

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ИЭС им. Е.О. ПАТОНА ДЛЯ СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Б.Е. Патон

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины.
03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Представлен ряд разработок ИЭС им. Е.О. Патона для энергетики, в частности, технологии сварки крупногабаритных роторов турбин, электронно-лучевой сварки заготовок большой толщины из высокопрочных сталей, технологии сварки под флюсом и контактной сварки пульсирующим оплавлением труб для магистральных газопроводов большого диаметра, технология и оборудование для создания энергосберегающих теплообменных устройств. Отмечены разработки, направленные на повышение коррозионной стойкости твэлов и безопасной эксплуатации АЭС благодаря применению жаропрочной износостойкой механизированной наплавки коррозионностойкими сплавами трубопроводной арматуры. Представлены практические рекомендации по ремонту магистральных трубопроводов без вывода их из эксплуатации. Выполнены исследования, показавшие возможность применения акустической эмиссии для мониторинга сварных конструкций, работающих при высоких температурах. Разработан способ для предотвращения катастрофического вытекания нефти из разрушенных труб скважин нефтедобывающих платформ. Рис. 20.

Ключевые слова: сварка под флюсом; контактная сварка пульсирующим оплавлением; электронно-лучевая сварка; защитные покрытия твэлов; оребренные плоскоовальные трубы; ультразвуковой контроль сварных швов; акустическая эмиссия; износостойкая наплавка; техническая диагностика

Развитие энергетики во многом определяет масштабы и темпы роста мировой экономики. По самым осторожным оценкам, в XXI в. общее энергопотребление на планете удвоится. Наиболее интенсивно будет расти производство электроэнергии (рис. 1), которое к 2030 г. достигнет 40 % мирового спроса на энергоресурсы. Уголь, нефть и газ останутся главным источником энергии в ближайшие десятилетия. Однако их месторождения исчерпываются, а разведка новых требует значительных инвестиций. При этом экологические последствия от использования ископаемого топлива становятся все больше угрожающими: атмосферные выбросы ведут не только к загрязнению окружающей среды и

ухудшению здоровья населения, но и к глобальным изменениям климата.

Сегодня усилия мирового сообщества направлены на:

- повышение эффективности энергопотребления;
- развитие экономически обоснованных источников энергии;
- снижение вредных выбросов с помощью применения новых технологий и более экологичных видов

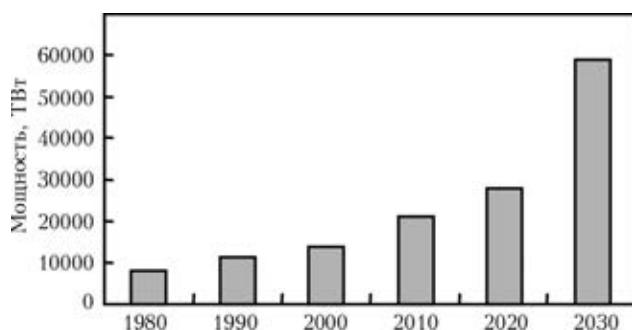


Рис. 1. Рост мирового производства электроэнергии

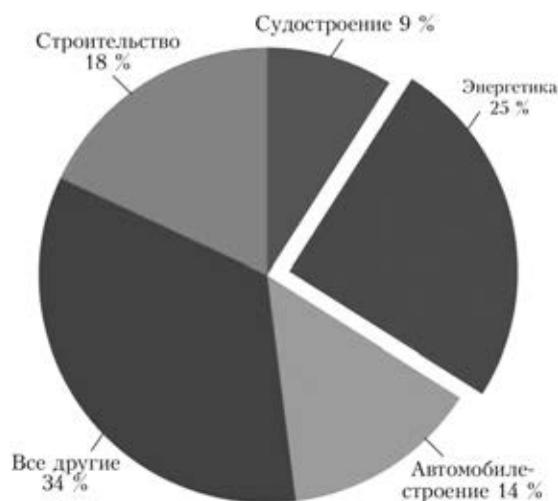


Рис. 2. Рынок сварочной техники по состоянию на 2011–2012 гг.

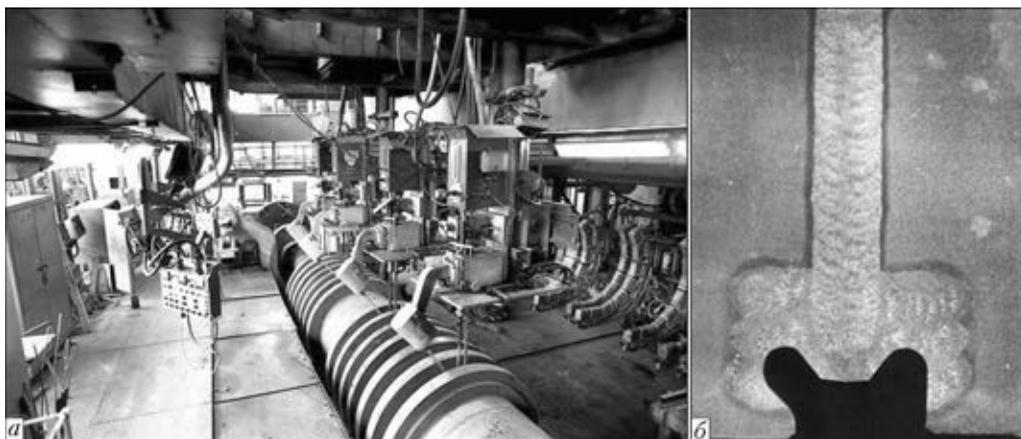


Рис. 3. Автоматическая сварка под флюсом ротора паровой турбины мощностью 1000 МВт для АЭС (а) и макрошлиф металла сварного шва ротора паровой турбины (б)

топлива, таких как природный газ, атомная энергия и возобновляемые источники. Решение этих сложных задач, направленных на создание энергетики будущего, более чем когда-либо зависит от результатов научных исследований, их быстрого и эффективного использования.

