

АВТОМАТИЧЕСКАЯ АРГОНОДУГОВАЯ СВАРКА ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ПАТРОНОВ С ОТРАБОТАННЫМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ

Академик НАН Украины **К. А. ЮЩЕНКО**, **Г. Г. МОНЬКО**, канд. техн. наук,
Д. В. КОВАЛЕНКО, **В. А. ПЕСТОВ**, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Разработаны технология автоматической аргонодуговой сварки и оборудование для герметизации патронов П-89 из стали 08X18H10T применительно к утилизации отработанного ядерного топлива Чернобыльской АЭС. Разработка технологии автоматической аргонодуговой сварки колпака к патрону и технологии контрольной сварки отвода штуцера для закачки гелия в патрон позволили оптимизировать технические требования к швам для выполнения сварочных работ на монтаже.

Ключевые слова: автоматическая аргонодуговая сварка, контактная сварка, специальная установка, техника и технология сварки, патрон П-89, нержавеющая сталь, отработанное ядерное топливо

В настоящее время для хранения отработанного ядерного топлива (ОЯТ) на ГСП ЧАЭС используют пеналы со 196 патронами П-89 (рис. 1). В дальнейшем захоронение пеналов предусмотрено в построенном на территории ГСП ЧАЭС хранилище отработанного ядерного топлива (ХОЯТ-2).

Патрон для загрузки ОЯТ спроектирован фирмой «Framatome ANP» (Франция) и изготовлен на ОАО «СНПО им. М. В. Фрунзе» (г. Сумы).

Технологию сварки для герметизации патронов отработывали на автоматизированной специализированной установке, разработанной фирмой «Framatome ANP», при приварке (закрывающий шов) колпака к патрону после загрузки ОЯТ с заданным непроваром. После закачки гелия в патрон через отвод штуцера осуществляют контактную сварку, что не регламентировано к применению на АЭС правилами и нормами, действующими в атомной энергетике Украины.

В этой связи необходимо было выполнить следующий объем работ:

разработать технологию сварки и оборудования для приварки колпака к патрону;

выбрать способ сварки и ее оптимальные режимы;

исследовать неразрушающие и разрушающие методы контроля и испытаний для оценки качества сварных соединений патрона;

исследовать коррозионную стойкость сварных соединений;

разработать технологию сварки и оборудования для заварки штуцера патрона;

выбрать способ сварки и определить оптимальные режимы при приварке колпака к патрону после закачки гелия;

использовать неразрушающие и разрушающие методы контроля и испытаний для оценки качества сварных соединений штуцера и патрона;

разработать технологию исправления дефектов, возникших при сварке.

Данная работа выполнена в соответствии с контрактом с фирмой «Framatome ANP», который предусматривал выполнение достаточного количества исследований, необходимых для разработки автоматизированной технологии сварки колпака с патроном и контактной сварки отвода шту-

