей, что является основной причиной их использования в фермах и ферменных конструкциях. Узел пересечения таких конструкций требует трехмерных изогнутых сварных соединений. Малые и средние предприятия обычно сваривают трубчатые каркасные и ферменные конструкции вручную, что требует больших затрат времени и средств. Кроме того, этот метод требует, чтобы эту работу выполнял персонал с соответствующей квалификацией, так как сварщикам необходимо адаптироваться к постоянно меняющимся условиям подготовки и положения сварного шва, что, очевидно, требует обеспечения эффективного обучения. Замена ручных способов сварки на механизированные процессы значительно облегчит работу сварщиков. Библиогр. 1, табл. 2, рис. 8

Ключевые слова: полые профили, роботосистема, датчик, МАГ, производительность, 3D-сварка, 3D-резка

РОБОТИЗОВАНЕ ЗВАРЮВАННЯ ТРУБЧАСТИХ ВУЗЛІВ

С. КАЙТЕЛЬ¹, У. МЮККЕНХАЙМ¹, У. ВОЛЬСЬКІ¹, С. ЛОТЦ¹, ДЖ. МЮГЛИЦ², Т. ЗИГМУНД³¹SLV Halle GmbH, Галле, Німеччина²ZIS Industrietechnik GmbH, Міране, Німеччина³Ibs Automation GmbH, Chemnitz, Німеччина. E-mail: mail@slv-hall.de

Порожністі профільні конструкції значно більш стійкі, ніж конструкції, виконані з використанням відкритих профілів, що є головною причиною їх використання в конструкціях ферм. Вузол перетинів таких конструкцій вимагає тривимірних вигнутих зварних з'єднань. Малі та середні підприємства, як правило, зварюють трубчасті каркасні та конструкції ферм вручну, що вимагає значних витрат. Крім того, цей спосіб вимагає від персоналу відповідної кваліфікації для виконання робіт, оскільки зварювальникам необхідно адаптуватися до постійно мінливих умов підготовки та положення зварного шва, що вимагає забезпечення ефективного навчання. Заміна цієї роботи механізованими процесами зварювання забезпечила б велику допомогу зварювальникам. Бібліогр. 1, табл. 2, рис. 8

Ключові слова: порожністі профілі, роботосистема, датчик, МАГ, продуктивність, 3D-зварювання, 3D-різання

Поступила в редакцию 13.11.2018

IX спеціалізована виставка

**МЕТАЛ ОБЛАДНАННЯ ІНСТРУМЕНТ**

**нове місце
проведення**

ВЦ «Південний-ЕКСПО»
вул. Щирецька, 36, м. Львів

Інформаційні спонсори



Контакти

тел./факс: (032) 244-18-88
e-mail: expolviv@gmail.com
web: www.expolviv.ua



металорізальні верстати та оснастка

обладнання для обробки металу

металорізальні інструменти

ручний електроінструмент

слюсарний та монтажний інструмент

ковальське обладнання

зварювальне обладнання

засоби захисту

Організатор



металовироби, вироби для з'єднання та кріплення

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВЫМИ ЛЕНТАМИ НА ИХ СВАРОЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

А. П. ВОРОНЧУК, А. П. ЖУДРА, А. В. ПЕТРОВ, В. О. КОЧУРА

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Исследовано влияние режимов наплавки на сварочно-технологические свойства различных типов высоколегированных порошковых лент. Определяли коэффициент расплавления электродного металла, коэффициенты наплавки, коэффициенты потерь, а также производительность расплавления электродного материала и производительность наплавки. В качестве объектов исследований выбраны широко применяемые в промышленности порошковые ленты ПЛ-АН-101 и ПЛ-АН-179, изготовленные на стальной ленте-оболочке, а также лента ПЛ-АН-111 на основе никелевой оболочки. Наплавка образцов для исследований выполнялась на аппарате А-874Н с приставкой АД-167 и источником питания ВДУ-1201 в широком диапазоне режимов: ток 600...900 А, напряжение 32...40 В, скорость 32...55 м/ч. Полученные результаты представлены в графическом виде. Установлено, что на характеристики сварочно-технологических свойств порошковых лент и соответственно на химический состав и твердость наплавленного металла помимо режимов наплавки существенное влияние оказывает состав порошка-наполнителя и материал ленты оболочки. При наплавке лентой ПЛ-АН-111 с никелевой оболочкой, имеющей высокое омическое сопротивление, происходит более интенсивный разогрев порошковой ленты на вылете, и как следствие увеличение коэффициента расплавления электродного материала. При наплавке лентами ПЛ-АН-101 и ПЛ-АН-179 производительность расплавления ниже. Потери на угар и разбрызгивание при увеличении тока для ленты ПЛ-АН-111 растут, для ленты ПЛ-АН-101 изменяются незначительно, а для ленты ПЛ-АН-179 в диапазоне тока 900...1200 А резко падают за счет специфики состава порошка-наполнителя. Значения коэффициентов расплавления и наплавки, а также производительность расплавления и наплавки для всех типов лент падают с увеличением скорости процесса, однако для ленты ПЛ-АН-111 эти показатели меняются незначительно. Библиогр. 7, табл. 1, рис. 3.

Ключевые слова: порошковая лента, ток, напряжение, скорость наплавки, производительность расплавления и наплавки, потери на угар и разбрызгивание

При разработке технологических процессов восстановления и упрочнения деталей с применением порошковой ленты важным инструментом получения требуемого эффекта является выбор режимов наплавки. Высокий коэффициент заполнения порошковых лент позволяет вести процесс наплавки с высокой производительностью и получать наплавленные слои с высокой степенью легирования. Ранее предпринимались попытки исследования процессов плавления порошковых лент и формирования наплавленного слоя [1, 2]. Но в данных работах речь идет о наплавке на форсированных режимах под слоем флюса. Специфика плавления порошковых лент открытой дугой потребовала комплексных исследований влияния технологических параметров процесса наплавки на целый ряд факторов, характеризующих формирование и качество наплавленного металла. В предыдущих работах [3, 4] исследовано влияние режимов наплавки порошковыми лентами различных составов на геометрические параметры сформированных валиков, химический состав и твердость наплавленного металла.

В развитие этих работ, в настоящей представлены результаты исследований сварочно-технологических свойств порошковых лент, такие как коэффициенты расплавления электродного металла, коэффициенты наплавки, коэффициенты потерь, а также производительность расплавления электродного материала и производительность наплавки.

Указанные параметры играют ключевую роль при расчете составов порошковых лент, а также влияют на химический состав, твердость и служебные характеристики наплавленного металла.

Исследовали три марки порошковых лент – ПЛ-Нп-300Х25С3Н2Г2 (ПЛ-АН-101) и ПЛ-Нп400Х20Б7М7В2Ф (ПЛ-АН-179), изготовленные на основе стальной ленты-оболочки, а также ленту ПЛ-Нп500Х40Н40С2РЦ (ПЛ-АН-111), которая изготовлена на основе никелевой ленты оболочки [5–7]. Выбор марок порошковых лент со стальной оболочкой обусловлен тем, что лента ПЛ-АН-101 была изготовлена с использованием комплексной лигатуры в составе порошка-наполнителя. Лента ПЛ-АН-179 изготов-

Режимы наплавки

Ток, А	Напряжение, В	Скорость наплавки, м/ч
600 ± 25	32 ± 1	32 ± 1
750 ± 25	32 ± 1	32 ± 1
900 ± 25	32 ± 1	32 ± 1
1150 ± 25	32 ± 1	32 ± 1
1200 ± 25	32 ± 1	32 ± 1
900 ± 25	24 ± 1	32 ± 1
900 ± 25	28 ± 1	32 ± 1
900 ± 25	36 ± 1	32 ± 1
900 ± 25	40 ± 1	32 ± 1
900 ± 25	32 ± 1	19 ± 1
900 ± 25	32 ± 1	40 ± 1
900 ± 25	32 ± 1	48 ± 1
900 ± 25	32 ± 1	55 ± 1

ливалась на базе механической смеси тугоплавких ферросплавов.

Опыты выполнялись на наплавочном аппарате А-874Н, укомплектованном источником питания ВДУ-1201 и приставкой АД-167. Наплавка выполнялась отдельными валиками в один слой на постоянном токе обратной полярности, при неизменной величине вылета, равной 50 мм и жесткой внешней характеристикой источника питания. В качестве основного металла использовались

пластины из Ст3 толщиной 30 мм и размером 300×400 мм. На каждую из пластин наплавлялось по 6 валиков длиной 200...250 мм. Чтобы исключить влияние предварительного подогрева, каждый последующий валик наносился после полного остывания предыдущего. Режимы наплавки всеми приведенными лентами представлены в таблице.

Коэффициенты расплавления α_p и наплавки α_n определялись по формулам:

$$\alpha_p = \frac{3600(m_{л} - m_{л}^1)}{It},$$

где $m_{л}$ — масса ленты до наплавки, г; $m_{л}^1$ — масса ленты после наплавки, г; I — ток наплавки, А; t — время наплавки, с;

$$\alpha_n = \frac{3600(m_{п} - m_{п}^1)}{It},$$

где $m_{п}$ — масса пластины после наплавки, г; $m_{п}^1$ — масса пластины до наплавки, г; I — ток наплавки, А; t — время наплавки, с.

Коэффициент потерь $K_{п}$ определяется по формуле

$$K_{п} = \frac{(m_{л} - m_{л}^1) - (m_{п} - m_{п}^1)}{(m_{л} - m_{л}^1)}.$$

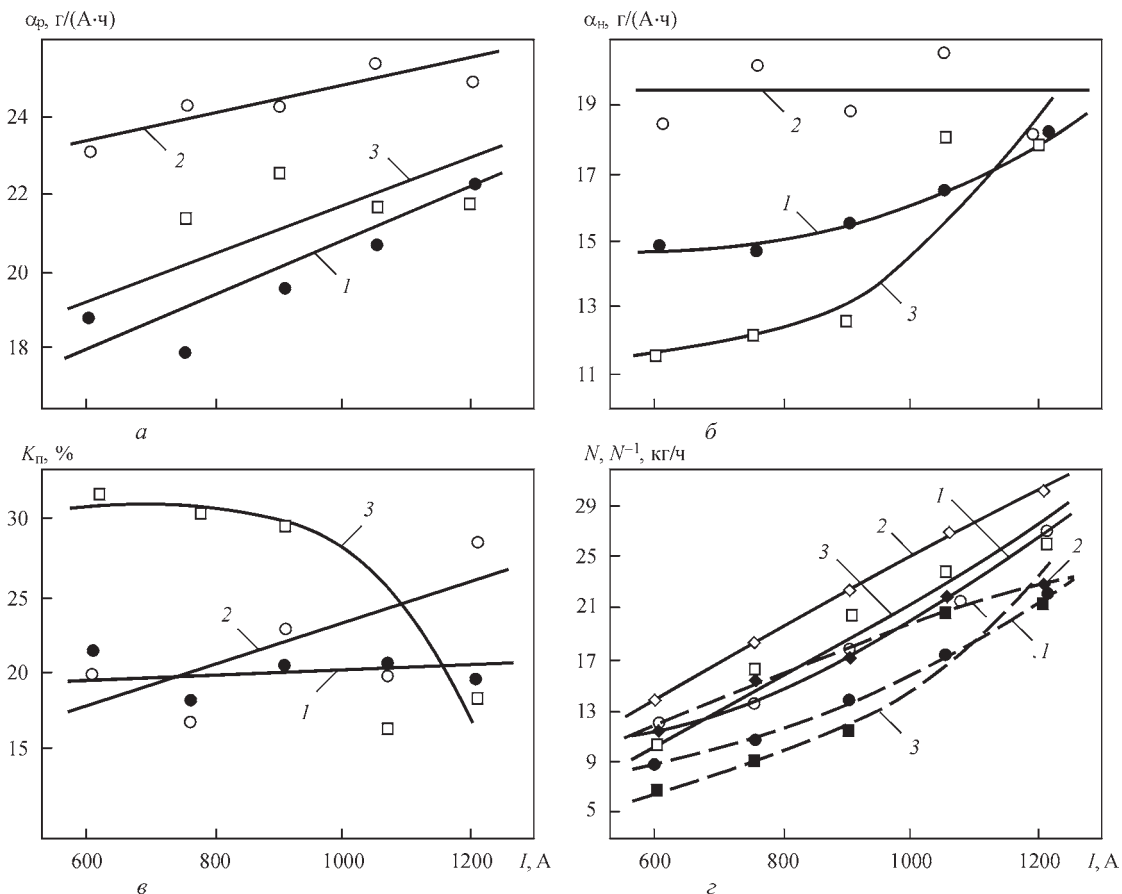


Рис. 1. Характеристики плавления порошковых лент в зависимости от тока: а — коэффициенты расплавления; б — коэффициенты наплавки; в — коэффициенты потерь; г — производительность расплавления (сплошная) и наплавки (штриховая) порошковых лент (1 — ПЛ-АН 101; 2 — ПЛ-АН 111; 3 — ПЛ-АН 179)

Производительность расплавления и наплавки (N, N') определялись по формулам:

$$N = \frac{\Delta m \cdot 3,6}{t}, \quad N' = \frac{\Delta m' \cdot 3,6}{t},$$

где Δm — разность между массами отрезков лент до и после наплавки, г; $\Delta m'$ — разность между массами пластин после и до наплавки; t — время наплавки, с.