Весомый вклад в создание энергоэффективных, экологически чистых технологий и продуктов вносят ученые и специалисты-сварщики. Современное сварочное производство является одной из наукоемких, межотраслевых составляющих мировой экономики. В развитых странах с применением сварочных технологий производится более половины национального валового продукта. Рынок сварочной техники, несмотря на кратковременные спады в период мировых кризисов, продолжает уверенно расти. В 2012 г. объем мирового рынка сварочной техники составил 17 млрд дол. США и, по оценке экспертов, в ближайшие пять лет возрастет до 22 млрд дол. США. Наибольшую его долю составляет рынок сварочной техники в энергетике (рис. 2). Прогнозируется, что в ближайшие три года он увеличится на 30 %.

Сегодня имеется мощный арсенал технологий, которые позволяют получать неразъемные соединения различных конструкционных и функциональных материалов. Сварочные технологии дают возможность создавать уникальные конструкции энергетического оборудования — турбин, энергетических котлов, корпусов реакторов АЭС и др.

Институт электросварки им. Е.О. Патона выполняет большой комплекс работ в области сварки и родственных технологий для энергетической отрасли. Применительно к турбостроению разработана и внедрена в производство технология и специализированное оборудование для сборки и автоматической сварки под флюсом в узкую разделку крупногабаритных роторов мощных паровых турбин для тепловых и атомных электростанций на одном сборочно-сварочном стенде. При этом роторы цилиндров низкого и среднего давления изготавливаются из отдельных дисков, что исключает достаточно сложную проблему получения крупногабаритных тяжелых цельнокованных заготовок для роторов массой до 200 т и длиной более 10 м. Установка

сборки и сварки укомплектована четырьмя аппаратами для автоматической сварки под флюсом с программным управлением процесса раскладки валиков в узкой разделке и системой слежения электрода за дном и стенками разделки кромок (рис. 3).

Для производства изделий энергетического машиностроения необходимо сваривать заготовки из высокопрочной стали большой толщины. Весьма эффективна для этого электронно-лучевая сварка (ЭЛС), которая обеспечивает высокую производительность сварочного процесса, высокое качество соединений и минимальные деформации. В ИЭС им. Е.О. Патона выполнены исследования и разработки по созданию технологий и оборудования для

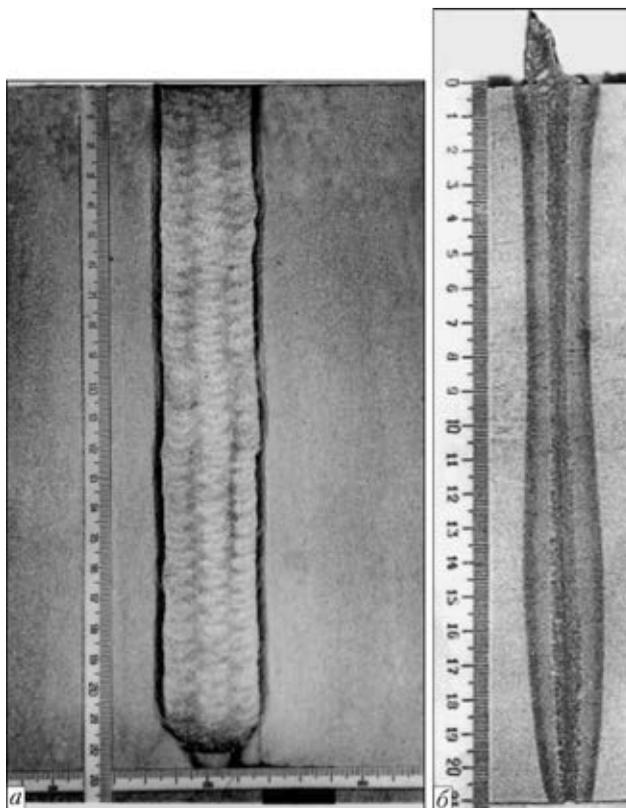


Рис. 4. Макрошлифы поперечного сечения кольцевых швов низколегированной стали большой толщины, выполненных многослойной дуговой сваркой под флюсом (а) и однопроходной ЭЛС (б)

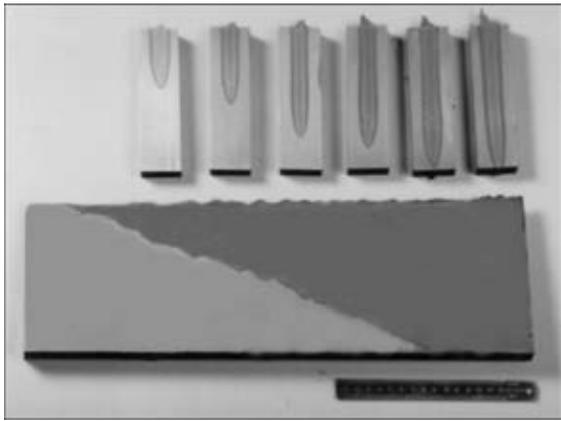


Рис. 5. Макрошлифы участка замыкания кольцевого шва при ЭЛС стали 15X2NMFA толщиной 150 мм

ЭЛС конструкционных сталей толщиной до 210 мм (рис. 4). Стабильное формирование сварных соединений и предотвращение дефектов в металле глубоких швов достигается с помощью развертки луча с его параллельным переносом вдоль и поперек направления сварки.

Задача получения сварных соединений высокого качества значительно усложняется на участке замыкания кольцевого шва, где возникают корневые дефекты. Она решена с помощью применения развертки луча, фокусировки пучка в плоскости на 10 мм выше середины шва и наклона плоскости стыка и сварочного пучка на угол 10° относительно горизонта. На рис. 5 хорошо видно качественное формирование закругления в корне шва и полное отсутствие дефектов.

Созданы новое поколение крупногабаритных вакуумных камер, технологии их сборки и ЭЛС (рис. 6). Основной отличительной чертой этих камер является использование двух вакуумно-плотных и прочных оболочек, соединенных между собой ребрами жесткости. Высокая геометрическая точность стенок камеры обеспечивает новые возможности построения высокоточных манипуляторов пушки и изделия. Для управления манипуляторами и всем процессом сварки разработано программное

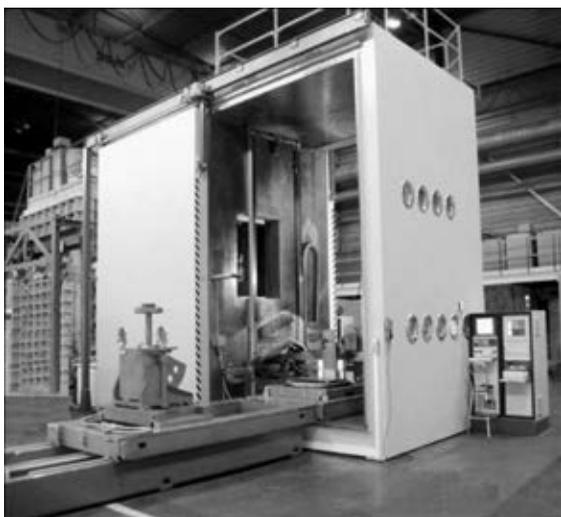


Рис. 6. Оборудование ЭЛС, изготавливаемое в ИЭС им. Е.О. Патона

обеспечение с удобным графическим интерфейсом оператора.