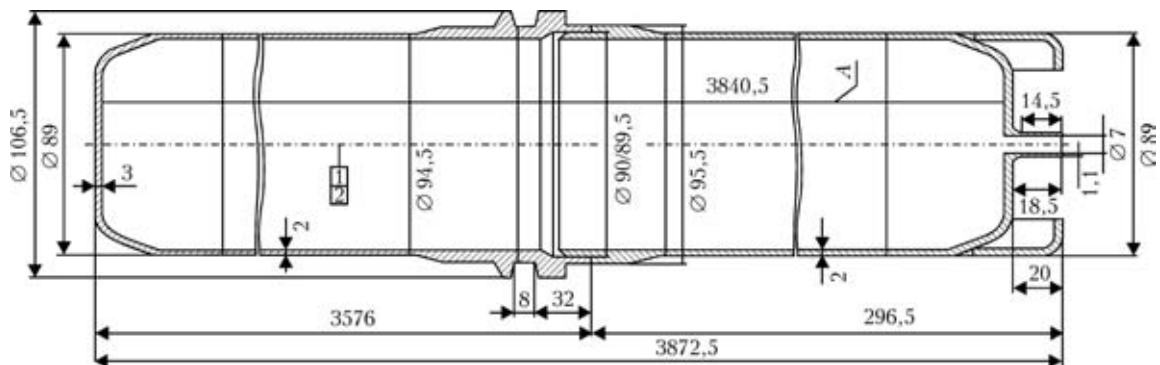


Рис. 1. Схема патрона П-89 для загрузки ОЯТ

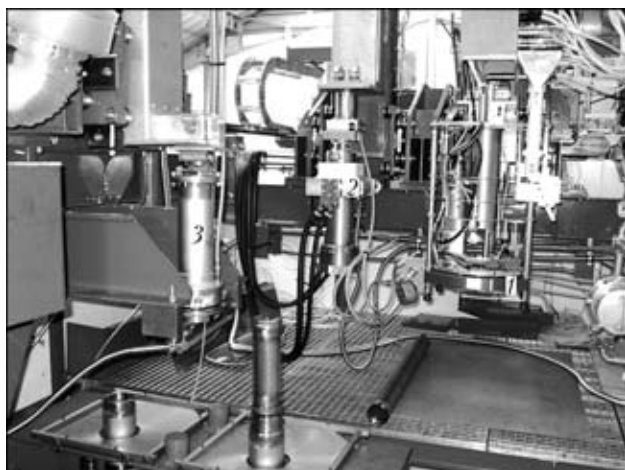


Рис. 2. Общий вид специальной установки для приварки колпака с патроном П-89 в камере: 1 — головка для приварки колпака к патрону; 2 — головка для закачки гелия и приварки герметизации (сварки) отвода штуцера; 3 — головка для контроля патрона на непроницаемость гелием после полного цикла работ по герметизации

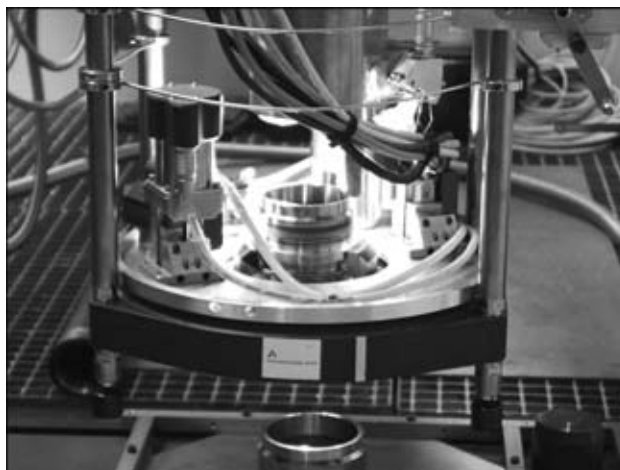


Рис. 3. Общий вид планетарной сварочной головки для выполнения кольцевого шва при сварке колпака с патроном

цера для закачки гелия в патрон на монтажной площадке ГСП ЧАЭС.

В качестве основного конструкционного материала для патрона применена высоколегированная коррозионностойкая нержавеющая сталь 08X18N10T. Корпус патрона представляет собой трубковидный цилиндрический сосуд, имеющий следующие габаритные размеры: общую длину 3872,5 мм; диаметр 89 мм; длину колпака 276,5 мм; длину штуцера для закачки гелия 21,0 мм. Сварные соединения работают при температуре от -40 до 50 °С в условиях интенсивной радиации, вакуум внутри патрона составляет 400 Па.

Для автоматической аргонодуговой сварки колпака с патроном, контактной сварки отвода штуцера для закачки гелия и контроля качества швов патрона и штуцера на проницаемость фирмой «Framatome ANP» создана специальная автоматизированная установка с камерой для полного цикла изготовления двух патронов, которая состоит из трех головок (рис. 2).

Для прихватки и сварки разработаны специальные программы, которые вводятся в память компьютера для управления источником питания «Polysoude» и планетарной сварочной головкой (рис. 3).

Технология автоматической аргонодуговой сварки колпака с патроном, загруженными ОЯТ, осуществляется по определенной схеме (рис. 4). Люминесцентная метка шириной 8 мм на станине совмещается с меткой 0' на планетарной сварочной головке. Эту операцию выполняет оператор в ручном режиме, который находится в безопасном помещении и контролирует ее прохождение по монитору компьютера. Затем он подводит сварочную головку с вольфрамовым электродом на стык и в ручном режиме осуществляет контрольный оборот

на 360° по стыку. Если совпадает положение вольфрама-стык, то выполняется следующая операция. При подготовке к прихватке сварочная горелка автоматически возвращается в положение 0'. После включения программы «Прихватка» сварочная горелка устанавливается в положение 0', после чего автоматически поворачивается на угол 240° , останавливается и при сварочном токе $I_{св} = 80$ А способом касания производится прихватка. На рис. 5 представлена циклограмма прихватки.

