

УДК 001(091):621.791

ІСТОРІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Корнієнко О.М., докт. істор. наук

(Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона)

Літвінов О.П., канд. техн. наук

(Приазовський державний технічний університет)

Досліджується історія розробки матеріалів та технології зварювання вузлів атомних електростанцій. Відзначено роль інститутів АН УРСР в дослідженнях та вирішенні проблем атомної енергії.

Рівень життя, розвиток матеріальної складової культури залежить від кількості енергії, використаної на одну людину, від обсягу використання її на виробництво матеріальних речей і засобів задоволення культурно-духовних потреб людини. В свою чергу кількість енергії і ефективність її використання пов'язані перш за все з рівнем розвитку енергетичної техніки. Енергетичні витрати людства безперервно зростають, відповідно зростає видобуток енергоресурсів і виробництво енергії. Якщо в 1930 році у світі було вироблено 300 млрд. кВт·год електроенергії, то наприкінці століття ця цифра досягла близько 30 тис. млрд. кВт·год [1]. Але і на початку XXI ст. виробництво електроенергії залишається однією з глобальних проблем науково-технічного прогресу [2], а дослідження історії розвитку енергетики, зокрема, окремих конкретних напрямків, технологій виробництва, особливостей експлуатації має бути корисним для вирішення поточних проблем і визначення напрямків подальшого розвитку [3].



Значна частина досліджень з історії енергетики, що розпочалися ще наприкінці XIX ст., була присвячена будівництву електростанцій, створенню енергетичного обладнання. Зокрема, відмічено, що у розвитку енергетичного машинобудування починаючи з 1930-х років зварювання має велике значення. Досвід впровадження ручного дугового зварювання водонагрівних і парових котлів замість клепаних, що почав накопичуватися наприкінці XIX ст., був врахований при проектуванні перших потужних прямо-точних котлів з тиском пари 14 МПа і зварювальні пости були організовані на всіх спеціалізованих котельних заводах країни. Відповідно до плану ГОЕРЛО почалося застосування зварювання в турбобудуванні. Зварені на ленінградському заводі «Електросила» сектори статорів генераторів масою 11 тон змонтовували на Дніпровській гідроелектростанції. Подальший розвиток зварювання отримало на спеціалізованих заводах, зокрема, на Харківському турбінному [4, 5].

Але у відомих історичних дослідженнях розвитку енергетики не розглядається історія використання зварювання у виробництві конструкцій ядерної енергетики [4, 5]. Актуальність такого системного дослідження підтверджена сучасним інтенсивним удосконалення обладнання атомних електростанцій.

На початку ХХ століття системні ядерно-фізичні експерименти було розпочато майже одночасно в декількох країнах. В середині 1930-х років потужну суцільнозварну установку для ядерних досліджень було побудовано у Фізико-технічному інституті АН УРСР в Харкові (ФТІ) [6]. У США на той час будується повністю зварна потужна установка для досліджень в області фізики атомного ядра, зокрема, для руйнування атомного ядра. Установка, запроектована науково-дослідним відділом фірми Westinghouse Electric and Manufacturing в Пітсбурзі, складалася з грушовидного резервуару 30 футів (9,15 м) в діаметрі і 47 футів (14,33 м) заввишки і двоповерхової будівлі заввишки 60 футів (18,3 м), тобто дорівнювала по висоті 6-поверховому будинку. Машина, остов і обшивка резервуару, а також внутрішнє устаткування повністю будуть виготовлені за допомогою зварювання. [7, 8]

На засадах досліджень з ядерної фізики незабаром виникла ядерна енергетика - галузь енергетики, що використовує енергію атомного ядра при ланцюгових реакціях деяких ізотопи урану і плутонію для електрифікації та теплофікації. Перший в світі ядерний реактор було побудовано у 1942 р. в США, а перший в Європі – у 1946 р. під керівництвом І.В. Курчатова. Перша в світі атомна електростанція (АЕС) була пущена у 1954 р. в СРСР в м. Обнінську [9]. Вже наприкінці 1950-х років розрізняють ядерні установки пересувні та стаціонарні. З середини століття майже одночасно з успіхами в створенні ядер-

ної зброї були розроблені конструкції ядерних силових установок для транспорту (атомні криголами і підводні човні) і ядерні установки для атомних електростанцій.