Разработанная технология ЭЛС высокопрочных сталей большой толщины имеет перспективы применения при изготовлении корпусов реакторов АЭС. Как показывает практика, продолжительность дуговой сварки кольцевых швов в корпусе реактора составляет сотни часов, тогда как ЭЛС такого шва — нескольких часов. Принципиальная схема предлагаемой промышленной установки для сварки кольцевых швов корпуса реактора ВВР-1000 показана на рис. 7.

Развитие атомной энергетики неразрывно связано с повышением безопасности атомных реакторов и снижением затрат на их эксплуатацию. Причиной аварийной ситуации на атомной станции Фукусима-1 стало химическое взаимодействие циркониевых оболочек твэлов с паром. Пароциркониевая реакция привела к генерации водорода, вследствие чего и произошел взрыв. Одним из путей снижения затрат на эксплуатацию АЭС является увеличение цикла перезагрузки ядерного топлива, что также требует повышения коррозионной стойкости циркониевых сплавов в воде в штатном режиме работы реактора. Поэтому разработка методов и технологии изготовления твэлов, обеспечивающих повышение коррозионной стойкости циркониевых оболочек в воде и паре в штатном и аварийном режимах работы реактора, является актуальной.

Одним из путей решения этой задачи является создание на поверхности циркониевой оболочки твэлов защитных покрытий, которые должны обеспечить ей более длительный срок эксплуатации в штатном режиме, а в случае аварийной ситуации существенно снизить вероятность возникновения пароциркониевой реакции.

Для решения поставленной задачи были проведены исследования, направленные на разработку метода осаждения толстых покрытий на основе карбида кремния на циркониевые оболочки твэлов. Предлагаемый метод основан на использовании разработанного в институте высокоскоростного электронно-лучевого осаждения толстых покрытий неорганических материалов. Использование мощных электронно-лучевых пушек в стационарном режиме позволяет испарять в вакууме с большой скоростью металлические и керамические вещества и формировать на их основе покрытия с заданной структурой. Этот метод может обеспечить осаждение покрытий на основе карбида кремния со скоростями 5...10 мкм/мин и получить покрытия на длинномерных оболочках твэлов со скоростью порядка 1 м/мин. Отличительной особенностью разработанного метода является возможность совмещения процесса осаждения покрытий с другими процессами, которые необходимы для обеспечения высокой прочности сцепления подложки и покрытия, модифицирования структуры покрытия и т. п.

Общий вид фрагментов циркониевых оболочек твэлов без покрытия и с покрытием представлен на

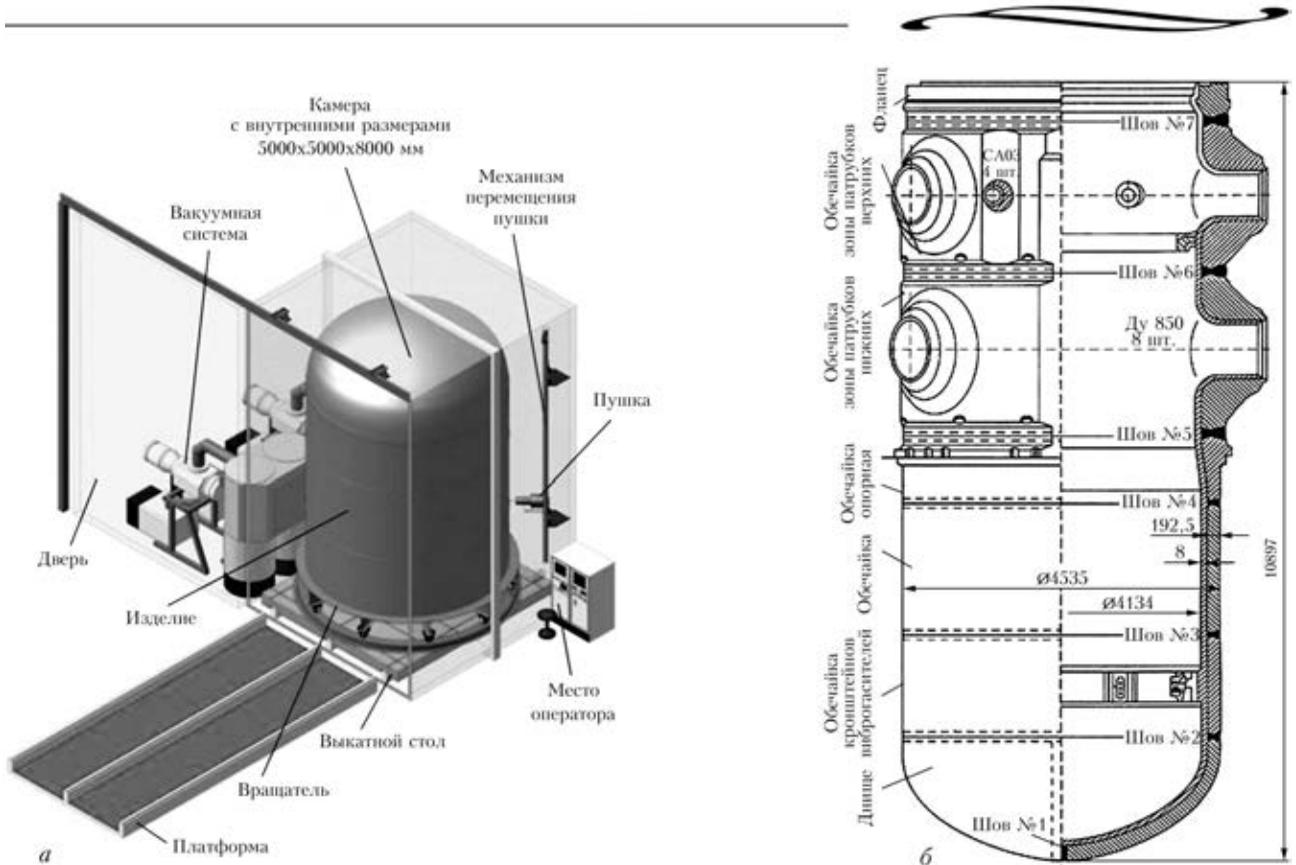


Рис. 7. Принципиальная схема промышленной установки для ЭЛС кольцевых швов корпуса реактора ВВР-1000 (а) и схема корпуса реактора (б)