После прихватки сварочная головка автоматически отклоняется на угол 60° для того, чтобы на мониторе можно было увидеть качество прихватки. Этот процесс длится 10 с, после чего сварочная горелка возвращается в положение 0'. Если прихватка некачественная (не совпадает с положением вольфрама-стык или др.), то оператор выполняет коррекцию вольфрама на стык и процесс повторяется.

Перед автоматической сваркой колпака с патроном в течение 10...15 с осуществляется продувка всей системы аргоном.

Кнопкой «Пуск» по заданной программе сварки сварочная головка возвращается в положение

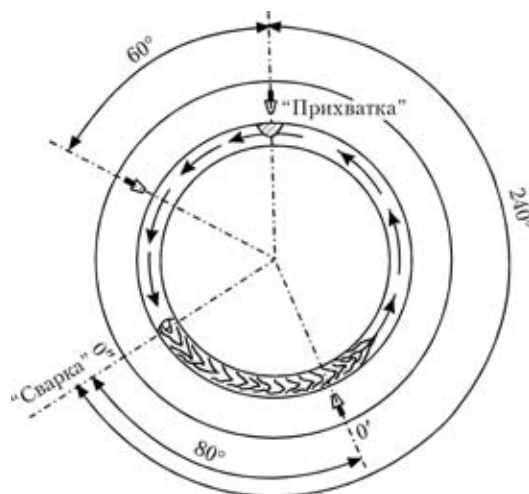


Рис. 4. Схема сварки колпака с патроном

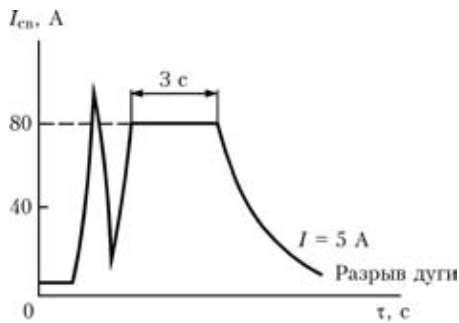


Рис. 5. Циклограмма прихватки колпака к патрону ($U_d = 13$ В)

0'', и на заданном режиме способом касания выполняется автоматическая аргонодуговая сварка колпака с патроном, после окончания которой еще в течение 10 с продолжается подача аргона. На рис. 6 представлена развернутая схема сварки колпака с патроном.

На специальной установке головкой 2 (см. рис. 2) после сварки колпака с патроном осуществляется контактная сварка отвода штуцера для закачки гелия в патрон.

Технология контактной сварки отвода штуцера для закачки гелия в патрон П-89. После приварки колпака к патрону последний поступает на головку 2 (см. рис. 2) специальной установки, где происходит автоматическая закачка гелия в патрон через отвод штуцера, затем сплющивание отвода с усилием P и его контактная сварка, технология которой отработана фирмой «Framatome ANP».

Циклограмма контактной сварки отвода штуцера (рис. 7) включает пять этапов:

зажатие электродов в холодном состоянии (время τ_0 — зажатие с усилием электродов P);

предварительный нагрев при постепенном повышении температуры (линейно нарастающая функция предварительного нагрева в течение τ_1 + + предварительный нагрев в течение τ_2 с интенсивностью I_p);

переходной этап τ_3 в нашем случае сокращен; сварка с линейным нарастанием $I_{св}$ (в течение τ_4 + в течение τ_5);

поддержка зажатия электродов и проковки (τ_6 — зажатие с усилием электродов P).