На рис. 1 представлены данные по коэффициентам расплавления, наплавки и потерь, а также по производительности расплавления электрода и производительности наплавки в зависимости от тока. Коэффициент расплавления электродного материала (рис. 1, а) растет с ростом тока для всех испытываемых порошковых лент. При этом следует отметить, что коэффициент расплавления порошковой ленты ПЛ-АН 111 значительно (на 2,5...4,0 г/А·ч) выше, чем для порошковых лент ПЛ-АН 101 и ПЛ-АН 179. Это объясняется различиями в характере плавления электродных

материалов, связанном с применением разных лент-оболочек при изготовлении.

Так, лента ПЛ-АН 111 изготавливается с применением никелевой ленты и, как уже отмечалось выше, это обуславливает ее более высокое омическое сопротивление, а следовательно, и более сильный разогрев электродного материала на вылете.

Коэффициент наплавки (рис. 1, б) для различных лент при увеличении тока от 600 до 1200 А ведет себя неоднозначно. При использовании порошковых лент ПЛ-АН 101 и ПЛ-АН 179 он возрастает, причем, для ленты ПЛ-АН 179 этот рост выражен более сильно. При применении порошковой ленты ПЛ-АН 111 изменения коэффициента наплавки с увеличением тока не происходит. Объясняется это различиями в изменении потерь при увеличении тока от 600 до 1200 А. (рис. 1, в). Так, относительная величина потерь на угар и разбрызгивание во всем диапазоне изменения тока для порошковой ленты ПЛ-АН 101 остается не-

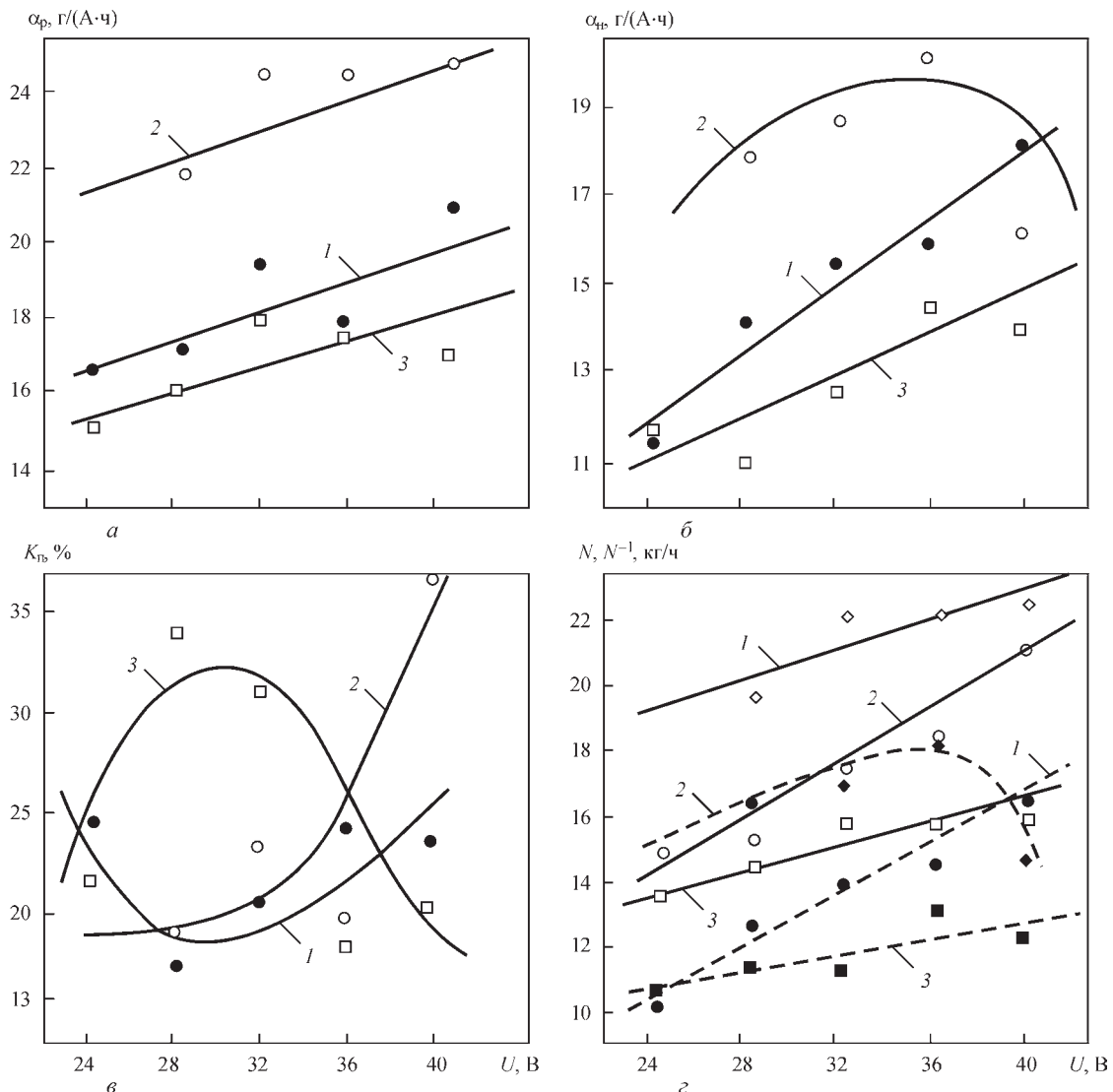


Рис. 2. Характеристики плавления порошковых лент в зависимости от напряжения (обозначения те же, что и на рис. 1)

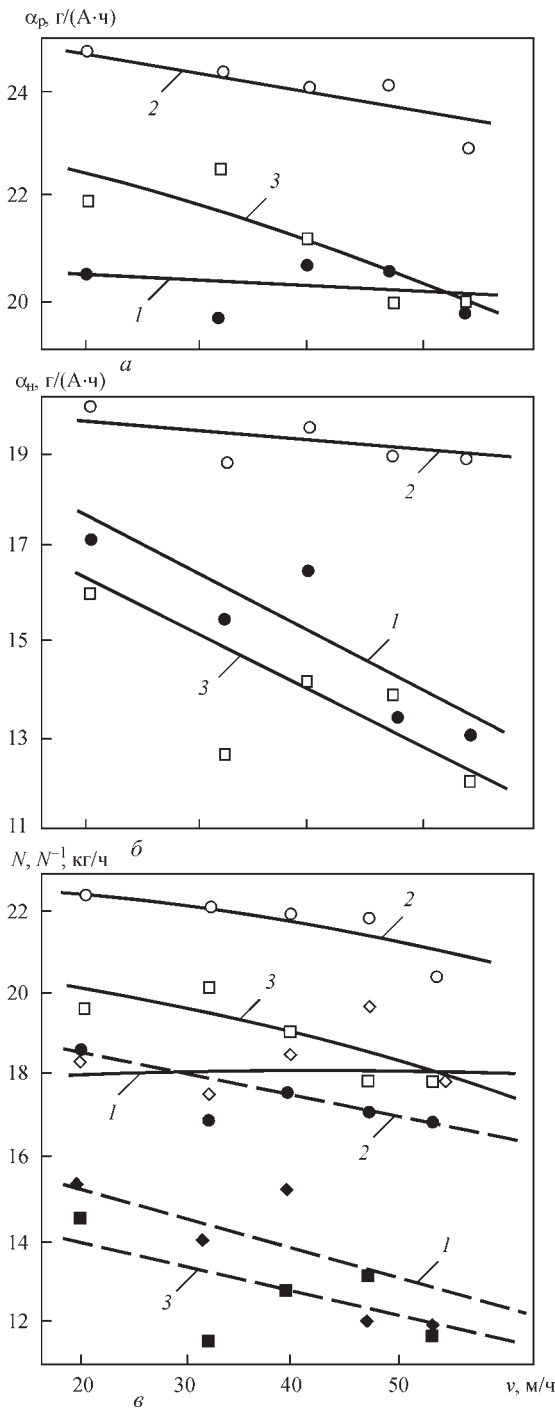


Рис. 3. Характеристики плавления порошковых лент в зависимости от изменения скорости наплавки: а — коэффициенты расплавления; б — коэффициенты наплавки; в — производительность расплавления (сплошная) и наплавки (штриховая) порошковых лент (1 — ПЛ-АН 101; 2 — ПЛ-АН 111; 3 — ПЛ-АН 179)

изменной, для порошковой ленты ПЛ-АН 111 она растет, а для ПЛ-АН 179 резко падает.

Как производительность расплавления порошковых лент, так и производительность наплавки растет для всех испытуемых марок порошковых лент при увеличении тока во всем рассматриваемом диапазоне (рис. 1, 2).

На рис. 2 представлены данные о характеристиках плавления порошковых лент в зависимо-

сти от напряжения дуги. Коэффициент расплавления порошковых лент растет с увеличением напряжения дуги (рис. 2, а). Для порошковых лент ПЛ-АН 101 и ПЛ-АН 179 с увеличением напряжения дуги коэффициенты наплавки также увеличиваются (рис. 2, б).

При наплавке лентой ПЛ-АН 111 аналогичный рост наблюдается при увеличении напряжения до 32...34 В. Дальнейшее повышение напряжения приводит к снижению значений указанных характеристик. При этом, как видно из графика (рис. 2, в), резко возрастают потери на угар и разбрызгивание, что, очевидно, в первую очередь связано с активным окислением компонентов электродного материала.

На рис. 3 приведены коэффициенты расплавления и наплавки, а также производительность расплавления и наплавки в зависимости от скорости перемещения дуги для всех испытуемых порошковых лент.

Рассматривая полученные результаты в целом, следует отметить следующее. На характеристики плавления порошковых лент, а, следовательно, химический состав и твердость наплавленного металла помимо режимов наплавки оказывают существенное влияние состав порошка-наполнителя и материал ленты-оболочки. Так, при наплавке порошковой лентой ПЛ-АН 111, изготовленной на основе никелевой ленты-оболочки, все исследуемые характеристики в значительной мере отличаются от данных, полученных при наплавке порошковыми лентами ПЛ-АН 101 и ПЛ-АН 179, выполненных из стальной ленты-оболочки. Это, очевидно, можно объяснить более высоким омическим сопротивлением никелевой ленты-оболочки. При этом за счет большего падения напряжения на вылете электрода происходит более интенсивный разогрев порошковой ленты на вылете, что, в свою очередь, увеличивает производительность ее плавления дугой, т.е. ведет к более эффективному использованию тепловой мощности дуги. Получаемый положительный эффект в виде увеличения коэффициента расплавления электродного материала — снижение доли основного металла, нивелируется ростом потерь на угар и разбрызгивание. Следует отметить, что химический состав металла, наплавленного порошковой лентой ПЛ-АН 111, при одновременном влиянии указанных выше факторов остается практически неизменным во всем рассматриваемом диапазоне сварочного тока. Увеличение же напряжения приводит к интенсивному окислению основных легирующих компонентов — углерода и хрома, что снижает степень легирования наплавленного металла и его твердость. При наплавке порошковыми лентами ПЛ-АН 101 и ПЛ-АН 179 произво-

дительность расплавления несколько ниже, чем у порошковой ленты ПЛ-АН 111, но при больших токах количество наплавленного металла для всех лент примерно одинаково. Это можно объяснить разницей в потерях электродного материала на угар и разбрызгивание. Так, потери для ленты ПЛ-АН 101 с увеличением тока изменяются очень незначительно, для ленты ПЛ-АН 1111 они растут, а для ленты ПЛ-АН 179 в диапазоне 900...1200 А резко падают.