рис. 8. Разработанная методика осаждения обеспечивает получение однородного по поверхности бездефектного покрытия с малой шероховатостью и высокой адгезионной прочностью, с высокой твердостью, без дефектов как в самом покрытии, так и на границе раздела покрытие-подложка (рис. 9).

ИЭС им. Е.О. Патона совместно с ВНИИНМ им. А.А. Бочвара проведены исследования коррозионной стойкости покрытий при высоких температурах (аварийный режим работы твэлов), которые показали их стойкость к окислению. Как видно из рис. 10, в процессе испытания покрытие сохраняет целостность и хорошее сцепление с подложкой, тогда как образцы без покрытия при тех же условиях испытывают интенсивную коррозию в непокрытой области циркониевого образца.

ИЭС им. Е.О. Патона совместно с Киевским политехническим институтом разработал технологию и оборудование для поперечного оребрения плоско-

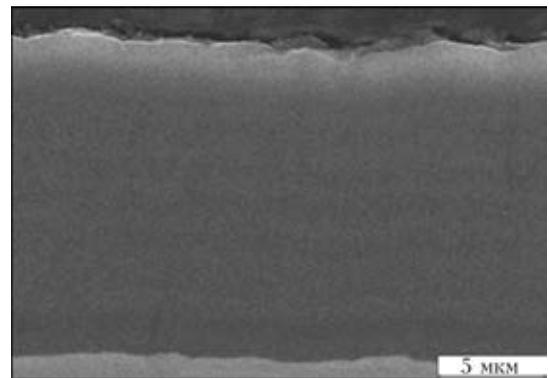


Рис. 9. Микроструктура покрытий на основе карбида кремния

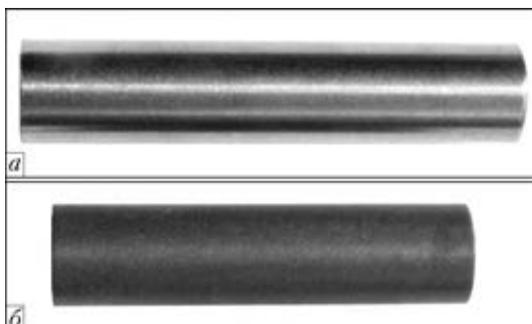


Рис. 8. Общий вид фрагментов циркониевых оболочек без покрытия (а) и с покрытием (б) на основе карбида кремния

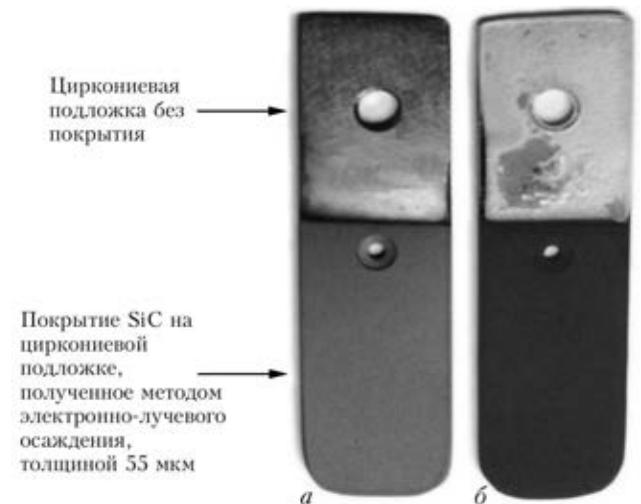


Рис. 10. Общий вид циркониевых образцов до (а) и после (б) испытания на коррозионную стойкость покрытий при высокой температуре