До основних частин ядерних установок належать: енергетичний ядерний реактор (переважно водо-водяний реактор з водою під тиском), де внаслідок керованих ланцюгових реакцій поділу ядер виділяється тепло, що передається робочому тілу – теплоносію (наприклад, воді, парі або вуглекислому газу, гелію, органічній рідині); паро- або газотурбінна установка, в якій теплова енергія робочого тіла перетворюється на механічну (і далі – на електричну енергію).

Уран-графітовими реакторами, в яких ядерним паливом є трохи збагачений уран, а сповільнювачем нейтронів – графіт, обладнана певна кількість атомних електростанцій України (наприклад, Ровенська), було обладнано також Чорнобильську АЕС. Подібні реактори використовуються в Великобританії, Німеччині, Росії та деяких інших країнах. У 1960 р. дослідний тепловий реактор було встановлено в Інституті ядерних досліджень АН УРСР.

Вважалося, що в недалекому майбутньому основні потреби електроенергії для народного господарства і експорту за кордон повинні задовольнятися за рахунок АЕС. Основну їх частину планувалося розмістити в Україні, щоб без зайвих втрат передавати електроенергію в сусідні країни, що входили до Ради Економічної Взаємодопомоги, створену керівництвом Радянського Союзу [2]. До кінця століття були побудовані 12 атомних реакторів на чотирьох електростанціях.

Але повного циклу атомно-енергетичного виробництва (видобуток, збагачування, переробка, утилізація) не було налагоджено. Продовжували вдосконалюватися й створюватися також нові установки, засновані на викорис-

танні різного виду органічного палива. До середини минулого століття різко зросли експлуатаційні параметри енергетичного встаткування. Розширилася номенклатура матеріалів і типів конструкцій, що мали виготовлятися [2, 10].

У зв'язку з розвитком енергетики, електротехніки та електроніки підвищилися вимоги до якості з'єднань. З 1940-х років в низці розвинутих країн виникли нагальні проблеми забезпечити довготривалу роботу обладнання АЕС, що функціонують при високих температурах і статичних або динамічних напруженнях, зазнають дії корозійноактивних середовищ, дії радіоактивного випромінювання. В особливо складних робочих умовах знаходяться матеріали конструкційних елементів активної зони реакторів. Всі матеріали та зварні шви мають протистояти деградації увесь час їх експлуатації.

Для вузлів ядерних реакторів, прискорювачів заряджених частинок та іншого устаткування необхідно було розробити технології виробництва спеціальних конструкційних матеріалів: сплавів циркону, нікелю, корозійностійких сталей з додатком бору, жароміцних сталей, легованими тугоплавкими металами тощо [11-13]. Для створення ядерної енергетики необхідно було розробити спеціальні сплави і використовувати матеріали, що відповідають специфічним вимогам роботи в умовах випромінювання, розробити технології виготовлення й обробці таких матеріалів [14, 15].

Що стосується завдань зварювального виробництва, то їх можна розділити на: 1) участь у створення нових конструкційних матеріалів з гарною зварюваністю; 2) удосконалення відомих технологій і матеріалів; 3) розробка технологій, заснованих на нових джерелах енергії; 4) створення спеціальної зварювальної апаратури; 5) участь у розробці нових зварених конструкцій.

З середини 1940-х років в енергетичне машинобудування приходить ав-

томатичне, а потім і напівавтоматичне зварювання під флюсом. У 1950-х роках проблема виробництва машин і агрегатів була вирішена за допомогою створеної в ІЕЗ ім. Є.О. Патона (ІЕЗ ім. Є.О.Патона) електрошлакового зварювання. Зварювання дугою в середовищі вуглекислого газу забезпечило різке підвищення рівня механізації зварювальних робіт. Таким чином, в середині ХХ століття визначилися раціональні технології виготовлення: роторів, циліндрів і арматури парових і газових турбін (автоматичне зварювання під флюсом), робочих коліс, валів, статорів турбін (електрошлакове зварювання), пакетів лопаток теплообмінників, діафрагми турбін, трубопроводів (зварювання у вуглекислому газі, аргонодугове зварювання), металлоткани з жароміцних сталей (мікроплазменне зварювання) [16].