Падение потерь для порошковой ленты ПЛ-АН 179, очевидно, связано с характером расплавления порошка-наполнителя, который характеризуется наличием большого количества тугоплавких компонентов. Кроме того, данная лента характеризуется наибольшим из испытываемых лент коэффициентом заполнения — порядка 65 %. Это обуславливает, на наш взгляд, большие потери электродного материала на малых токах из-за недостатка тепловой мощности дуги и недостаточным предварительным подогревом ленты на вылете.

Повышение напряжения для всех порошковых лент приводит к снижению степени легирования наплавленного слоя. Это объясняется как увеличением доли основного металла, так и повышением потерь на угар. Причем потери на угар увеличиваются тем больше, чем выше предварительный подогрев на вылете электрода. Так, наиболее сильно они повышаются при наплавке порошковой лентой ПЛ-АН 111.

Скорость наплавки оказывает на исследуемые характеристики менее заметное влияние, которое в основном зависит от распределения тепловых потоков и тепловой мощности дуги.

Для более полного объяснения полученных результатов представляет интерес в дальнейшем исследовать омическое сопротивление испытываемых порошковых лент и получить данные об их предварительном подогреве на вылете.

Выводы

1. Коэффициент расплавления электродных материалов растет при увеличении как тока, так и напряжения для всех типов лент. Особенно это проявляется при наплавке лентой ПЛ-АН-111 с никелевой оболочкой, имеющей более высокое омическое сопротивление.

2. Коэффициент наплавки растет с увеличением тока и напряжения для порошковых лент ПЛ-АН-101 и ПЛ-АН-179. Для ленты ПЛ-АН-111 при увеличении тока он стабилен, а с увеличением напряжения до 36 В он растет, а затем резко падает, что связано с увеличением потерь на угар и разбрызгивание.

3. Производительность расплавления и наплавки порошковых лент растет с увеличением тока и напряжения для всех типов порошковых лент, однако при напряжении, превышающем 36 В, для ленты ПЛ-АН-111 производительность наплавки резко падает за счет увеличения коэффициента потерь на угар и разбрызгивание.

4. Коэффициент потерь мало зависит от значения тока и напряжения для ленты ПЛ-АН-101, но существенно растет с ростом тока для ленты ПЛ-АН-111, и особенно высок при напряжениях свыше 36 В. Для ленты ПЛ-АН-179 коэффициент потерь резко снижается при увеличении тока свыше 800 А, а напряжение свыше 32 В. Это связано с тугоплавким сердечником ленты, для плавления которого требуется повышенная тепловая мощность дуги.

5. Во всем диапазоне режимов процесса наплавки значения коэффициентов расплавления и наплавки всех типов лент, а также производительность расплавления и наплавки падает с увеличением скорости наплавки, однако для ленты ПЛ-АН-111 эти показатели меняются незначительно.

Список литературы

1. Кузнецов Л. Д., Кортелев Г. А., Николаенко Н. Р. (1982) Особенности процесса наплавки порошковой лентой на форсированных режимах деталей строительных и дорожных машин. *Теоретические и технологические основы наплавки. Современные способы наплавки и их применение*. Фрумин И. И. (ред.). Киев, ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, сс.12–15.
2. Кузнецов Л. Д., Куркумелли Э. Г., Николаенко М. Р. (1983) Особенности строения и свойства металла при наплавке ленточными электродами на форсированных режимах. *Наплавка износостойких и жаростойких сталей и сплавов. Наплавочные материалы*. Киев, ИЭС им. Е. О. Патона, сс. 24–28.
3. Жудра А. П., Ворончук А. П., Кочура В. О., Федосенко В. В. (2017) Влияние режимов наплавки порошковыми лентами на геометрические параметры наплавленных валков. *Автоматическая сварка*, **1**, 43–48.
4. Ворончук А. П., Жудра А. П., Петров А. В., Федосенко В. В. (2018) Влияние режимов наплавки порошковыми лентами на химический состав и твердость наплавленного металла. *Там же*, **4**, 44–48.
5. Данильченко Б. В., Шимановский В. П., Ворончук А. П., Копылец И. П. (1989) Наплавка быстроизнашивающихся деталей самозащитными порошковыми лентами. *Там же*, **5**, 38–41.
6. Жудра А. П., Ворончук А. П. (2010) Износостойкая наплавка порошковыми лентами. *Сварщик*, **6**, 6–9.
7. Жудра А. П., Ворончук А. П. (2012) Наплавочные порошковые ленты (Обзор). *Автоматическая сварка*, **1**, 39–44.

References

1. Kuznetsov, L.D., Kortelev, G.A., Nikolaenko, N.R. (1982) Peculiarities of process of flux-cored strip surfacing on forced modes of parts of construction and road machines. *Theoretical and technological principles of surfacing. Current methods of surfacing and their application*. Ed. by I.I. Frumin. Kiev, PWI, 12-15 [in Russian].
2. Kuznetsov, L.D., Kurkumelli, E.G., Nikolaenko, M.R. (1983) Peculiarities of structure and properties of metal in surfacing with strip electrodes on forced modes. *Wear-resistant and*

- high-temperature steels and alloys*. Surfacing materials. Kiev, PWI, 24-28 [in Russian].
3. Zhudra, A.P., Voronchuk, A.P., Kochura, V.O., Fedosenko, V.V. (2017) Effect of flux-cored strip surfacing modes on geometric parameters of deposited beads. *The Paton Welding J.*, **1**, 36-40.
 4. Voronchuk, A.P., Zhudra, A.P., Petrov, A.V., Fedosenko, V.V. (2018) Influence of surfacing modes using flux-cored strips on chemical composition and hardness of deposited metal. *Ibid.*, **4**, 35-38.
 5. Danilchenko, B.V., Shimanovsky, V.P., Voronchuk, A.P., Kopylets, I.P. (1989) Surfacing of high-wear parts with self-shielding flux-cored strips. *Avtomatich. Svarka*, **5**, 38-41 [in Russian].
 6. Zhudra, A.P., Voronchuk, A.P. (2010) Wear-resistant surfacing with flux-cored strips. *Svarshchik*, **6**, 6-9 [in Russian].
 7. Zhudra, A.P., Voronchuk, A.P. (2012) Cladding flux-cored strips (Review). *The Paton Welding J.*, **1**, 34-38.

ВПЛИВ РЕЖИМІВ НАПЛАВЛЕННЯ ПОРОШКОВИМИ СТРІЧКАМИ НА ЇХ ЗВАРЮВАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

О. П. ВОРОНЧУК, О. П. ЖУДРА, О. В. ПЕТРОВ, В. О. КОЧУРА

ІЕЗ ім. С. О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Досліджено вплив режимів наплавлення на зварювально-технологічні властивості різних типів високолегованих порошкових стрічок. Визначали коефіцієнт розплавлення електродного металу, коефіцієнти наплавлення, коефіцієнти втрат, а також продуктивність розплавлення електродного матеріалу і продуктивність наплавлення. У якості об'єктів досліджень обрані широко застосовувані в промисловості порошкові стрічки ПЛ-АН-101 і ПЛ-АН-179, виготовлені на сталевій стрічці-оболонці, а також стрічка ПЛ-АН-111, на основі нікелевої оболонки. Наплавлення зразків для досліджень виконувалося на апараті А-874Н з приставкою АД-167 і джерелом живлення ВДУ-1201 у широкому діапазоні режимів: струм 600-900 А, напруга 32-40 В, швидкість 32-55 м/г. Отримані результати представлені в графічному вигляді. Встановлено, що на характеристики зварювально-технологічних властивостей порошкових стрічок і відповідно на хімічний склад і твердість наплавленого металу крім режимів наплавлення істотний вплив має склад порошку-наповнювача та матеріал стрічки оболонки. При напавленні стрічкою ПЛ-АН-111 з нікелевою оболонкою, що має високий омичний опір, відбувається більш інтенсивний розігрів порошкової стрічки на вильоті, і як наслідок збільшення коефіцієнта розплавлення електродного матеріалу. При напавленні стрічками ПЛ-АН-101 і ПЛ-АН-179 продуктивність розплавлення нижче. Втрати на вигар і розбризування при збільшенні струму для стрічки ПЛ-АН-111 ростуть, для стрічки ПЛ-АН-101 змінюються незначно, а для стрічки ПЛ-АН-179 у діапазоні струму 900-1200А різко падають за рахунок специфіки складу порошку-наповнювача. Значення коефіцієнтів розплавлення і наплавлення, а також продуктивність розплавлення та наплавлення для всіх типів стрічок падають зі збільшенням швидкості процесу, однак для стрічки ПЛ-АН-111 ці показники змінюються незначно. Бібліогр. 7, табл. 1, рис. 3.

Ключові слова: порошкова стрічка, струм, напруга, швидкість наплавлення, продуктивність розплавлення та наплавлення, втрати на вигар і розбризування

INFLUENCE OF MODES OF FLUX-CORED STRIP SURFACING ON THEIR WELDING-TECHNOLOGICAL PROPERTIES

A.P. VORONCHUK, A.P. ZHUDRA, A.V. PETROV, V.O. KOCHURA

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv.
E-mail: office@paton.kiev.ua

Influence of surfacing modes on welding-technological properties of different types of high-alloyed flux-cored strips was studied. Electrode metal melting coefficient, surfacing coefficients, loss factors, as well as the efficiency of electrode material melting and deposition rate, were determined. Widely applied in industry PL-AN-101 and PL-AN-179 flux-cored strips made using steel strip-sheath, as well as PL-AN-111 strip with nickel sheath were selected as the objects of study. Surfacing of samples for investigations was performed in A-874N machine with AD-167 attachment and VDU-1201 power source in a wide range of modes: current of 600 – 900 A, voltage of 32 – 40 V, speed of 32 – 55 m/h. Obtained results are presented graphically. It is found that alongside the surfacing modes, the filler-powder composition and sheath strip material have a significant effect on the characteristics of welding-technological properties of flux-cored strips and chemical composition and hardness of deposited metal, respectively. At surfacing with PL-AN-111 strip with a nickel sheath, having a high ohmic resistance, more intensive heating of the flux-cored strip in the extension takes place, and, consequently, the coefficient of electrode material melting is increased. Melting efficiency was lower at surfacing with PL-AN-101 and PL-AN-179 strips. At current rise, burning and spattering losses become greater for PL-AN-111 strip, and change only slightly for PL-AN-101 strip, while for PL-AN-179 strip they decrease abruptly in the current range of 900 – 1200 A, because of the specifics of filler-powder composition. Values of melting and surfacing coefficients, as well as melting efficiency and deposition rate decrease with increase of process speed for all the strip types. For PL-AN-111 strip, however, these values change only slightly. 7 Ref., 1 Tabl., 3 Fig.

Keywords: flux-cored strip, current, voltage, surfacing speed, melting and surfacing efficiency, burning and spattering losses

Поступила в редакцію 21.11.2018

НАШІ ВІТАННЯ

ВИТЯГ З УКАЗУ

Президента України № 301/2018 (4 жовтня 2018 р.)

Про присудження Державних премій України в галузі освіти 2018 р.