Опыты, проведенные фирмой «Framatome ANP», подтвердили работоспособность этой спе-

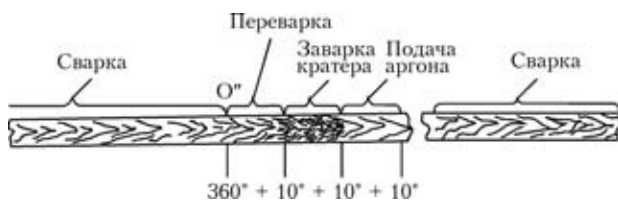


Рис. 6. Развернутая схема сварки колпака с патроном (длина сварного шва $L_{ш} = 298,5$ мм)

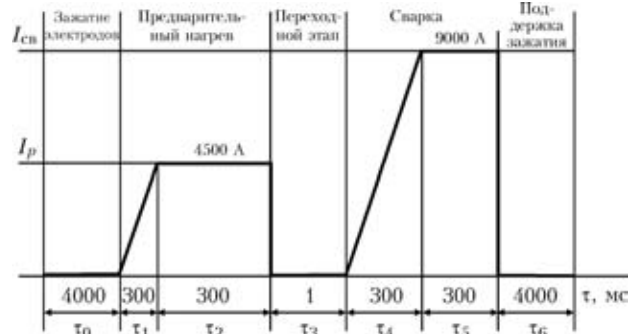


Рис. 7. Циклограмма контактной сварки отвода штуцера для закачки гелия в патрон

циальной установки для контактной сварки отвода штуцера с целью герметизации патрона П-89.

Технология сварки образцов-свидетелей колпака с патроном в ИЭС им. Е. О. Патона. В ИЭС им. Е. О. Патона были проведены опыты по сварке образцов-свидетелей труб с имитацией технологии сварки патронов П-89. Сварку проводили на установке АДСВ-6 с манипулятором сварочным универсальным марки М11010 и источником питания ВСВУ-315У. Сварку выполняли на образцах труб из нержавеющей стали 08Х18Н10Т диаметром 75 мм с толщиной стенки 5,4 мм. Стыковые соединения образца-свидетеля полностью соответствовали чертежам патрона. Образцы-свидетели были получены на режимах сварки, указанных в табл. 1.

Из сваренных образцов-свидетелей изготовлены макрошлифы, исследование которых показало, что с увеличением тока импульса I_n с 120 до 145 А при токе паузы $I_n = 80$ А ширина шва $B_{ш}$ составляет 6,8...7,5 мм, а глубина провара $H_{пр}$ — 2,2...3,0 мм (рис. 8).

Проведены испытания на статическое растяжение при 20 °С (ГОСТ 6996–66, тип XIII) сварных соединений с различной глубиной проплавления, результаты которых представлены в табл. 2.

Анализ свойств сварных соединений, выполненных автоматической аргонодуговой сваркой образцов-свидетелей на трубах диаметром 75 мм из стали марки 08Х18Н10Т, применительно к патрону показал, что швы отличаются достаточно высокой прочностью при минимальной глубине провара $H_{пр} = 1,8...2,0$ мм. Результаты исследований

Таблица 1. Режимы сварки образцов-свидетелей труб

№ образца	I_n/I_n , А	$B_{ш}$, мм	$H_{пр}$, мм
1	120/80	6,8...7,0	2,20...2,40
2	125/80	7,4...7,6	2,60...2,75
3	132/80	7,5...7,6	2,80...2,90
4	145/80	7,3...7,5	2,90...3,00

Примечание. $v_{св} = 6$ м/ч; $U_d = 13$ В; время импульса $\tau_n = 0,2$ с; время паузы $\tau_n = 0,3$ с; расход аргона составлял 9 л/мин.