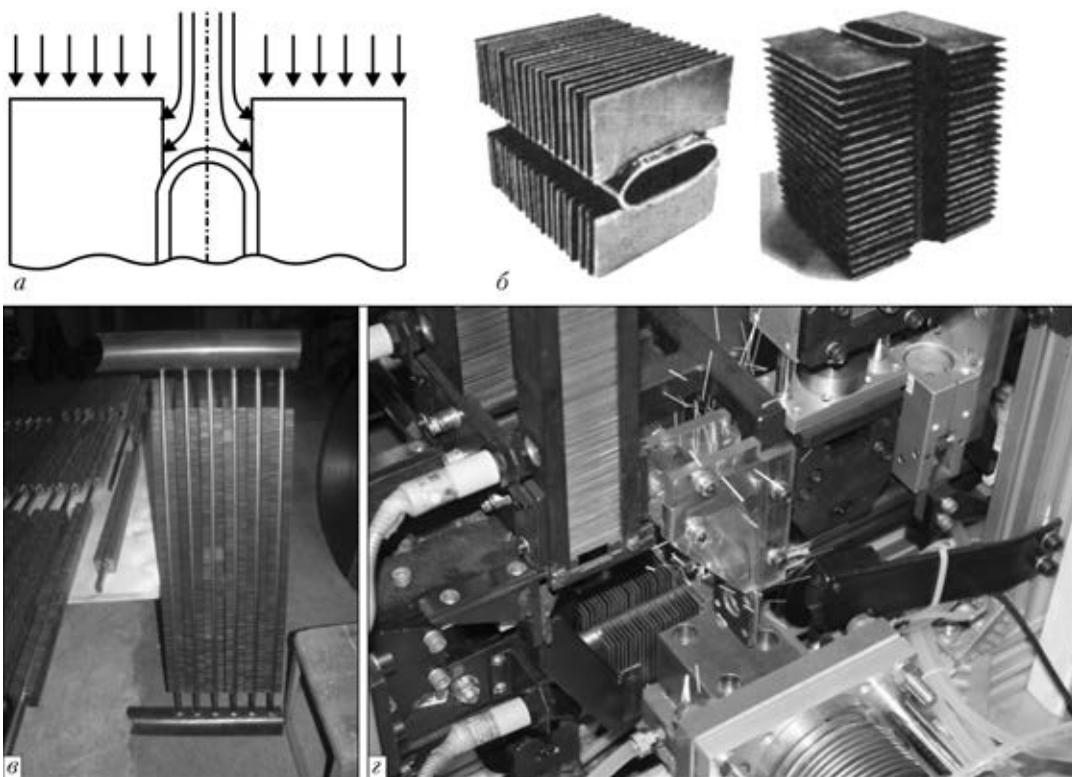


Рис. 11. Плоскоовальные трубы с поперечным оребрением для энергосберегающих теплообменных устройств: *а* — схема потока теплоносителя; *б* — элементы труб; *в* — секция экономайзера-утилизатора мощностью 0,2 МВт; *г* — автоматизированная установка для контактной сварки плоскоовальных труб

овальных труб способом контактной сварки и создания на их основе широкой номенклатуры энергосберегающих теплообменных устройств (рис. 11). Поперечное оребрение плоскоовальных труб способом контактной сварки имеет ряд неоспоримых преимуществ: высокую технологичность без применения расходных материалов; практически идеальный термический контакт между ребрами и трубой; высокую интенсивность конвективного теплообмена; низкое аэродинамическое сопротивление. При модернизации котлов средней и малой мощности весьма эффективным способом экономии топлива является применение экономайзеров с плоскоовальными оребренными трубами. При этом достигается большой экономический эффект.

В связи с возрастающей потребностью мировой экономики в энергоресурсах задача обеспечения надежной транспортировки углеводородного топлива из районов его добычи к основным потребителям является чрезвычайно актуальной. Несмотря на развитие альтернативных способов (перевозка сжиженного газа танкерами или сжатого газа в специальных сосудах), трубопроводный транспорт по-прежнему остается преимущественным средством доставки природного газа к потребителям.

Исследована новая многодуговая технология сварки под флюсом с комбинированным питанием дуг для улучшения качественных показателей сварных соединений за счет оптимизации фазировки дуг, режимов их горения и установочных параметров электродов. Для заводского изготовления труб разработаны 4- и 5-дуговые процессы сварки с по-

вышенным до 1900 А током передней дуги, что позволило уменьшить размеры разделки кромок, повысить скорость сварки и снизить расходы сварочных материалов (рис. 12). Дополнительным преимуществом в этом случае является благоприятная конфигурация линии сплавления, что улучшает результаты испытания на ударный изгиб металла сварных соединений, особенно толстостенных труб. Технология рекомендована для сварки труб с толщиной стенки от 25 до 50 мм.

При изготовлении труб с небольшой и средней толщиной стенки можно применять многодуговую сварку с электродом меньшего диаметра (3,2 мм) на первой дуге, отличающуюся глубоким проваром, достаточно благоприятным формированием швов и некоторым снижением погонной энергии.

Для обеспечения высоких показателей вязкости в институте разработана система управления химическим составом и структурой металла шва труб. Она основана на использовании многодуговой сварки под флюсом, при которой на отдельных дугах устанавливаются сварочные проволоки разного химического состава, что позволяет дозированно с большой точностью регулировать содержание легирующих элементов в металле шва в зависимости от состава применяемой трубной стали, режимов сварки и других факторов. При изготовлении труб наибольшее распространение получило сочетание агломерированного алюминатного флюса небольшой основности и сварочных проволок, содержащих марганец, молибден, или марганец, никель, молибден, или марганец, молибден, титан, бор. Требуемый хи-

мический состав шва достигается путем изменения количества дуг со сварочной проволокой той или иной системы легирования и различной скорости ее подачи на отдельных дугах. Управление химическим составом металла шва труб обеспечивает получение наиболее благоприятной его структуры. На рис. 13, *в* показана микроструктура металла продольного шва газо- и нефтепроводной трубы диаметром 1420 мм с толщиной стенки 25 мм из стали класса прочности К60 (категории Х70), состоящей из 85...90 % игольчатого феррита и менее 1 % межзеренного полигонального феррита. Такая структура гарантирует высокие вязкие характеристики металла шва, например, ударную вязкость в пределах 180...200 Дж/см² на образцах с острым надрезом при температуре -30 °С.

Разработанное сочетание сварочных материалов и новые процессы многодуговой сварки под флюсом, в том числе с повышенным током передней дуги, включая рекомендации по оптимизации режимов и установочных параметров, реализованы на различных трубосварочных заводах Украины и Российской Федерации при изготовлении труб с толщиной стенки от 16 до 40 мм из стали класса прочности К60-К65 (категории Х70-Х80) для магистральных трубопроводов.

При строительстве магистральных трубопроводов ИЭС им. Е.О. Патона совместно с организациями ОАО «Газпром» накопил большой опыт использования контактной стыковой сварки неповоротных стыков трубопроводов в полевых условиях в различных климатических зонах, в частности в районах Крайнего Севера. Комплексами «Север» (рис. 14) и другими сварочными машинами контактным способом было сварено более 70 тыс. км различных трубопроводов, в том числе больших диаметров, которые успешно эксплуатируются.

В настоящее время институт разрабатывает новый процесс контактной сварки труб, получивший название «пульсирующее оплавление» (КСО). Новизна заключается в том, что благодаря приме-