Здатність матеріалів протистояти руйнівній дії інтенсивного радіоактивного випромінювання, яке змінює їхню структуру і властивості, привернула особливу увагу. До матеріалів ядерної енергетики ставляться спеціальні підвищені вимоги як щодо хімічного та структурного складу, так і до механічних характеристик і фізичних властивостей. Такі ж вимоги ставляться і до технологічних процесів виробництва матеріалів і виробів з них, а також до контролю під час експлуатації і періодичної оцінки технічного стану. Конструкційні матеріали реакторобудування повинні протягом усього робочого ресурсу зберігати потрібні механічні характеристики, не проявляти схильності до тріщиноутворення при змінах температури і тиску робочого середовища під час нагрівання і охолодження в процесі пуску та зупинки енергоблоків, а також під впливом механічних і теплових навантажень у робочому режимі. В інститутах АН УРСР з 1950-х років було розгорнуто широкомасштабні дослідження, пов'язані із пошуком шляхів забезпечення ядерної техніки потрібними матеріалами; почалися дослі-

дження металів і сплавів, які раніше не мали технічного значення [17].

Особливу увагу в минулому столітті було приділено урану не тільки завдяки проектам застосування в атомній енергетиці, а і в якості вибухівки. Зокрема, в Інституті фізики АН УРСР на циклотроні (діє з 1953 року) та експериментальному ядерному реакторі (з 1960 року) вивчалися взаємодія нейтронів із різними речовинами, що було необхідно для вибору конструкційних матеріалів при будівництві промислових атомних електростанцій, ядерних установок для суден та ядерної зброї (М.В. Пасічник, В.Й. Стрижак та ін.). В середині століття уран став ядерним паливом в атомних електростанціях і «вибуховою речовиною» в термоядерній зброї. (Більш того, зі сплавів урану 238, що має високу питому вагу, температуру плавлення і твердість, почали виготовляти корпуси боеголовок міжконтинентальних балістичних ракет, а також броньовий захист військової техніки.). У ФТП розроблено методи й умови термомеханічної обробки й легування урану, які дають можливість у широких межах керувати структурою металу, й, отже, здатністю до формозміни при радіаційному та інших видах впливу. В 1960-х роках В.Є. Іванов та інші співробітники ФТП широко дослідили властивості окису урану, окису берилію та інших кисневмісних матеріалів, які використовуються в атомній енергетиці [17].

Участь у дослідженні й прогнозуванні поведінки різних матеріалів у полі випромінювання реакторів взяли учені інститутів: ФТП, Ядерних досліджень і теоретичної фізики у Києві, університетів Київського, Харківського, Ужгородського. (А.К. Вальтер, О.І. Лейденський, Г.Д. Латишев, К.Д. Синельников, М.М. Боголюбов, О.С. Давидов, О.І. Ахієзер та ін.). Було досліджено фізичні процеси, пов'язані з дією іонізуючих випромінювань, встановлено можливості підвищення стійкості різ-

номанітних матеріалів до дії іонізуючого випромінювання за допомогою металургійного легування, іонного проникнення, лазерного відпалу дефектів [17]. Результати цих досліджень використовують у технологіях виробництва матеріалів, наплавлення, напилення та зварювання при створенні конструкцій ядерної енергетики, космічної та електронної техніки згідно технологіям, що розроблені в ІЕЗ ім. Є.О. Патона Б.О. Мовчаном, К.А. Ющенком [16].

З 1950-х років в ІЕЗ ім. Є.О. Патона і інших установах вирішувалася проблема виробництва теплообмінних елементів. Оболонки ТВЕЛів виготовляються із сплавів циркону, що мають такі позитивні властивості: не пропускають продукти розпаду і стійкі проти радіаційних пошкоджень, мають низьку активність при нейтронному опроміненні, високу міцність при циклічному навантаженні, низьку швидкість високотемпературної повзучості, досить високу теплопровідність. Було розроблено технології електродугового зварювання в середовищі аргону [16].