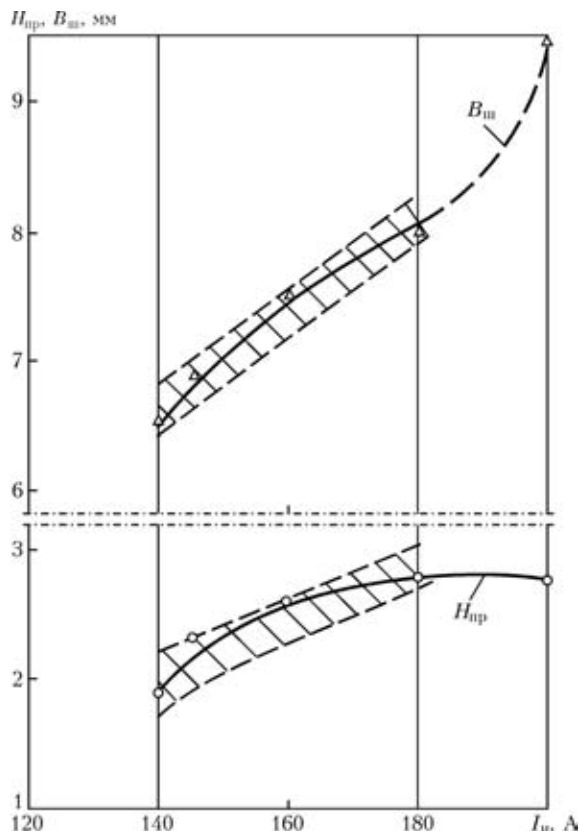


Рис. 8. Влияние тока импульса $I_{и}$ при токе паузы $I_{п} = 80$ А на провар $H_{пр}$ и ширину шва $B_{ш}$ образцов-свидетелей, сваренных в ИЭС им. Е. О. Патона

свидетельствовали о том, что сварное соединение характеризуется стойкостью против межкристаллитной коррозии при испытании по методу АМ (ГОСТ 6032-4).

Технология сварки колпака с патроном П-89 на фирме «Framatome ANR». Были проведены опыты по автоматической аргодуговой приварке колпака с патроном на натуральных образцах с применением специальной установки фирмы «Framatome ANR» на режимах, приведенных в табл. 3.

Исследования макрошлифов показали, что с увеличением тока импульса от 140 до 180 А при токе паузы 80 А глубина провара изменяется от 1,80 до 2,75 мм, а ширина шва — от 6,5 до 8,0 мм.

Таблица 2. Механические свойства сварных соединений образцов-свидетелей колпака патрона из стали 08X18H10T

№ образца	$\sigma_{св}$, МПа	Содержание α -фазы в металле шва, об. %	$B_{ш}$, мм	$H_{пр}$, мм
1	$\frac{357,5...443,7}{410,2}$	1,8...3,0	7,0	1,8...2,0
2	$\frac{467,7...561,6}{500,6}$	1,8...3,5	7,5	2,4...2,6

Примечание. Приведены результаты испытаний не менее трех образцов.

Установлено, что оптимальная глубина провара $H_{пр} = 2,4...2,6$ мм, а ширина шва $B_{ш} = 6,5...7,5$ мм достигается при следующем режиме сварки: $I_{и} = 160...180$ А; $I_{п} = 80$ А; $\tau_{и} = 0,2$ с; $\tau_{п} = 0,3$ с; $U_{д} = 13,5$ В; $v_{св} = 6$ м/ч; расход аргона 15 л/мин.

Дальнейшее повышение тока импульса до 200 А при токе паузы 80 А увеличивает ширину шва до 9,5 мм, проплавляя только толщину «уса» нахлесточного соединения. Это объясняется малой ($l = 12$ мм) длиной нахлестки, а также наличием зазора (воздушной прослойки). Поэтому повышение тока импульса свыше 180 А не целесообразно.

Контроль качества сварных соединений при герметизации патрона. Для контроля качества сварных соединений следует применять установки и аппаратуру, которые должны отвечать требованиям ПНАЭ Г7-010-89. Допускается применение установок и аппаратуры, не указанных в стандартах (например, полученных по импорту), при условии, что это обеспечивает выполнение всех требований ПНАЭ Г7-010-89 и согласовано с головной материаловедческой организацией.

Контроль качества замыкающего кольцевого шва при приварке колпака к патрону производится разработанной ИЭС им. Е. О. Патона автоматической системой контроля, а контроль на непроницаемость гелием — головкой 3 (см. рис. 2). При этом операции выполняются в следующей последовательности:

создается вакуум внутри колпака головки 3, герметично установленного на колпак патрона с заваренным отводом штуцера (уровень вакуума ниже 400 Па);

измеряется вакуум;

заполняется гелием патрон при давлении $1 \cdot 10^4$ Па;

измеряется давление гелия внутри патрона;

Таблица 3. Режимы приварки колпака с патроном на специальной установке фирмы «Framatome ANR»

Обозначение образца	$I_{и}/I_{п}$, А	$B_{ш}$, мм	$H_{пр}$, мм
P1	160/80	7,5	2,4...2,6
P2	160/80	7,5	2,4...2,6
P3	140/80	6,5	1,8...2,0
P4	150/60	6,5	—
P5	140/80	6,5	—
P6	180/80	8,0	2,75
P7	180/80	8,0	—
P8	160/80 (Ремонтная сварка)	—	—
P9	200/80	9,5	2,60...2,75

Примечание. $v_{св} = 6$ м/ч; $U_{д} = 13,5$ В; $\tau_{и} = 0,2$ с; $\tau_{п} = 0,3$ с; расход аргона составлял 15 л/мин при длине сварочных кабелей и шлангов 35 м.