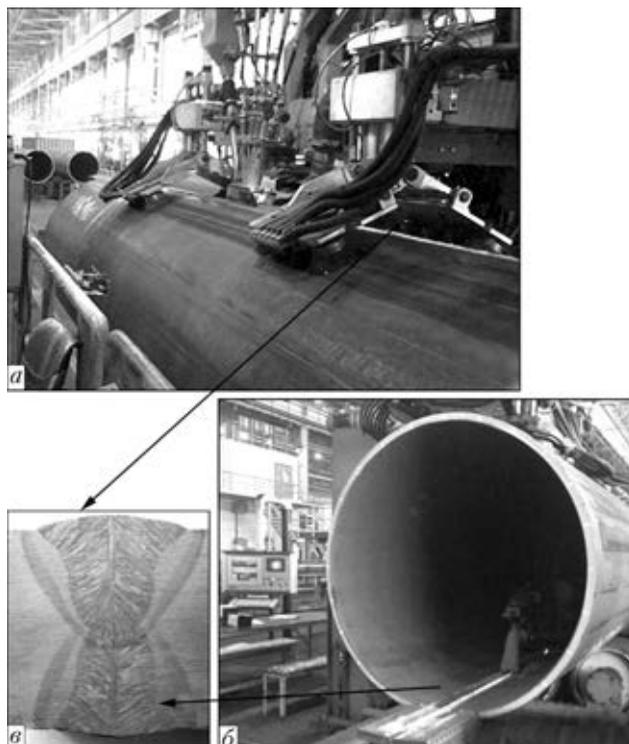


Рис. 12. Многодуговая сварка под флюсом трубы диаметром 1420 мм с толщиной стенки 40 мм: *а* — 5-дуговая сварка наружного шва, скорость 110 м/ч; *б* — 4-дуговая сварка внутреннего шва, скорость 100 м/ч; *в* — макрошлиф сварного соединения трубы

нию быстродействующих систем управления сварочной машиной и новых алгоритмов управления возможна значительная интенсификация нагрева при одинаковой установленной мощности источника электрического питания.

Процесс пульсирующего оплавления имеет ряд преимуществ по сравнению с непрерывным оплавлением. Так, режим сварки с использованием пульсирующего оплавления уменьшает время сварки кольцевого стыка по сравнению с непрерывным с 3,5...4 мин до 2 мин, а припуск на оплавление сокращается почти в 2 раза. Последнее весьма существенно, так как при этом снижаются соответственно

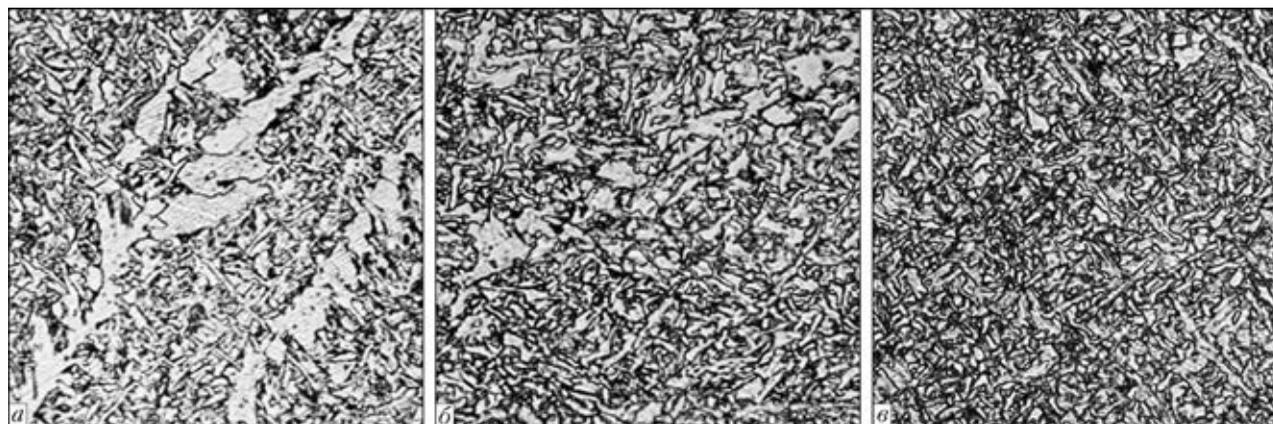


Рис. 13. Микроструктура (×500) металла швов труб из стали класса прочности К60, выполненных с применением различных сварочных материалов: *а* — Mn-Mo система легирования, кислый плавящийся флюс, полигонального феррита 20...25 %; игольчатого 35...45 %; $KV_{-30} = 27...30$ Дж/см²; *б* — Mn-Ni-Mo система легирования, алюминатный агломерированный флюс небольшой основности, полигонального феррита 3...5 %, игольчатого 75...80 %; $KV_{-30} = 80...100$ Дж/см²; *в* — Mn-Mo-Ti-V система легирования, алюминатный агломерированный флюс небольшой основности, полигонального феррита менее 1 %, игольчатого 85...90 %; $KV_{-30} = 180...200$ Дж/см²

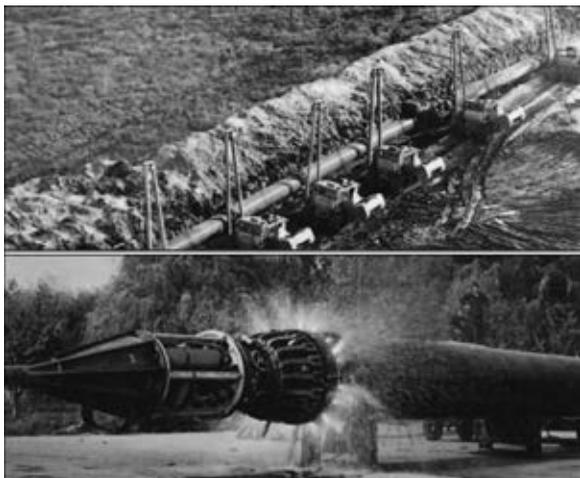


Рис. 14. Комплекс «Север» для сварки труб магистральных нефте- и газопроводов

потери металла. Благодаря использованию систем автоматического регулирования скорости оплавления удалось получить качественную сварку при меньших удельных мощностях, чем при сварке труб комплексами «Север». Поэтому при сварке труб диаметром 1420 мм с толщиной стенки 27 мм применим источник с установленной пиковой мощностью до 1300 кВ·А.

В соответствии с требованиями международных стандартов API1104 и DNV-OS-F101 были определены механические свойства сварных соединений в состоянии после сварки и после термообработки. Так, в состоянии после сварки предъявляемым требованиям удовлетворяют показатели прочности ($\sigma_b = 516,0...523,6$ МПа) и угол загиба (180° при отсутствии трещин), а ударная вязкость ниже нормативных требований ($KCV_{+20} = 13,3...17,1$; $KCV_{-20} = 6,1...9,7$ Дж/см²) из-за наличия в зоне термического влияния крупнозернистой структуры с повышенным содержанием феррита.