Найбільш відповідальним і складним є корпус реактора. Саме від його довговічності залежить термін експлуатації всього комплексу енергоблока АЕС. Проблему одержання високоміцних жаростійких сталей при раціональному легуванні ще з середині 1940-х років почали досліджувати в Лабораторії металофізики АН УРСР (з 1955 року – Інститут металофізики). В перших радянських АЕС корпуси реакторів ВВЕР і РБМК виготовлялися з високоміцної пластичної хромомолібденово-ванадієвої сталі зварюванням кованих кільцевих елементів. З 1980 року для виготовлення корпусів застосовують сталі із особливо контрольованим вмістом міді і фосфору [17-19]. З метою економії матеріалів і досягнення необхідних експлуатаційних якостей для оболонок корпусів ядерних реакторів і

паливних елементів почали застосовувати сталеві листи, плаковані ванадієм. У реакторах, що охолоджуються рідкими металами, ванадій і його сплави практично не взаємодіють з ядерним паливом і при температурах 1000...1200 К мають високу корозійну стійкість. Тому, що цей метал легко сплавляється з ураном і обробляється різанням, його застосовують для виготовлення стрижнів ядерного палива. З подібних сплавів виготовляють конструкції енергоблоків в США та інших країнах [20, 21].

Конструкції блоків АЕС у міру нагромадження експлуатаційного досвіду вдосконалюються, з підвищенням потужності удосконалюються конструкційні матеріали і технологія зварювання. Корпуси парогенераторів виготовляють з перлітних сталей, а трубки і колектори – з аустенітної корозійно-стійкої сталі. Для виготовлення незвичайно складних конструкцій цих вузлів АЕС розроблено технології вибухового розвальцювання, приварювання дугою в інертних газах.

Стосовно до умов експлуатації конструкцій в агресивному середовищі за підвищених температур в 1968-1978 роках у Фізико-механічному інституті та Інституті проблем матеріалознавства В.І. Похмурським, Г.В. Самсоновим було створено технології високоефективних дифузійних покриттів. Наприкінці 90-х років минулого століття в Росії розроблені технології виготовлення біметалевих труб, плакованих від внутрішньої поверхні цирконом або його сплавами [18].

В реакторах є деталі, що рухаються і зношуються в умовах дії корозійно-активного середовища, тому вимагають періодичної зупинки для заміни й ремонту. Для штанг, валів, тяг розроблені хромисті сталі з високою твердістю після термічної обробки. В ІЕЗ ім. Є.О.

Патона створено спеціальні технології електронно-променевого зварювання таких матеріалів, ремонтні технології шляхом наплавлення. Особливою проблемою, вирішення якої займаються наукові установи, є технології виготовлення магнітопроводів з магнітом'яких сталей [20].

Матеріали, що працюють під дією високих температур і значних напружень, у тому числі змінних (а переважно це матеріали лопаток), повинні мати високу міцність, опірність корозії, розбуханню, повзучості, тепломеханічній втомі та ерозійному зношуванню. Матеріали таких конструкційних елементів повинні добре зварюватись і мати низький коефіцієнт теплового розширення. Проведено порівняння механічних властивостей і характеристик конструкційної міцності, включаючи радіаційну стійкість, для зварних кільцевих швів атомних реакторів ВВЕР-1000, виконаних з використанням різних зварювальних матеріалів [22].

Уніфікування зварювальних матеріалів припускає зменшення кількості можливих для використання марок матеріалів (флюсу, електроду, зварювального дроту), що може дозволити підвищити якість зварних з'єднань. Проаналізовано фізико-металургійні основи створення високотехнологічних зварювальних матеріалів – для автоматичного зварювання: основних і захисних корпусів реакторів флюс однієї марки – КФ-30, з використанням зварювального дроту марок Св-09ХГНМТА, Пн-09ХГНМТАА-ВА, Пн-10ГН1МА, Св-08ГС; для ручного зварювання: електроди марок Н-25, ЕП-55 [23].

Для обладнання АЕС нового покоління створена зварювана сталь марки 15Х2НМФА клас 0 удосконаленого складу, що володіє міцністю, опором теплової крихкості та радіаційного

охрупчування при високому рівні прокваліфікованості [24].