На підставі подання Комітету з Державної премії України в галузі освіти **п о с т а н о в л я ю**:

1. Присудити Державні премії України в галузі освіти 2018 р.:

– у номінації «Професійно-технічна освіта» за роботу «Розробка та впровадження інноваційних технологій навчання для підготовки кваліфікованих робітничих кадрів за професією «Зварник»:

ВИСОКОЛЯНУ Миколі Васильовичу — заступникові головного зварника публічного акціонерного товариства «Крюківський вагонобудівний завод», м. Кременчук, викладачеві Вищого професійного училища № 7 м. Кременчук Полтавської області

ЗАГІРНЯКУ Михайлу Васильовичу — ректорові Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, докторові технічних наук, професорові

КАБАЧЕНКО Ірині Григорівні — викладачеві Вищого професійного училища № 7 м. Кременчук Полтавської області

НЕСЕНУ Миколі Григоровичу — директорові Вищого професійного училища № 7 м. Кременчук Полтавської області, заслуженому працівнику освіти України

ПОПОВУ Олександрю Миколайовичу — старшому майстрові Вищого професійного училища № 7 м. Кременчук Полтавської області

ПРОЦЕНКУ Петру Прокоповичу — директорові Державного підприємства «Міжгалузевий учбово-атестаційний центр Інституту електрозварювання імені Є. О. Патона Національної академії наук України», кандидатові технічних наук

СЕРГІЄНКУ Сергію Анатолійовичу — проректорові з науково-педагогічної роботи та новітніх технологій в освіті Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, кандидатові технічних наук, доцентові

ЧВЕРТКО Євгенії Петрівні — доцентові зварювального факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», кандидатові технічних наук

ЧОРНОМУ Андрію Вячеславовичу — доцентові зварювального факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», кандидатові технічних наук

ВИТЯГ З УКАЗУ

Президента України № 414/2018 (7 грудня 2018 р.)

Про відзначення державними нагородами України працівників Національної академії наук України

За вагомий особистий внесок у розвиток вітчизняної науки, зміцнення науково-технічного потенціалу Української держави, багаторічну плідну працю та з нагоди 100-річчя від заснування Національної академії наук України **п о с т а н о в л я ю**:

Нагородити орденом князя Ярослава Мудрого II ступеня:

ПАТОНА Бориса Євгеновича — президента НАН України, академіка

Нагородити орденом князя Ярослава Мудрого V ступеня:

ЛОБАНОВА Леоніда Михайловича — академіка-секретаря Відділення фізико-технічних проблем матеріалознавства, академіка НАН України

Присвоїти почесні звання:

«Заслужений діяч науки і техніки України»

КРИВЦУНУ Ігорю Віталійовичу — заступникові директора Інституту електрозварювання імені Є. О. Патона, академіку НАН України

«Заслужений машинобудівник України»

КАХОВСЬКОМУ Юрію Миколайовичу — провідному науковому співробітникові Інституту електро-зварювання імені Є. О. Патона, кандидатові технічних наук

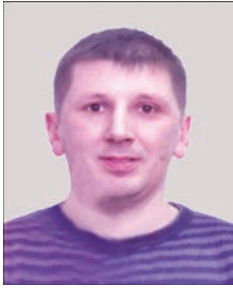
Президент України

П. Порошенко

Колектив Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, редколегія та редакція журналу «Автоматическая сварка» вітають групу вчених та фахівців України в галузі зварювання та споріднених технологій з високою відзнакою їх праці.

ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Ін-т електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України



Кавуніченко О. В. (Ін-т електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України) захистив 21 листопада 2018 р. кандидатську дисертацію на тему «Технологія контактного стикового зварювання оплавленням рейок з залізничними хрестовинами із сталі 110Г13Л».

Дисертація присвячена дослідженню особливостей формування зварних з'єднань елементів залізничних хрестовин зі сталі 110Г13Л з рейковими закінченнями, виконаних через проміжну вставку та без неї, контактним стиковим зварюванням оплавленням (КСЗО).

В роботі досліджено особливості термічних циклів при КСЗО в сталях М76, 08Х18Н10Т та сталі 110Г13Л з використанням математичного моделювання процесу. На основі отриманих термічних циклів, досліджено вплив залишкових напружень в зварних з'єднаннях аустенітних та перлітних сталях, отриманих КСЗО.

Розроблено оптимальні режими для КСЗО сталей М76+08Х18Н10Т та 08Х18Н10Т+110Г13Л. Визначено оптимальну ширину проміжної вставки (сталь 08Х18Н10Т), при якій забезпечується мінімальне локальне зношення хрестовини в процесі експлуатації. Запропоновано використовувати литу проміжну вставку типу Х18Н10 з вмістом титану не більше 0,1 % замість катаної при виробництві зварних залізничних хрестовин. Розширено уявлення про вплив дефектів лиття на якість зварного з'єднання при їх потраплянні в стик. Доведено необхідність використання вхідного радіографічного контролю кінців відливок осердя хрестовин при КСЗО. Розроблено систему управління параметрами процесу КСЗО, яка дозволяє реалізувати безперервний процес зварювання як із програмуванням за часом, так і за переміщенням, а також адаптивні алгоритми керування, при яких всі параметри в процесі зварювання змінюються в автоматичному режимі з контролем і керуванням по енерговкладанню.

Ін-т електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України



Мельниченко Т. В. (Ін-т електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України) захистила 11 грудня 2018 р. докторську дисертацію на тему «Структура та властивості конденсованих металевих наноматеріалів, отриманих електронно-променевою випаровуванням у вакуумі».

Науковий консультант роботи

— д-р фіз.-мат. наук, проф. А. І. Устінов, офіційні опоненти — д-р фіз.-мат. наук, проф., академік НАН України С. О. Фірстов, чл.-кор. НАН України П. І. Лобода та д-р техн. наук В. Є. Панарін.

Дисертація присвячена вирішенню науково-прикладної задачі отримання однокомпонентних, композитних, багат шарових фольг та покриттів, фізичним осадженням парової фази в вакуумі. Задачу вирішено шляхом встановлення кореляційних залежностей між умовами електронно-променевого осадження парової фази, структурними характеристиками та властивостями наноматеріалів, що дозволило створити наукові засади технології отримання металевих наноматеріалів функціонального призначення електронно-променевою випаровуванням у вакуумі.

Встановлено, що формуванню нанорозмірних структурних складових в конденсованому матеріалі сприяє низька рухливість атомів на поверхні осадження, що забезпечується переохолодженням парової фази, затіненням парового потоку та присутністю на поверхні осадження нерозчинної домішки.

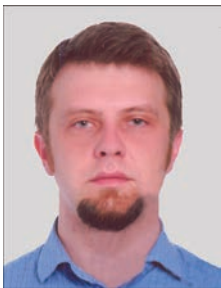
Отримано нанопористі конденсати на основі Ni, Cu, Ti з пористістю відкритого типу до 30 % об. і питомою поверхнею до 1000 м²/г у вигляді фольги та покриття для використання в якості проміжного прошарку при дифузійному зварюванні тиском матеріалів, покриття медичного стенту та трансдермальної форми медичних препаратів. Створена методика отримання інкапсульованих в матрицю галогеніду лужного металу нанопорошків з розміром частинок <10 нм, стійких до агломерації та окислення.

Отримано конденсовані наноматеріали на основі міді з нанодвійниковою субструктурою, які характеризуються твердістю 2ГПа, термічною стабільністю структури та фізико-механічних властивостей, що забезпечило їх використання в якості складової демпфіруючого покриття на лопатках ГТД.

Шляхом сумісного осадження парових фаз компонентів, що не змішуються, отримано наноккомпозити Cr–Y, Ti–Y, Fe–Cu з високим рівнем мікротвердості та дисипативних властивостей при температурі формування наноструктурованого стану на 200...250 °С вище порівняно з відповідними чистими металами. Показана можливість використання присадного матеріалу у вигляді фольги на основі наноккомпозиту Ni–NbC для модифікування структури шва при зварюванні через рідку фазу.

Досліджено закономірності формування методом електронно-променевого осадження структури та властивостей нанощаруватих фольг на основі систем, що складаються з інтерметалідоутворюючих компонентів (Ti–Al, Ni–Al) та систем евтектичного типу (Al–Cu, Al–Si). Нерівноважний стан нанощаруватих фольг, який формується в умовах переохолодження парової фази на поверхні конденсації, сприяє низькотемпературним фазовим і структурним перетворенням в фользі та надпластичній плинності при термомеханічному навантаженні, що забезпечує її використання в якості проміжного прошарку при дифузійному зварюванні тиском матеріалів, що важко деформуються, та різнорідних.

Ин-т електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України



Шваб С. Л. (Ин-т електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України) захистив 12 грудня 2018 р. кандидатську дисертацію на тему «Технологія аргонодугового зварювання та відновлювального наплавлення титанового сплаву VT22 із застосуванням порошкового дроту та керуючого магнітного поля». Науковий керівник роботи — чл.-кор. НАН України С. В. Ахонін, офіційні опоненти — д-р

техн. наук, проф. О. Г. Биковський та канд. техн. наук, доцент О. А. Сливінський.

Дисертаційна робота присвячена вдосконаленню присадного порошкового титанового дроту для зварювання титанового сплаву VT22, а також розробці технології аргонодугового зварювання та відновлювального наплавлення цього сплаву.

В роботі показано, що в якості металевої складової осердя присадного порошкового титанового дроту необхідно застосовувати гранули із сплаву VT22. Із застосуванням цього дроту (ППТ-22) для зварювання сплаву VT22 метал шва зварних з'єднань відноситься до перехідного класу титанових сплавів, яким являється сплав VT22.

Експериментально-дослідним шляхом встановлено, що застосування фторидів рідкісноземельних елементів в порошковому дроті призводить до подібнення β-зерен шва, що в свою чергу підвищує ударну в'язкість зварних з'єднань на 30 %.

Визначені закономірності впливу параметрів зовнішнього керуючого магнітного поля на структуру і форму зварних швів з титанового сплаву VT22 та наплавлених валиків на цей сплав.

Для підвищення механічних властивостей зварних з'єднань із сплаву VT22 встановлений режим термічної обробки. В результаті відпаду міцність основного металу, зони термічного впливу та метал шва знаходяться на одному рівні.

Використання порошкового дроту ППТ-22 в якості присадки при аргонодуговому наплавленні дає можливість відновити зношені поверхні деталей із титанового сплаву VT22 авіаційного призначення із високим рівнем експлуатаційних характеристик.

На основі результатів проведених досліджень вдосконалено присадний порошковий дріт для зварювання титанового сплаву VT22, а також розроблені технології аргонодугового зварювання та відновлювального наплавлення цього сплаву.

Подписано к печати 20.12.2018. Формат 60×84/8. Офсетная печать.

Усл. печ. л. 9,04. Усл.-отт. 9,89. Уч.-изд. л. 10,34 + 1 цв. вклейка.

Печать ООО «ДИА».

В МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ «ЭЛЕКТРОД»

17 октября 2018 г. в рамках международной выставки «Weldex/Россварка 2018» (16–19 октября 2018 г.) состоялось ежегодное собрание Совета ассоциации «Электрод» (АЭ) в расширенном составе. В нем приняли участие около 30 руководителей и ведущих специалистов предприятий-производителей сварочных материалов, оборудования и сырья для их производства, научных организаций, торгующих компаний России, Украины и Беларуси. Среди них: ООО «Техпром», ООО «Магнитогорский электродный завод», ООО «Электрод-Бор», ООО «Новооскольский электродный завод», ООО «Ижорские сварочные материалы», ООО «Ротекс», ООО «Тантал ЛТД», ООО «КЕРАМГЛАС», ООО «Высокие технологии», ООО «Мелдис-Ферро», ООО «ТМ. Велтек», ЧАО МЗ «Вистек», ЗАО «Электрод», ООО «НТЦ «Пигмент», ООО «Эллой», ООО «БМК», ПАО «ПлазмаТек», ЗАО «ЭЛЗ», ООО «Оливер», ООО «СЗСМ», ИФПМ СО РАН, ИЭС им. Е. О. Патона.

В начале работы собравшиеся минутой молчания почтили память старейшего участника Ассоциации, бессменного исполнительного директора ее с 1992 по 2013 гг. П. В. Игнатченко. На собрании была заслушана информация д-ра техн. наук З. А. Сидлина (ООО «Техпром» и д-ра техн. наук Ю. Н. Сараева (ИФПМ СО РАН) о важнейших событиях в области сварки, прошедших в РФ за период октябрь 2017 – сентябрь 2018 гг. Среди них:

- международная научно-практическая конференция «Сварка на железнодорожном транспорте (г. Тверь, 24.10.2017 г.);

- выставка «Сварка – 2018» (г. Санкт-Петербург, 24–27.04.2018 г.);

- всероссийская конференция в НПО «ЦНИИТМАШ» на тему «Сварка и родственные технологии для изготовления оборудования специального и ответственного назначения (г. Москва, 29–31.05.2018 г.);

- научно-техническая конференция «Сварочные материалы и оборудование для сварки: перспективы производства» (г. Сочи, 31.05–01.06.2018 г.), организованная НП НПСО; на ней были представлены 5 докладов от предприятий – членов Ассоциации;

- международная научно-техническая конференция «Сварка и контроль-2018» (г. Пермь, 18–21.09.2018.), приуроченная к 130-летию изобретения Н. Г. Славянова ЭДС плавящимся электродом;

- общероссийская конференция «Проволока – крепеж» (г. Геленджик, 19–20.09.2018 г.).