Для увеличения ударной вязкости разработана технология термообработки соединений, выполненных КСО, с использованием локального индукционного нагрева после сварки. Механические свойства сварных соединений в состоянии после термообработки следующие: $\sigma_b = 550,6...561,4$ МПа, угол загиба 180° , Па, $KCV_{+20} = 147,9...219,5$, $KCV_{-20} = 86,8...171$ Дж/см². Установлено, что наиболее высокие показатели удар-

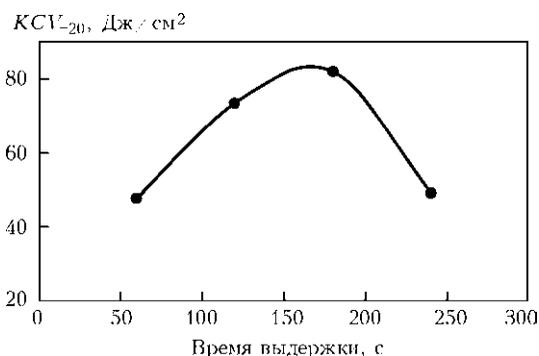


Рис. 15. Зависимость средних значений ударной вязкости от времени выдержки при температуре термической обработки 1000°C

ной вязкости сварных соединений, выполненных КСО на стали класса прочности K56, могут быть получены при температурах нормализации $950...1000^\circ\text{C}$ и длительности нагрева в пределах $2,5...3,0$ мин (рис. 15), а охлаждение после нагрева должно проводиться со скоростью не меньше $8^\circ\text{C}/\text{с}$.

При испытаниях контрольной партии соединений, сваренных на оптимальном режиме с последующей термической обработкой, качество соединений полностью удовлетворяет требованиям стандартов.

Одновременно с разработкой технологии сварки были определены алгоритмы выявляемости дефектов соединений, выполненных КСО с использованием средств современной ультразвуковой дефектоскопии. Разработаны также системы и алгоритмы операционного компьютеризированного контроля параметров сварки, позволяющего оценивать качество соединений сразу же после окончания сварки. При этом автоматическая система дает в печатном виде документ на каждый стык, в котором указываются реальные значения всех параметров процесса сварки, их отклонения от заданных программой значений и оценка качества соединений.

Разработана технология неразрушающего контроля кольцевых швов толстостенных труб, выполненных КСО. Технология базируется на использовании эхозеркального метода ультразвукового контроля, который реализуется с помощью преобразователей, включенных по схеме тандем.

Характерно, что дефекты при КСО расположены в одной плоскости соединения. При КСО толстостенных труб эта плоскость всегда перпендикулярна оси трубы, что облегчает локацию дефектов, при которой можно не учитывать все сигналы от структурной неоднородности металла, поступающие от участков, которые расположены за пределами плоскости соединения. Выделены две категории дефектов, которые могут быть выявлены ультразвуковым контролем: дефекты, связанные с химической неоднородностью металла, и дефекты, вызванные нарушениями режима сварки. Определены алгоритмы оценки дефектов соединений, выполненных КСО, которые гармонизированы с эталонами при ультразвуковом контроле соединений, выполненных электродуговыми способами сварки.

В результате этих исследований сертифицирована технология неразрушающего контроля соединений труб, полученных КСО, требуемая в соответствии с нормативами как обязательная операция.

В результате выполненных исследований ИЭС им. Е.О. Патона совместно с заводом «Псковэлектросвар» разработал комплекс оборудования для КСО морских трубопроводов диаметром 1219 мм с толщиной стенки 27 мм для использования на трубоукладочной барже (рис. 16). Комплекс изготовлен и проходит испытания.

Эксплуатационная надежность работы тепловых и атомных электростанций в значительной мере зависит от герметичности и высокой износостойкости уплотнительных поверхностей трубопроводной арматуры. Эрозионный и коррозионный износ, тре-



Рис. 16. Комплекс для контактной стыковой сварки оплавлением морских трубопроводов диаметром 1219 мм с толщиной стенки 27 мм

щины термической усталости, а также появление задигов на трущихся поверхностях — основные причины выхода трубопроводной арматуры из строя.

Разработаны материалы, технология и оборудование для механизированной наплавки деталей энергетической трубопроводной пароводяной арматуры высоких параметров всех типоразмеров. Широко используется наплавка жаропрочными износостойкими и коррозионностойкими сплавами, что позволило существенно продлить срок службы арматуры и повысить ее надежность. Совершенствование процессов наплавки уплотнительных поверхностей арматуры будет идти по пути ее автоматизации и создания новых износостойких сплавов.

В институте разработаны практические рекомендации по ремонту сваркой магистральных трубопроводов без вывода их из эксплуатации. Они включают комплекс методик и инженерных руководств по оценке состояния магистральных трубопроводов с обнаруженными дефектами, а также по планированию ремонта сваркой под давлением. Применительно к типичным дефектам магистральных трубопроводов (локальные и общие коррозионные повреждения металла, трещины, дефекты формы) предложены критерии для оценки их допустимости с позиций степени снижения несущей способности трубопровода как при эксплуатации, так и во время ремонта (рис. 17). Особое внимание уделено вопросам планирования ремонтных работ с использованием различных усиливающих конструкций: сварных бандажей, герметичных муфт, муфт с компандным наполнителем.

Поскольку оборудование для тепловых и атомных электростанций работает при высоких темпе-

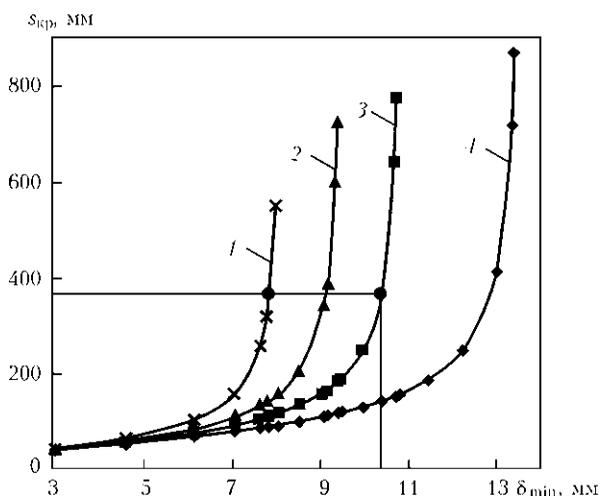


Рис. 17. Зависимость критической длины дефекта типа локального утонения s_{cr} от минимальной допустимой толщины δ_{min} стенки трубы 1420×20 мм из стали 17Г1С при различном внутреннем давлении: 1 — 4,5; 2 — 5,25; 3 — 6,0; 4 — 7,5 МПа