Оцінюють реальні запаси міцності матеріалів, що застосовуються для виготовлення корпусів атомних реакторів різного призначення, за результатами випробувань натурних елементів і моделей посудин при циклічному, статичному та динамічному положенні навантажень. Випробування масштабних моделей і натурних елементів із зварними сполуками з низьколегованих сталей марок 15X2МФА і 15X2НМФА показали наступне: вітчизняні матеріали не поступаються закордонним в опорі руйнуванню при циклічному, статичному і динамічному додатку навантажень [25].

В ІЕЗ ім. Є.О.Патона останнім часом досліджені нові марки теплотривких конструкційних сталей з підвищеним змістом (9...12...12%) хрому для роботи виробів при понадкритичних (T 620-630 $^{\circ}$ C) параметрах пари, у тому числі проаналізований вплив легування на фазовий склад, корозійну стійкість, процеси при старінні, тривалу міцність і зварюваність сталей [26].

В установках, що виробляють і споживають різні види енергії, важливе значення має конструкція і якість виготовлення теплообмінних пристроїв і вузлів. Компактні теплообмінники з алюмінієвих сплавів у системах охолодження й термостабілізації об'єктів забезпечують зниження металоємності й оптимізацію циклів і параметрів установки.

Проблема приварки трубок до трубних дощок вирішувалася в ІЕЗ ім. Є.О.Патона, у ЦНДІ Технології машинобудування та ряді інших НДІ. Було запропоновано кілька технологій і розроблене відповідне встаткування. Для варіння трубок діаметром до 8-10 мм дугою, що обертається в магнітному полі, були розроблені пістолети з електродом, що не плавиться; дуга в аргоні

під дією магнітного поля оберталася з великою швидкістю, мала форму конуса й розплавляла одночасно все кільцеве зашморгуєче з'єднання.

Для зварювання трубок порівняно великого діаметра був розроблений пістолет з кільцевим електродом, що не плавиться, такого ж діаметра й електромагнітною котушкою. Така технологія знайшла застосування для виготовлення вузлів теплообмінних апаратів з нержавіючих і жаростійких сталей і титанових сплавів [27].

В ІЕЗ ім. Є.О.Патона були розроблені простий спосіб і пристрій для наведення електронного променя на стик, засновані на скануванні стику малої енергії. Цей спосіб покладено в основу оригінальної технології зварювання трубок керованим електронним променем, що переміщається по периметру з'єднання, і розщепленим променем одночасно декількох з'єднань. Завдяки зварюванню електронним променем у вакуумі вдалося забезпечити високоякісне з'єднання вузлів атомних електростанцій із цирконію й ряду інших металів і сплавів [28].

Довжина ТВЕЛів і ряду інших енергетичних вузлів АЕС досягають кілька метрів, тому виникла проблема в стикуванні труб, особливо при ремонті. Для зварювання кільцевих вертикальних швів в ІЕЗ ім. Є.О.Патона й інших організацій були розроблені накидні рознімні зварювальні головки й кілька технологій для зварювання труб різного діаметра, товщини стінок і матеріалів. У їхньому числі оригінальна технологія багатопрохідного аргонодугового зварювання без присадки. З початку 1960-х років ЕШЗ знайшла застосування на підприємстві «Атоммаш» для виготовлення товстостінних конструкцій АЕЗ, а ще раніше на ряді котельних і інших заводах, що випускають енергетичне устаткування [29-31].

Як бачимо, ядерна енергетика має порівняно коротку історію розвитку, але розвивалася достатньо динамічно, в результаті було створено, зокрема, атомні електростанції. У вирішенні проблем забезпечення надійної роботи відповідальних конструкцій, що експлуатуються в екстремальних умовах, зокрема, у створенні спеціальних мате-

ріалів і технологій з'єднання, помітний внесок зроблено науковими установами України. Попри значних досягнень в розробці матеріалів і технологій їх зварювання, у зв'язку з тенденцією до збільшення потужності енергоблоків АЕС виникають нові проблеми, зокрема матеріалознавчого характеру, що вимагають нових наукових рішень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стерман Л.С., Шарков А.Т., Тевлин С.А.. Тепловые и атомные электростанции. М.:,1975. – 579с.

2. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття /Під заг. ред. А.К.Шидловського, М.П.Ковалка. – Київ: Українські енциклопедичні знання, 2001. -400с.