Ю. Н. Сараев рассказал о прошедшей в г. Томске конференции «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций» (1–5 сентября 2018 г.).

Участники собрания были проинформированы также о других крупных событиях. Это:

- Международная конференция «Сварка и родственные технологии – сегодня и будущее» (г. Киев, ИЭС им. Е. О. Патона, 5–6.12.2018 г.);

- «Сварка и родственные технологии для изготовления оборудования специального и ответственного назначения» (г. Москва, НПО «ЦНИИТМАШ», 28–30.05.2019 г.).

Информацию о работе исполнительной дирекции АЭ за прошедший период представил д-р техн. наук В. Н. Липодаев (ИЭС им. Е. О. Патона). Она касалась организационной, финансовой и информационной деятельности в рамках АЭ.

Представитель Абинского металлургического завода рассказал о производстве сварочной проволоки, используемой для изготовления электродов. Мнениями о ее качестве поделились директор Новооскольского электродного завода Ю. А. Глушков и технический директор электродного завода в Санкт-Петербурге С. Н. Фролов.

На собрании исполнительный директор ПАО «ПлазмаТек» Ю. Н. Омельчук выступил с предложением провести научно-практический семинар АЭ по сварочным материалам в 2019 г. в г. Гомеле (Беларусь) с посещением производственных площадей Светлогорского электродного завода. Предложение было принято. Намечено провести семинар в июне месяце.

Директор компании ООО «Мелдис-ферро» (г. Челябинск) А. В. Давыдов рассказал об освоении производства широкой гаммы азотированных металлических порошков и ферроматериалов, ко-

торые эффективно могут быть использованы при разработке и производстве сварочных материалов.

На собрании Совета в состав АЭ были приняты 4 новых организации. Это ООО «ПЛАН-Т» и ООО «Нефтегазмаш» (г. Киев, Украина), ООО

«ИТЭК» (г. Москва, РФ) и ООО «ОЛИВЕР» (г. Минск, Беларусь). Во время дружеского ужина было продолжено обсуждение актуальных задач совершенствования производства и реализации сварочных материалов

В. Н. Липодаев, З. А. Сидлин

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ-2018

С 20 по 23 ноября в г. Киеве на территории Международного выставочного центра состоялся XVI Международный форум — мероприятие, которое с 2005 г. входит в перечень ведущих мировых промышленных выставок, официально сертифицированных и признанных Всемирной ассоциацией выставочной индустрии (UFI) и год за годом остается крупнейшим в Украине выставочным событием машиностроительной тематики.

Организатором выставки выступил Международный выставочный центр, обеспечивший прекрасные условия для многих компаний и заводов, которые не первый год выбирают Промышленный форум в качестве площадки для демонстрации своих новейших разработок и места встречи с широким кругом специалистов и потенциальных партнеров.

В Международном промышленном форуме-2018 приняла участие 352 предприятия и компании из 32 стран мира. В частности, Китай, Чехия и Турция сформировали свои национальные экспозиции. Общая площадь экспозиции составила 22000 м², выставку посетили свыше 12000 специалистов.

В рамках форума состоялись следующие международные специализированные выставки:

- Металлообработка (металлообрабатывающие технологии, оборудование)
- УкрВторТех (комиссионная техника, оборудование)
- УкрЛитье (оборудование и технологии для литейного производства)
- УкрСварка (технологии, оборудование и материалы)
 - Гидравлика. Пневматика
 - Подшипники (подшипники качения, скольжения, свободные детали: шарики, ролики, втулки стяжные, технологии, оборудование и инструмент для производства подшипников)
 - УкрПромАвтоматизация (автоматизация производства, автоматизированные системы управления технологическими процессами, автоматизация объектов промышленности)
 - Подъемно-транспортное, складское оборудование
 - Образцы, стандарты, эталоны, приборы (контрольно-измерительные приборы, лаборатор-

ное и испытательное оборудование, метрология, сертификация)

- Безопасность производства (средства защиты, безопасность рабочей зоны)
- Национальная экспозиция предприятий из Турции.

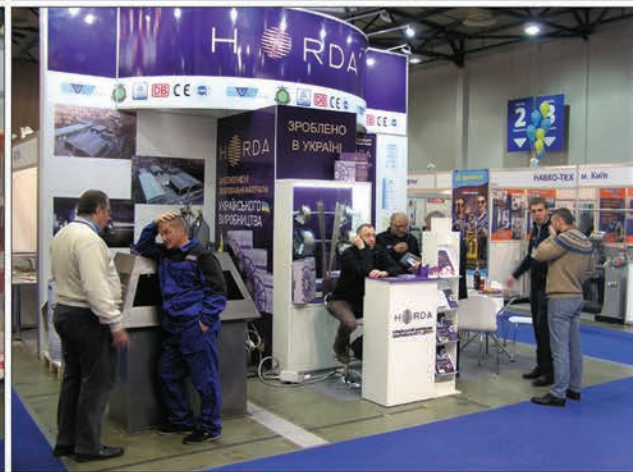
Первый вице-премьер-министр Украины — министр экономического развития и торговли Украины Степан Иванович Кубив посетил Международный промышленный форум, выступил на его открытии, а затем внимательно ознакомился с экспозициями предприятий машиностроительной отрасли Украины.

Предприятия отечественного машиностроительного комплекса достойно продемонстрировали на стендах свою продукцию и разработки. Направление металлообработки традиционно представили ПТФ «Авантис» (г. Житомир), компания «MIOS» (г. Дрогобыч), ПАО «Пригма-Пресс» (г. Хмельницкий), Мотор Сич (г. Запорожье), Черниговский механический завод и другие.

В области приборостроения и промышленной автоматизации выступили со своими разработками ООО «Микра» (г. Киев), ООО «Микрол» (г. Ивано-Франковск), ООО «Новотест» (г. Новомосковск), фирма «Технополис» (г. Киев) и другие компании. Среди производителей грузоподъемного и складского оборудования можно отметить завод «Кранкомплект» (г. Запорожье), Александрийские крановые системы, НПГ «Станкомпромимпорт» (г. Харьков) и многих других производителей и разработчиков оборудования и технологий.

Вот уже второй год подряд на Промышленном форуме демонстрируют экспозиции значительное количество предприятий-изготовителей лазерного оборудования. Оно было представлено на стендах «Jinan Bodor CNC Machine Co., Ltd» (КНР), ДП «Абпланалп Украина» (г. Киев), инжинирингового подразделения «АЛИСТА», ПАО «Днепрополимермаш» (г. Днепр), ООО «Арамис» (г. Черкассы), ООО «Ель-Сел Групп» (г. Киев), ООО «Машинтех» (г. Киев), ООО «Сторожук» (г. Киев).

Традиционно впечатляла безупречным качеством и разнообразием продукции экспозиция промышленного инструмента, в которую вошли постоянные участники — Doss Instrument, ZCC Cutting Tools Europe (Германия), ООО «АВ ПОЛИСТАР» (г. Харьков), Промышленная компания



«Золотое Руно, Украина» (г. Киев), ООО «ПКП Комкор» (г. Днепр), ЧНПП «Микротех» (г. Харьков), ЧП «Пневмомастер» (г. Киев), ООО «Практика Украина» (г. Днепр), ООО «Центр Инновационных Технологий ЛМ» (г. Днепр), ООО «Станкоинструментимпорт» (г. Киев) и другие производители и поставщики инструмента.

Выставочный раздел «Укрсварка» форума включал демонстрацию достижений в таких направлениях:

- оборудование и технологии для сварки и резки;
- оборудование для пайки, наплавки, родственных технологий;
- оборудование для термической обработки материалов и сварных конструкций;
- оборудование и технологии производства сварочных материалов;
- инструменты и материалы для сварки, резки, пайки;
- автоматизация сварочных процессов.

Участники выставки, отечественные и зарубежные компании представили значительное количество оборудования и материалов для внедрения инновационных технологий в сварочную отрасль. На стендах компаний ООО «Идель» (г. Одесса), ООО «КТ Украина» (г. Киев), ПИИ Бинцель Украина, ООО «Фрониус Украина» (Киевская обл.) и ряда других в течение всех четырех дней выставки проходила демонстрация работы оборудования перед широкой аудиторией специалистов.

Среди отечественных лидеров в области сварки и родственных технологий свою продукцию и тех-

нологии представили: ЗАО «Машиностроительный завод Вистек» (г. Бахмут, Донецкая обл.), ООО «Витаполис» (Киевская обл.), ООО «Завод автогенного оборудования ДОНМЕТ» (г. Краматорск, Донецкая обл.), ООО «Энергия Сварка» (г. Запорожье), ООО «Сумы-Электрод», ООО «НПФ Техвагонмаш» (г. Кременчуг, Полтавская обл.), ТМ.Велтек (г. Киев), Триада ЛТД (г. Запорожье) и другие.

Впервые среди участников выставки «Укрсварка» — компания ООО «Оливер» (г. Минск). Она познакомила посетителей с широкой гаммой современных сварочных материалов (проволок и покрытых электродов) производства ООО «Оливер».

Робототехнические комплексы на выставочных стендах ООО «Бинцель Украина ГМБХ» (Киевская обл.), ООО «КБ Роботикс Инженерия» (Киевская обл.), ООО «Саммит» (г. Днепр), ООО «Техвагонмаш» (г. Кременчук, Полтавская обл.), ООО «Триада ЛТД» (г. Запорожье), ООО «Фанук Украина» (г. Киев) постоянно привлекали внимание специалистов.

Оборудование для плазменной резки было представлено на стендах украинских производственных компаний ООО «Артель ЛТД» (г. Николаев), ОДО «Зонт», ООО «Станкосервис-Юг» (г. Одесса), НПП «Техмаш» (г. Одесса), а также ООО «Фаворит АМ» (г. Львов).

Сопоставляя Промышленный форум-2018 с ранее проведенными, можно отметить возрастающее внимание к инновационным технологиям, опыту внедрения их в отечественном производстве и расширению рынка сбыта продукции в европейском направлении.

А. Т. Зельниченко, В. Н. Липодаев

XI Міжнародна спеціалізована виставка
КИЇВСЬКИЙ
ТЕХНІЧНИЙ ЯРМАРОК

МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
 Україна, м. Київ, Броварський пр-т, 15
 тел.: (044) 201-11-58, 201-11-65, 201-11-56
 e-mail: alexk@iec-expo.com.ua
 www.iec-expo.com.ua, www.tech-expo.com.ua

2-5 квітня
2019

Генеральний інформаційний партнер: **ІНСТРУМЕНТ**
 Ексклюзивний медіа партнер: **ГОЛОВНОГО ІНЖЕНЕРА**
 Технічний партнер: **Real Media**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ — НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ»

5-6 декабря 2018 г. в Киеве в конференц-центре «ДЕПО» прошла представительная Международная конференция «Сварка и родственные технологии – настоящее и будущее», организованная Национальной академией наук Украины, Институтом электросварки им. Е. О. Патона, Международным институтом сварки и Международной Ассоциацией «Сварка». Конференция была посвящена 100-летию юбилею Национальной академии наук Украины. В ней приняли участие свыше 200 представителей академических институтов, отраслевых НИИ, университетов, научных, проектно-конструкторских и инженерных центров, промышленных и коммерческих предприятий, руководителей и менеджеров бизнес-структур и др. В числе участников конференции зарубежные ученые из Австрии, Болгарии, Великобритании, Германии, Грузии, Израиля, Казахстана, Канады, КНР, Польши, Словакии, Швейцарии. Среди по-

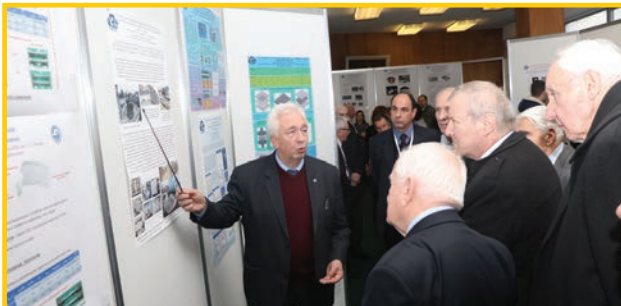
четных гостей конференции — Исполнительный директор Международного института сварки г-жа Сесиль Мейер.