подается сигнал о наличии утечки гелия в изделии.

При контроле герметичности скорость утечки гелия в обоих швах (автоматического аргонодугового кольцевого, выполненного при сварке колпака к патрону и контактного, выполненного при сварке отвода штуцера) не должна превышать $1 \cdot 10^{-5}$ Па·м³·с⁻¹.

Технология исправления дефектов после сварки. Исправлению подлежат все дефекты (недопустимые отклонения от установленных правил контроля показателей), выявляемые в сварных соединениях при их неразрушающем контроле. При исправлении дефектов при приварке колпака к патрону допускается применение следующих технологий:

повторная автоматическая аргонодуговая пересварка стыкового кольцевого шва при приварке колпака к патрону;

полное удаление сварного кольцевого шва механическим способом с заменой нового колпака и выполнением сварного соединения на автома-

тизированной установке по принятой технологии сварки;

удаление дефектного сварного шва механическим способом с помощью специального приспособления в камере сварки патрона.

Для исправления дефектов при контактной сварке отвода штуцера для закачки гелия применяются следующие технологии:

повторная контактная сварка;

полное удаление сварного кольцевого шва механическим способом с заменой нового колпака и выполнением сварного соединения на автоматизированной установке по вновь принятой технологии сварки;

закачка гелия и контактная сварка отвода штуцера.

Таким образом, проведенные исследования технологии автоматической аргонодуговой сварки колпака с патроном и технологии контактной сварки отвода штуцера для закачки гелия в патрон П-89 позволили оптимизировать технические требования к швам для выполнения сварочных работ на монтаже при захоронении ОЯТ на ЧАЭС.

Technology of automatic argon-arc welding and equipment for sealing P-89 cartridges from steel 08Kh18N10T for Chernobyl NPP nuclear waste disposal have been developed. Development of the technology of automatic argon-arc welding of the cap to the cartridge and technology of test welding of the nozzle tap for helium pumping into the cartridge allowed optimization of technical requirements to welds for performance of welding operations in site.

Поступила в редакцию 25.01.2007

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ ТРЕНИЕМ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Сваркой трением удается успешно соединять материалы, отличающиеся по своим механическим и теплофизическим характеристикам, а также материалы, вступающие в процессе совместного нагрева в химическое взаимодействие и образующие хрупкие интерметаллические соединения.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработаны технологии и режимы сварки трением различных металлов и сплавов в однородном и разнородном сочетании и созданы промышленные технологии сварки конкретных изделий из различных комбинаций металлов и сплавов, в том числе:

- инструментальных сталей с конструкционными (составной концевой металлорежущий инструмент);
- коррозионностойких сталей с конструкционными (валы химических насосов, ролики отделочных машин текстильного производства);
- жаропрочных сталей с конструкционными (биметаллические клапаны двигателей автомобилей, роторы турбокомпрессоров дизелей);
- легированных высокопрочных сталей с углеродистыми равного и неравного сечения (корпуса гидроцилиндров, штоки поршней, валы аксиально-поршневых гидромашин);
- термически упрочненных и нагартованных алюминиевых сплавов (панели из сплава АМгбНПП со шпильками из сплава Д16Т);
- меди и алюминия с металлокерамикой (контакты электроаппаратуры);
- меди, бронзы и латуни со сталью (блоки цилиндров аксиально-поршневых гидромашин);
- алюминия и его сплавов со сталью (биметаллические переходники для приборов авиакосмической техники);
- алюминия с медью (переходники для электротехнической промышленности);
- титана со сталью.

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 26

Тел.: (38044) 261 53 55, 261 58 01. Факс: (38044) 287 63 29, 287 42 54. E-mail: chvertko@paton.kiev.ua