ратурах и давлениях, то применение традиционных средств неразрушающего контроля в процессе эксплуатации невозможно. Поэтому необходимо созда-

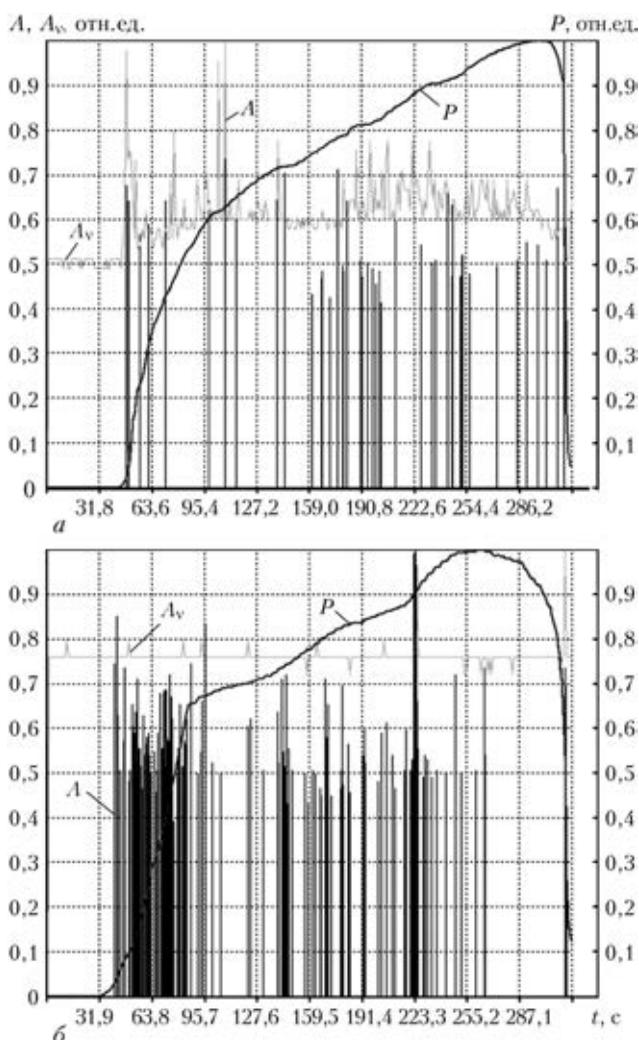


Рис. 18. Сопоставление сигналов акустической эмиссии в растягиваемых образцах из стали 15Х1М1Ф при комнатной температуре (а) и 500 °С (б) (А — амплитуда; A_v — амплитуда непрерывной эмиссии; P — нагрузка)



Рис. 19. Одна из точек измерения акустико-эмиссионной активности трубопровода промежуточного перегрева пара Киевской ТЭЦ-6

ние методов и средств для мониторинга технического состояния энергетических объектов. Были проведены исследования, которые впервые показали возможность применения метода акустической эмиссии для этой цели.

На рис. 18 приведены графики испытаний на растяжение образцов из стали 15Х1М1Ф при комнатной температуре и 500 °С. Как видно, сохраняется акустическая активность на всех стадиях деформирования материала при высокой температуре, что позволяет прогнозировать разрушающие нагрузки с достаточной достоверностью.

Разработана и реализуется «Программа работ непрерывного акустико-эмиссионного мониторинга на оборудовании ТЭЦ «Киевэнерго». На первом этапе исследованы диагностические контрольные параметры трубопроводов горячего промежуточного перегрева, подогревателей высокого давления и деаэратора, создана и смонтирована система непрерывного мониторинга трубопроводов промежуточного перегрева.

Система запущена в опытную эксплуатацию (рис. 19). Принято решение по внедрению средств и технологий непрерывного акустико-эмиссионного мониторинга оборудования других ТЭЦ.

Как известно, к тяжелым экологическим последствиям приводят аварии на нефтегазовых промыслах. Одна из таких аварий произошла в 2010 г. в Мексиканском заливе на нефтедобывающей плат-



Рис. 20. Модуль для соединения разрушенных труб скважин

форме, где из поврежденной скважины на глубине 1500 м произошло неконтролируемое вытекание нефти. Специалисты института разработали способ соединения разрушенных труб скважин во время вытекания нефти. Был разработан и изготовлен соединительный модуль, который успешно прошел испытания (рис. 20). Функциональная схема его работы заключается в следующем. С помощью грузоподъемных механизмов опускается модуль к поврежденной части скважины. Он захватывается технологическими устройствами, которые удерживают модуль в вертикальном положении и не дают возможности вытекающему потоку сбросить его в сторону. При этом не происходит динамического удара и срыва модуля с места закрепления благодаря имеющимся в конструкции модуля необходимым отверстиям, которые обеспечивают свободное вытекание интенсивного потока нефти в окружающую среду. Затем эти отверстия модуля перекрываются. Для этого используются гидроцилиндры и специальные шторки, предусмотренные конструкцией модуля. После завершения работы гидроцилиндров и перекрытия отверстий модуля нефть направляется в нужном направлении по трубопроводу.

Таковы разработки института, предназначенные для современной энергетики. Исследования и создание новых технологий продолжаются.

A number of developments of E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine for power generation are presented, in particular, technologies of welding large-sized turbine rotors, electron beam welding of thick billets from high-strength steels; technologies of submerged-arc and pulsed flash-butt welding of pipes for large-diameter main gas pipelines, technology and equipment for manufacturing energy-saving heat exchangers. Developments are noted, which are aimed at improvement of corrosion resistance of fuel elements and safe operation of NPP due to application of heat- and wear resistant mechanized cladding of pipeline fittings by corrosion-resistant alloys. Practical recommendations are given on main pipeline repair without taking them out of operation. Research has been performed to demonstrate the possibility of acoustic emission application for monitoring welded structures exposed to high temperatures in service. A method has been developed to prevent catastrophic outflow of oil from broken pipes of oil platform wells. Figures 20.

Keywords: submerged-arc welding; pulsed flash-butt welding; electron beam welding; protective coatings of fuel elements; finned plane-oval pipes; ultrasonic testing of welds; acoustic emission; wear-resistant cladding; technical diagnostics

Поступила 01.07.2013