Началу работы конференции предшествовали музыкальное приветствие коллектива струнного ансамбля «Киевские солисты» и приветствия вице-президента НАН Украины академика А. Г. Наумовца и президента Академии наук провинции Гуандун (Китай) г-на Ляо Бина.

В течение 5 декабря и первой половины 6 декабря были заслушаны и обсуждены на пленарных заседаниях 18 докладов ученых о наиболее важных научных и прикладных достижениях, полученных в последние годы в области сварки и родственных технологий, а также перспективного развития этих направлений.

Среди докладчиков были известные ученые Ляо Бин (Китай), У. Райсген (Германия), А. Пьетрас (Польша), Л. Гельман (Великобритания), С. И. Кучук-Яценко (Украина), Л. М. Лобанов





(Украина), И. В. Кривцун (Украина), В. Т. Назарчук (Украина), Ш. Кайтель (Германия), Я. Клейман (Канада), М. Белоев (Болгария), В. В. Квасницкий (Украина), Н. Енцингер (Австрия), Ф. Коленич (Словакия), И. С. Гах, З. Т. Назарчук, В. М. Нестеренков, С. В. Ахонин (Украина).

Пленарный доклад Б. Е. Патона «Современные достижения и разработки ИЭС им. Е. О. Патона в области сварки и родственных технологий» был представлен Л. М. Лобановым.

6 декабря параллельно с основными докладами конференции на молодежной секции «Сварка и родственные технологии» были заслушаны доклады молодых специалистов.

Во второй половине дня 6 декабря в читальном зале ИЭС им. Е. О. Патона были представлены свыше 150 стендовых докладов. Экспозиция включала следующие разделы:

- технологии, материалы и оборудование для сварки и родственных технологий (52 доклада);
- прочность, напряженно-деформированное состояние, неразрушающий контроль, техническая диагностика (30 докладов);
- инженерия поверхности (28 докладов);
- экология, сварка в медицине, новые материалы, аттестация и стандартизация сварочного производства (15 докладов);

• секция молодых специалистов (27 докладов). Обмен мнениями при обсуждении научной информации был взаимно полезен.

К началу работы конференции были изданы пленарные доклады в виде спаренных выпусков журнала «Автоматическая сварка» (№ 11-12, 2018 г.) и «The Paton Welding Journal» (№ 11-12, 2018 г.), а также Сборник тезисов стендовых докладов.

Во время конференции для ее участников была предоставлена возможность ознакомиться с обновленной экспозицией демонстрационного зала ИЭС им. Е. О. Патона.

6 декабря состоялся также XX Совет Международной Ассоциации «Сварка», на котором обсуждались результаты работы Ассоциации за отчетный период и направления работ на перспективу. Решением Совета МАС продлены полномочия Президента Совета МАС академика Б. Е. Патона и директора МАС канд. физ.-мат. наук А. Т. Зельниченко до 2020 г.

7 декабря для участников конференции из Болгарии и Польши была организована поездка на завод компании «Вита Полис» (г. Боярка, Киевская область), где они ознакомились с производством сварочных проволок из нержавеющей и специальных сталей, ранее в Украине не выпускавшихся.

А. Т. Зельниченко, В. Н. Липодаев

Новые источники питания Fronius для ручной TIG сварки*

Компания Fronius предлагает своим заказчикам широкий ассортимент продукции, которая соответствует задачам и удовлетворяет требования клиентов. Сварочные системы Fronius подходят для широкого спектра сварочных процессов и применения в различных отраслях. Например, их можно использовать на крупных промышленных предприятиях, в среднем и малом бизнесе, в мастерских предприятий. Для достижения оптимальных результатов в процессе ручной сварки только надежной работы недостаточно, сварочные системы должны быть мощными и простыми в использовании. Большое значение придается длительному сроку эксплуатации и высокому качеству работы.

Компания Fronius представила новую модель сварочной системы TransSteel 2200 — первый однофазный инверторный источник питания для сварки MIG/MAG, который поддерживает несколько процессов и обеспечивает эффективную сварку стали. TransSteel 2200 — компактный источник питания «три в одном», одновременно поддерживает три сварочных процесса: сварку стержневым плавящимся электродом, сварку металлической проволокой в газовой среде (MIG/MAG) и сварку вольфрамовым электродом в среде инертного газа (TIG).

Этот универсальный источник обеспечивает наилучшее качество при сварке MIG/MAG, TIG, сварке стержневым электродом. Большое преимущество TransSteel 2200 — в различных сварочных характеристиках, в частности, для сварки алюминия и медно-кремниевых сплавов. TransSteel 2200 оснащен вторым газовым магнитным клапаном, позволяющим легко переключаться с процесса MIG/MAG на процесс TIG. Пользователям понравится и простота использования модели: меню управления удобно и понятно. Идеальные сварные швы можно выполнять тремя простыми действиями. В этом источнике питания есть функция, позволяющая для выбранного параметра плавкого предохранителя сети максимально долго выполнять сварочные операции, что достигается плавным автоматическим регулированием сварочного тока. При этом обеспечивается неизменно высокое качество сварки. Функция автоматической компенсации коэффициента мощности (PFC) сглаживает пики потребления электроэнергии, позволяет более эффективно использовать имеющуюся мощность, а также использовать более длинные сетевые кабели, обеспечивая увеличенный радиус действия устройства.

Компания Fronius предлагает также новую серию источников питания TIG — MagicWave 230i, MagicWave 190 и TransTig 230i. Благодаря быстрым сигнальным процессорам указанные модели неизменно поддерживают точную форму кривой тока, обеспечивая максимальную стабильность дуги при минимальном уровне шума. Корпуса этих устройств отличаются прочностью и надежностью. Для сварки стали нужен особо прочный и надежный аппарат, способный безупречно работать и в сложных условиях, характерных при изготовлении стальных конструкций, строительстве трубопроводов, кранов и железнодорожного подвижного состава.

Для улучшения метода сварки вольфрамовым электродом в среде инертного газа (TIG), компания Fronius постоянно совершенствует свое оборудование и технологии. При сварке TIG дуга горит между вольфрамовым электродом и металлической деталью в бескислородной среде химически нейтрального газа. Сварщик может подавать присадочный материал в дугу в виде стержня или проволоки, которые расплавляются и обеспечивают необходимое заполнение сварного шва. Благодаря защитному инертному газу в жидкой сварочной ванне не возникают химические реакции. Это дает возможность получать очень чистые сварные швы с чрезвычайно высокими механическими и технологическими свойствами. Поэтому сварка TIG является лучшим выбором там, где предъявляются особые требования к сварным швам, а также в тех отраслях, где требуются герметичные сварные швы, например, в пищевой промышленности или при строительстве резервуаров. Сварочный процесс TIG характеризуется концентрированной и стабильной дугой, гладким и равномерным сварным швом без шлаков, отсутствием брызг в процессе сварки практически во всех положениях, что в результате обеспечивает максимально высокое качество шва. Создав новую серию источников питания TIG: MagicWave 230i, MagicWave 190 и TransTig

* Статья на правах рекламы.



TransSteel 2200 — первый однофазный инверторный источник питания Fronius для сварки MIG/MAG. Отлично подходит для сварки стали в мастерских, во время выполнения строительных, ремонтных работ и технического обслуживания



Источник питания MagicWave 230i может обмениваться данными с другими устройствами через интерфейсы Bluetooth, Wi-Fi и NFC

230i, компания Fronius предлагает заказчикам необходимое оборудование и технологии для решения почти любых сварочных задач. При разработке серии основное внимание уделялось цифровым и сетевым функциям, расширению спектра возможных применений, простоте эксплуатации и высоким скоростям наплавки.

Все большее значение в производственных цехах, связанных компьютерными сетями, приобретают коммуникационные возможности. Поэтому компания Fronius разработала новый источник питания TIG MagicWave 230i. Эта модель, а также TransTig 230i DC являются первыми источниками питания Fronius, которые могут обмениваться данными с другими устройствами через интерфейсы Bluetooth, Wi-Fi и NFC. Порты USB позволяют установить обновление программного обеспечения и записывать данные сварочных процессов. Интеллектуальный высокочастотный (HF) поджиг обеспечивает идеальные характеристики, а благодаря инновационной технологии компенсации коэффициента мощности (PFC) эти устройства являются чрезвычайно энергоэффективными. Усовершенствованный компактный охлаждающий модуль обеспечивает продолжительный срок службы.



Источник питания MagicWave 190 идеально подходит для сварки черной и нержавеющей стали и алюминия

Модель MagicWave 230i доступна в версии с поддержкой нескольких напряжений питающей сети. Водозащищенный силовой разъем Fronius Power Plug дает возможность быстро и легко заменить сетевой кабель или вилку, благодаря чему MagicWave 230i можно использовать в любой стране мира и в местах с различными напряжениями сети. MagicWave 230i может питаться от генератора и оборудован защитой от перегрузки до 400 В, поэтому данное портативное устройство можно подключать к сетям с нестабильным напряжением. Прочный корпус обеспечивает продолжительный срок службы и защищает от повреждений. Инженеры Fronius не обошли своим вниманием и удобство эксплуатации модели MagicWave 230i. Благодаря многоязычному интерфейсу пользоваться источником питания очень просто. С помощью

кнопок быстрого доступа сварщик может легко загрузить и задать необходимые параметры сварки. Еще одним преимуществом является обновленная сварочная горелка. Эргономичная ручка в сочетании с системой замены головок горелки, доступных в стандартной комплектации, повышает комфорт и удобство эксплуатации, точность сварки. Горелка присоединяется к гибкому шланговому пакету с помощью шарнирного соединения, что предотвращает переключивание. Встроенный мощный светодиодный фонарик эффективно освещает зону шва, позволяя сварщику сосредоточиться на своем основном задании — создании идеального сварного шва.

MagicWave 190 и TransTig 230i — компактные универсальные источники с большим потенциалом. Модель MagicWave 190 подходит для сварки таких металлов, как нержавеющая сталь и алюминий. Этот источник питания вырабатывает ток 190 А и имеет очень высокий коэффициент эффективности. Одно из ключевых преимуществ для заказчиков — возможность при необходимости модернизировать модели 190 и 230i с помощью различных функциональных пакетов, обеспечивающих такие возможности, как сохранение параметров сварки, PulsPro для поддержки всех функций импульсной сварки, дополнительную регистрацию данных и мониторинг предельных значений параметров. Последнее свойство предоставляет сварщику возможность устанавливать пределы параметров и контролировать их соблюдение.

Неотъемлемым элементом новой серии является также сварочный источник TransTig 230i с питанием только от постоянного напряжения; выходной ток составляет 230 А. Его можно дополнительно оборудовать системой жидкостного охлаждения. Данная модель подходит для сварки любых металлов, кроме алюминия. Как и MagicWave 230i, TransTig 230i оснащен всеми коммуникационными возможностями. TransTig 230i может обмениваться данными с другими устройствами через интерфейсы Bluetooth, Wi-Fi и NFC. Все сварочные системы доступны в версиях с поддержкой нескольких напряжений, что позволяет использовать их в различных странах и в местах с различными напряжениями сети.

Fronius International — австрийское предприятие с главным офисом в Петтенбахе и отделениями в Вельсе, Тальхайме, Штайнхаусе и Замтледте. Предприятие специализируется на системах для зарядки батарей, сварочном оборудовании и солнечной электронике. Всего штат компании насчитывает 4550 сотрудников. Доля экспорта составляет 89 %, что достигается благодаря 30 дочерним компаниям, а также международным партнерам по сбыту и представителям Fronius более чем в 60 странах. Благодаря первоклассным товарам и услугам, а также 1242 действующим патентам, Fronius является лидером в этой области технологий на мировом рынке.



ООО «ФРОНИУС УКРАИНА»
 07455, Киевская обл., Броварской р-н,
 с. Княжичи, ул. Славы, 24
 Тел.: +38 044 277-21-41; факс: +38 044 277-21-44
 E-mail: sales.ukraine@fronius.com
 www.fronius.ua

Роботизация сварочных производств — аргументы «ЗА»

В недалеком прошлом в машиностроении Украины сложился стойкий стереотип, что промышленные роботы — это дорогая техника, требующая высокопрофессионального персонала, и ее рационально применять в условиях массового или крупносерийного производства. Этот миф основан на следующем.

Во-первых, при расчете эффективности внедрения робототехнического комплекса (РТК) зачастую применяется неполная методика. Учитывается прямая сдельная зарплата сварщика, но при этом упускаются:

- прямые и косвенные налоги на основную заработную плату;
- дополнительная заработная плата;
- расходы на содержание подсобных помещений (раздевалки, душ, туалеты, столовые и т.п.);
- коэффициент, учитывающий возможность непрерывной работы РТК за счет отсутствия сменности работ, отпусков, больничных, непроизводительных потерь;
- снижение затрат на сварочные материалы (проволока, защитный газ) и электроэнергию;
- уменьшение трудоемкости на зачистку сварных швов;
- исключение затрат на обучение и переаттестацию квалифицированных сварщиков.

Во вторых:

▪ нежелание и неумение персонала предприятия вникать в новые технологические процессы. Отсюда появляются вынужденные административные меры — привлечение новых специалистов дополнительно к имеющемуся персоналу, что ставит под удар окупаемость инвестиций и создает антагонизм в коллективе. Здесь же следует сказать о проблематичности привлечения в проект оператора-программиста РТК должного уровня подготовки.

В третьих:

▪ считается, что роботизированная сварка предназначена для больших объемов продукции — например, серийного производства автомобилей. При этом модельный ряд не должен меняться в течение ряда лет;

▪ недостаточная гибкость РТК. Большинство руководителей считают, что их предприятия производят слишком маленькие партии товаров для того, чтобы инвестировать в роботизированную систему.

В четвертых:

▪ робототехнические комплексы часто ломаются, их ремонт дорогостоящий и занимает много времени. Сложно найти специалистов по ремонту и обслуживанию.

Таковы основные мифы, которые заставляют думать о том, что промышленные роботы — это дорогая техника, требующая высокопрофессионального персонала и её рационально применять лишь в условиях массового или крупносерийного производства.

Теперь о том, как обстоят дела по изложенным проблемам на самом деле.

По первому вопросу.

Привлекая реальные исходные данные экономической эффективности применения РТК своего предприятия, вы получите ожидаемый срок окупаемости инвестиций, что поможет принять обоснованное решение. Рекомендация — исходные данные должны отражать реальные значения, а не быть «притянуты за уши».

В результате вы получите срок окупаемости инвестиций и сможете принять обоснованное решение.

По второму вопросу.

С момента появления сварочных роботов производители постоянно совершенствовали процесс написания рабочих программ, стремясь его максимально упростить и тем самым облегчить жизнь будущего оператора-программиста. Сегодня эта проблема решена с помощью программы Kinetiq, разработанной фирмой «Robotiq» (Канада) — принципиально новой программы обучения роботов. Существуют подобные программы и у других разработчиков. Данная технология позволяет оператору руками перемещать сварочную горелку робота вдоль всей линии сварного шва, а затем с помощью пульта внести в память траекторию движения и определить параметры сварки.

По третьему вопросу.

Современные РТК способны в автоматическом режиме производить быструю замену инструмента. Поэтому целесообразно окружить устройство роботизированной сварки различными сменными инструментами. Робот можно запрограммировать, чтобы он весь день работал только в положении А с определенным комплектом инструмента, или попеременно — в положениях А, В и С, производя мелкие партии каждой детали. Гнезда для инструментов разработаны для быстрой замены. Оператору достаточно всего пары движений для полной



Роботизированный комплекс для сварки задних бортов самосвалов

ИНФОРМАЦИЯ

смены одного комплекта на другой. Робот хранит в памяти множество разных программ и остается лишь переключить программу, чтобы робот начал сварку совершенно другой детали.

Приведем всего лишь несколько примеров конфигурации РТК.

Вам не нужно самостоятельно подбирать конфигурацию и комплектацию РТК. Вам необходимо правильно составить техническое задание на требуемый комплекс и обратиться к специалистам.

Научно-производственная фирма «Техвагонмаш» на протяжении 10 лет является интегратором роботов Fanuc в Украине. Как правило, предложение включает несколько вариантов решения задачи.

Вам останется сделать выбор в пользу одного из них. Наше предприятие кроме поставки оборудования производит монтаж, разрабатывает технологию, обучает персонал заказчика.



Роботизированный комплекс для сварки поперечных балок вагонов



Роботизированный комплекс для сварки стенок контейнеров



Роботизированный комплекс для сварки отопительных котлов



Роботизированный комплекс для сварки боковых бортов самосвалов

По четвертому вопросу.

Современные комплексы, как правило, оснащены выходом USB, что позволяет переносить в память робота программы, созданные удаленно при помощи offline программирования. Кроме того, имеется функция подключения к сети Internet для online связи с поставщиком, осуществляющим гарантийное или послегарантийное сопровождение. Как показывает практика, 99 % сбоев комплекса происходит из-за ошибки оператора или программиста РТК (неправильно установленная в РТК деталь, некачественная сборка под сварку, ошибка при создании программы и т.п.). Эти ошибки легко диагностируются и устраняются на месте. Оставшийся 1 % — сбой программы. Диагностика и устранение производится дистанционно без потерь времени. В крайне редких случаях требуется выезд специалиста-интегратора на место. Здесь решающий фактор — географическая удаленность и обязательность поставщика. Условия гарантийного или послегарантийного обслуживания должны быть обязательно учтены в договоре на поставку.

Еще несколько доводов в пользу эффективности РТК.

Повышение производительности

Один из основных способов обосновать затраты на робота, это сравнить производительность РТК с производительностью, которую вы имеете в данный момент с применением ручной или полуавтомати-

ческой сварки. Во многих случаях сварка роботом выполняется в 2-5 раз быстрее, чем любым другим способом. Это значит, что за каждый час вы выпустите в 2-5 раз больше деталей, чем выпускаете сейчас. Например, система тандемной сварки MIG, которая одновременно использует две дуги, объединенные роботом, может в разы увеличить производительность.

Высокая надежность

Давайте признаем, наемные рабочие иногда бывают ненадежными, они могут не появиться на работе, у них может быть неудачный день. Роботы надежны, они могут работать круглосуточно, без отдыха или обеденного перерыва. К тому же, с роботами вы забудете, что такое текучка кадров. Они лояльны к вашей компании и не уйдут, после того как вы их обучите.

Возможность увеличить объемы

Когда вы подпишете новый контракт, или захотите расширить диапазон выполняемых работ, роботы с легкостью справятся с дополнительным объемом. А поскольку они занимают меньше рабочего пространства, чем люди, по мере расширения производства вам не придется волноваться о зданиях, аренде или покупке дополнительных площадей. В большинстве случаев роботы окупаются в течение полугода.

Гарантированное качество

Каждый раз робот будет выполнять одинаковую сварку в одной и той же точке. Таким образом, он помогает производителю повысить качество и эффективность. С роботами компания инвестирует в товар наперед, без необходимости исправлять дефекты после их возникновения, как это часто бывает с ручной или полуавтоматической сваркой.

Для проверки сварных швов, выполненных роботом, обычно достаточно визуального осмотра. При полуавтоматической или ручной сварке могут понадобиться дополнительные испытания, такие как выборочный разрушающий контроль, радиография или цветная дефектоскопия.

Экономия на сварочном материале

Покупка робота сократит наложения слишком большого шва, что часто возникает при ручном исполнении. При работе электросварщика запас прочности уже заложен в каждый сварной шов, который он выполняет. В результате он, как правило, использует больше присадочного металла, чем необходимо, а также делает чрезмерное усиление шва. Точность робота намного выше, он использует ровно столько присадочного материала, сколько необходимо. К тому же, при роботизированной сварке меньше разбрызгивания и, как следствие, расход сварочной проволоки ниже на 10-15 %.

Сокращение затрат на обучение

Как мы уже говорили, сегодня очень сложно найти квалифицированного рабочего. В меняющихся экономических условиях оказывается, что на рынке труда не хватает квалифицированных сварщиков. Все больше молодых людей стремятся получить высшее образование. Это означает нехватку молодых специалистов, которые заменили бы специалистов пенсионного возраста. Компании тратят огромные суммы денег на поиск и обучение сварщиков, намного больше, чем они сами осознают. Более того, при работе, требующей соблюдения правил технической эксплуатации, сварщики постоянно должны проходить переподготовку и подтверждать свои навыки. Некоторые предприятия даже обеспечили работников собственными учебными центрами. По сравнению с оплатой труда квалифицированного сварщика, намного дешевле нанять кого-то, кто просто будет загружать и разгружать РТК.

Контроль за качеством во время сварки

Современное программное обеспечение роботов позволяет компаниям улучшить процесс контроля производства. Например, ПО слежения за дугой, которое следит, записывает и составляет отчеты с данными сварки в режиме реального времени. Данные могут поступать в центральную базу хранения через интернет (локальную сеть). Другое ПО автоматически исправляет ошибки и обеспечивает быстрое решение проблемы в случае неожиданной ошибки робота, если она возникнет. И в завершение, защита паролем и ведение журнала событий обеспечат текущую сводку любых изменений в процессе роботизированной сварки за определенный период времени. Все эти пакеты ПО разработаны, чтобы помочь компаниям поддерживать высокий стандарт качества даже в случае замены персонала.

Заключение

Надеемся, эти аргументы помогут вам принять обоснованное решение в пользу роботизации вашего производства. Для большинства производителей роботизация и автоматизация должны быть лишь вопросом времени. Если вы собираетесь установить робота впервые, выбирайте надежного интегратора, который в тесном сотрудничестве с вами разработает систему, соответствующую вашим индивидуальным пожеланиям. Для любого проекта по автоматизации сварки также важны техническая поддержка и обучение. Помните, что задачи автоматизации и роботизации — снизить производственные затраты и повысить качество сварки.

Будьте уверены, роботы помогут Вам в достижении этих целей!

Шалаевский И.Н., начальник отдела маркетинга.
ООО «Научно-производственная фирма «Техвагонмаш».



Межотраслевой учебно-аттестационный центр
Института электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины



Программы профессиональной подготовки на 2019 г.

Шифр курса	Наименование программы		Продолжительность	Сроки проведения		
1. Повышение квалификации инженерно-технических работников						
101	Подтверждение профессиональной компетентности координаторов (руководителей) сварочных работ согласно ДСТУ ISO 14731 «Координация сварочных работ. Задачи и функции»		сертификация	3 недели (112 ч)	июнь, октябрь	
102			ресертификация	24 ч	март, июнь, ноябрь	
103	Расширение области аттестации координаторов (руководителей) сварочных работ			6 ч	апрель, ноябрь	
106	Техническое руководство сварочными работами при ремонте действующих трубопроводов (под давлением)		подготовка и аттестация	2 недели (72 ч)	по мере комплектования групп	
107			переаттестация	22 ч		
109	Техническое руководство работами по контактной стыковой сварке железнодорожных рельсов.			72 ч	март	
111	Подготовка и аттестация председателей комиссий по аттестации сварщиков - экспертов Украинского аттестационного комитета сварщиков (УАКС)			3 недели (112 ч)	декабрь	
112	Расширение области аттестации председателей комиссий по аттестации сварщиков - экспертов УАКС (согласно НПАОП 0.00-1.16-96)			8 ч	январь, май, октябрь	
1121	Расширение полномочий экспертов УАКС на право аттестации сварщиков согласно ДСТУ EN ISO 9606-1			24 ч	по мере комплектования групп	
1122	Расширение полномочий экспертов УАКС на право аттестации сварщиков пластмасс согласно ДСТУ EN 13067			72 ч		
113	Подготовка и аттестация членов комиссий по аттестации сварщиков:	специалистов технологических служб, отвечающих за организацию аттестации сварщиков		2 недели (72 ч)	по мере комплектования групп	
114		специалистов служб технического контроля, отвечающих за контроль сварных соединений (включая специальную подготовку к аттестации по визуально-оптическому методу контроля)		2 недели (74 ч)		
115		специалистов служб охраны труда предприятий		2 недели (74 ч)		
116	Расширение области аттестации членов комиссий по аттестации сварщиков - специалистов технологических служб по сварке (согласно НПАОП 0.00-1.16-96)			6 ч	ноябрь	
117	Расширение полномочий членов комиссий по аттестации сварщиков - специалистов технологических служб по сварке на право аттестации сварщиков согласно ДСТУ EN ISO 9606-1			24 ч	по мере комплектования групп	
118	Расширение полномочий членов комиссий по аттестации сварщиков - специалистов по техническому контролю на право аттестации сварщиков согласно ДСТУ EN ISO 9606-1			24 ч		
119	Подтверждение полномочий (переаттестация) председателей комиссий по аттестации сварщиков - экспертов УАКС:			20 ч	январь, апрель, май, июль, сентябрь, ноябрь	
120	Подтверждение полномочий (переаттестация) членов комиссий по аттестации сварщиков:	специалистов технологических служб по сварке		20 ч	апрель, май, июль, сентябрь	
121		специалистов по техническому контролю		16 ч		
122		специалистов по техническому контролю (включая спец. подготовку к аттестации по визуально-оптическому методу контроля)		36 ч		
123		специалистов по охране труда		16 ч		
130	Переподготовка специалистов сварочного производства по программам Международного института сварки (МИС) с присвоением квалификации:	Международный инженер по сварке		453 / 128 ч ¹	апрель, ноябрь	
132		Международный технолог по сварке		372 / 91 ч ¹		
134		Международный специалист по сварке		248 / 60 ч ¹		
135		Международный практик по сварке		114 ч	по согласованию с МИС	
136		Международный дизайнер (конструктор) по сварке		40 ч		
137		Международный инспектор по сварке	полного уровня			230 ч
140			стандартного уровня			170 ч
139		базового уровня		115 ч	сентябрь	
149		специалистов, которые имеют квалификацию «Международный инженер / технолог по сварке»		76 / 78 ч		
141	Металлографические исследования металлов и сварных соединений		специальная подготовка и аттестация	2 недели (72 ч)	июль	
142			переаттестация	22 ч	май, июль, сентябрь	
143	Физико-механические испытания материалов и сварных соединений		специальная подготовка и аттестация	2 недели (72 ч)	по мере комплектования групп	
144			переаттестация	20 ч		
145	Эмиссионный спектральный анализ (стилюскопирование) металлов и сплавов		специальная подготовка и аттестация	2 недели (74 ч)		
146			переаттестация	22 ч		
151	Производство сварочных материалов: организация, технологии и системы управления качеством			2 недели (72 ч)	по согласованию с заказчиком	
152	Ремонт, восстановление и упрочнение изношенных деталей					
153	Технологические процессы и обеспечение качества в авиастроении					76 ч

Тематические семинары (возможно проведение на территории заказчика)			
161	Нормативно-техническая документация в сварочном производстве, состояние и перспективы	2 дня (16 ч)	март, июнь
162	Обеспечение качества сварки. Требования национальных и международных стандартов	2 дня (16 ч)	апрель, июнь, октябрь
163	Изготовление конструкций из стали согласно требований ДСТУ EN 1090	32 ч	февраль

2. Повышение квалификации педагогических работников системы профессионально-технического образования в области сварки

203	Повышение квалификации мастеров (инструкторов) производственного обучения по сварке с присвоением квалификации «Международный практик по сварке (IWP)»	112 ч	по согласованию с заказчиком
204	Повышение квалификации преподавателей специальных дисциплин профессионально-технических учебных заведений по направлению «Сварка» с присвоением квалификации «Международный специалист по сварке (IWS)»	72 ч	

3. Профессиональная подготовка, переподготовка и повышение квалификации квалифицированных рабочих в области сварки и родственных технологий

(с присвоением квалификации в соответствии с национальной и международной квалификационными системами)

Курсовая подготовка СВАРЩИКОВ:

301	ручной дуговой сварки покрытыми электродами (с присвоением национальной и международной квалификации)	9 недель (356 ч)	постоянно, (индивидуальная подготовка по модульной технологии)
302	ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (TIG) (с присвоением национальной и международной квалификации)	5 недель (192 ч)	
303	газовой сварки (с присвоением национальной и международной квалификации)	3 недели (116 ч)	
304	механизированной дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах (MIG/MAG) (с присвоением национальной и международной квалификации)	7 недели (276 ч)	
306	автоматической дуговой сварки под флюсом / в защитных газах	3 недели (112 ч)	
307	электрошлаковой сварки	3 недели (112 ч)	
308	контактной (прессовой) сварки (рельсов, промышленных трубопроводов)	3 недели (112 ч)	
309	пластмасс (сварка трубопроводов из полиэтиленовых труб) с аттестацией в соответствии с ДСТУ EN 13067	5 недель (196 ч)	

Подготовка сварщиков по программам Международного института сварки с присвоением квалификации:

310	Международный сварщик угловых швов (IFW) с аттестацией по ДСТУ EN ISO 9606-1	130 – 210 ч ²	постоянно, (индивидуальная подготовка по модульной технологии)
312	Международный сварщик плоских соединений (IPW) с аттестацией по EN ISO 9606-1	250 – 380 ч ²	
315	Международный сварщик труб (ITW) с аттестацией по EN ISO 9606-1	360 - 510 ч ²	
318	Международный практик-сварщик (IWP) с аттестацией по EN ISO 9606-1	35 - 153 ч ²	

Переподготовка СВАРЩИКОВ с присвоением квалификации «Международный сварщик»: (IFW, IPW, ITW)

321	переподготовка сварщиков ручной дуговой сварки покрытыми электродами (MMA) с аттестацией по ДСТУ EN ISO 9606-1	74 - 112 ч ²	постоянно, (индивидуальная подготовка по модульной технологии)
322	переподготовка сварщиков механизированной дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах (MIG/MAG) с аттестацией по ДСТУ EN ISO 9606-1	76 - 118 ч ²	
323	переподготовка сварщиков ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (TIG) с аттестацией по ДСТУ EN ISO 9606-1	74 - 78 ч ²	

Повышение квалификации СВАРЩИКОВ:

330	ручной дуговой сварки покрытыми электродами	2 недели (72 ч)	постоянно, (индивидуальная подготовка по модульной технологии)
331	ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах	2 недели (72 ч)	
332	газовой сварки	2 недели (72 ч)	
333	механизированной дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах (MIG/MAG)	2 недели (72 ч)	
334	механизированной дуговой сварки порошковой проволокой	2 недели (72 ч)	
335	автоматической дуговой сварки под флюсом / в защитных газах	2 недели (72 ч)	
336	электрошлаковой сварки	2 недели (72 ч)	по согласованию с заказчиком

Курсовая подготовка контролеров неразрушающего контроля:

343	Специализация - визуально оптический контроль	72/196 ч ³	индивидуальная подготовка по согласованию с заказчиком
344	Специализация – радиографический контроль	72/196 ч ³	
345	Специализация – ультразвуковой контроль	72/196 ч ³	
346	Специализация – магнитопорошковый контроль	72/196 ч ³	
347	Специализация – капиллярный контроль	72/196 ч ³	

Целевая подготовка и подтверждение квалификации:

362	Персонала, занимающегося нанесением защитных покрытий	электродуговым напылением	3 недели (112 ч)	по согласованию с заказчиком
363		газопламенным напылением	3 недели (112 ч)	
364		детонационным напылением	3 недели (112 ч)	
365		плазменным напылением	3 недели (112 ч)	

ИНФОРМАЦИЯ

366	специалистов по поверхностной закалке колесных пар на установке высокотемпературной закалки УВПЗ - 2М»	72 ч	по согласованию с заказчиком
367	сварщиков механизированной дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах выполняющих наплавку острых, крестовин стрелочных переходов железнодорожных путей с аттестацией согласно СОУ 35.2-00017584-030-1:2009	5 недель (194 часа)	

4. Аттестация персонала сварочного производства

400	Аттестация координаторов (руководителей) сварочных работ в соответствии с ДСТУ ISO 14731	8 ч	проводится по окончании курсов 101-109	
401	Специальная подготовка и аттестация сварщиков в соответствии с правилами НПАОП 0.00-1.16-96 и стандартами ДСТУ EN ISO 9606-1,2,3,4,5, ДСТУ ISO14732	72 ч	постоянно	
402	Дополнительная и внеочередная аттестация сварщиков согласно с НПАОП 0.00-1.16-96	24 ч		
403	Периодическая аттестация сварщиков в соответствии с НПАОП 0.00-1.16-96, ДСТУ EN ISO 9606-1,2,3,4,5	32 ч		
405	Специальная подготовка и аттестация сварщиков авиационной промышленности в соответствии с ДСТУ ISO 24394	72 ч		
406, 457	Периодическая аттестация сварщиков в соответствии с международными (европейскими) стандартами EN ISO 9606-1	24 ч		
407	Специальная подготовка и аттестация операторов автоматической сварки плавлением в соответствии с стандартом ДСТУ ISO 14732	2 недели (72 ч)		
411	Специальная подготовка и аттестация сварщиков на допуск к выполнению сварочных работ при ремонте действующих магистральных трубопроводов (под давлением)	3 недели (112 ч)		по согласованию с заказчиком
412	Периодическая аттестация сварщиков на допуск к выполнению сварочных работ при ремонте действующих магистральных трубопроводов (под давлением)	32 ч		
413	Специальная подготовка и аттестация операторов-сварщиков контактно-стыковой сварки рельсов в соответствии с ДСТУ ISO 14732 и СОУ 35.2-00017584-030-1:2009	2 недели (72 ч)	проводится по окончании курса 308	
414	Аттестация сварщиков пластмасс в соответствии с ДСТУ EN 13067 (сварка трубопроводов из полиэтиленовых труб)		проводится по окончании курса 309	
415	Периодическая аттестация сварщиков пластмасс (сварка трубопроводов из полиэтиленовых труб) в соответствии с ДСТУ EN 13067	32 ч	ежеквартально	
421	Специальная подготовка дефектоскопистов к сертификации согласно ДСТУ EN 9712	ультразвуковой контроль	32 / 36 / 64 (I yr) ч ⁴	индивидуальная подготовка по согласованию с заказчиком
423			40 / 48 / 72 / 80 / 144 (II yr) ч ⁴	
427		радиографический контроль	36 / 40 / 72 (I yr) ч ⁴	
430			40 / 48 / 76 / 80 / 152 (II yr) ч ⁴	
433			16 / 20 / 30 (I yr) ч ⁴	
436	визуально-оптический контроль	20 / 24 / 35 / 40 / 70 (II yr) ч ⁴		
448	Переаттестация сварщиков контактной стыковой сварки железнодорожных рельсов согласно требованиям ДСТУ ISO 14732 и СОУ 35.2-00017584-030-1:2009	32 ч	февраль	

5. Тренинги, тестирование и подтверждение квалификации

501	Профессиональное тестирование и подтверждение квалификации сварщиков механизированной дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах (MIG/MAG)	4 – 12 ч ⁵	по согласованию с заказчиком
502	Профессиональное тестирование и подтверждение квалификации сварщиков ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (TIG)	4 – 12 ч ⁵	
503	Профессиональное тестирование и подтверждение квалификации сварщиков ручной дуговой сварки покрытыми электродами (MMA)	4 – 16 ч ⁵	
512	Практические тренинги по различным способам сварки	8 – 32 ч ⁵	

¹ - Продолжительность обучения определяется в зависимости от базовой профессиональной подготовки и опыта работы в сварочном производстве.

² - Продолжительность обучения зависит от специализации.

³ - Длительность программы определяется по результатам входного тестирования.

⁴ - Продолжительность обучения указывается в направлении ОСП (орган по сертификации персонала).

⁵ - Длительность программы зависит от условий и характера испытаний.

- По согласованию с Заказчиками возможно проведение обучения по другим программам, не вошедшим в данный перечень.
- На период обучения слушателям предоставляется жилье с оплатой за наличный расчет.
- Стоимость обучения определяется при заключении договора.
- Для приема на обучение необходимо направить заявку с указанием шифра курса, количества специалистов и почтовых реквизитов предприятия.

Украина, 03150, г. Киев, ул. Антоновича, 56 Тел. (044) 456-63-30, 456-10-74, 200-82-80, 200-81-09, Факс (044) 456-48-94; E-mail: paton_muac@ukr.net, http://muac.kpi.ua