3. Литвинов А.П. Разработка технологии сварки узлов энергетических установок / А.П. Литвинов // Материалы Международной научно-технической конференции «Проблемы сварки и электротехники. XII Бенардосовские чтения». Сборник научных трудов. – Иваново, 2005. – С. 13-15.

4. Сварочное дело в СССР //Под ред. Г.А. Николаева. – М.: ОНТИ, 1937. – 826с.

5. Матійко М.М. Розвиток дугового зварювання на Україні.- К.:Вид-во АН УРСР,1960.-155 с.

6. Мощная цельносварная установка для разрушения атома. // Автогенное дело. - 1938.- №1. – С.25

7. Welding progress in 1934 // J. AWS. — 1935. — № 1. — P. 4–12.

8. Davis A. F. Some welding applications /Davis A. F. // Ibid. — 1934. — № 10. — P. 2–9.

9. Тепловые и атомные электростанции. Справочник / Под ред.. В.А.Григорьева, В.М.Зорина. – М., Энергоиздат, 1982, - 624с.

10. Reisser S. M. Welding of structures — past, present and future // Metal constr. and British welding journal. — 1972. — № 2. — P. 68–72.

11. Сварка и специальная электрометаллургия: Сб. науч. труд. / Ред. кол. Патон Б.Е. (отв.ред.) и др. – Киев: Наук. Думка, 1984. – 288с.

12. Технология получения композитных сварных соединений высокопрочных сталей для энергомашиностроения / Б.С. Касаткин, А.К. Царюк, С.Н. Ковбасенко, Н.Ф. Кравченко, Ю.М.Журавлев // Автомат. сварка. – 1993. - №7. – С. 50-51.

13. Солонин М.И., Решетников Ф.Г., Иолтухов А.Г. Новые конструкционные материалы активных зон ядерных энергетических установок // Физика и химия обработанных материалов – 2001. - №4. – С.17-27

14. Косторнов А. Г. Материаловедение дисперсных и пористых материалов и сплавов. В 2-х томах, Т. 1. – К.: Наук. Думка, 2002. – 571с.

15. Мелехов Р. К., Похмурський В. І. Конструкційні матеріали енергетичного обладнання. К.: Наук. Думка, 2003. – 385с.

16. Корниенко А.Н. Институт электро-сварки им. Е.О. Патона / Корниенко А.Н. //Київ: Наукова думка, 1986. – 51 с.

17. Історія Національної академії наук України. 1918-1998 /С.Кульчицький, Ю.Павленко, С.Руда, Ю.Храмов /Відпов. редактор Ю.Храмов. Київ. – «Фенікс». – 2000. -527с.

18. Похмурський В.І., Хома М.С. Сучасні методи захисту сталей від корозійно-утомного руйнування / В кн."Актуальне проблеми сучасного матеріалознавства". В 2-х т. Т.2. – Київ: ІД „Академпериодика”,2008. – 616с. С.579-597

19. Литвинов А.П. Проблемы свариваемости – задачи металлургов, металлургов и сварщиков / А.П. Литвинов // Тезисы докладов III Международной научно-методической конференции «Повышение износостойкости деталей машин и конструкций. Совершенствование подготовки кадров». – Мариуполь, 2006. – С. 63-65.

20. Bland J., Owczarski W. A. Arc welding of Ni–Cr–Fe alloy for nuclear power

plants // Welding journal. — 1961. — № 1. — P. 22–32.

21. Lucas W., Males B.O. Recent advances in TIG welding process and the application of the welding of nuclear components. // DVS – Ber. – 1982, V.75 – P.119-123.

22. Данаусов А.В., Тимофеев Б.Т. Сопоставление механических свойств металла кольцевых швов эксплуатирующихся реакторов ВВЭР-1000, выполненных по различным технологическим вариантам. // Вопросы материаловед. – 2000. - №3. – С. 102-111, 147, 148.

23. Трумин В.Ю., Козлов Р.А., Журавлев Ю.М., Повышев И.А. Унифицированные сварочные материалы для изготовления корпусных конструкций реакторных установок повышенной безопасности. // Тез. докл. 5 Межотрасл. конф. по реактор. материаловед. Дмитровград: 8-12 сент. 1997. Дмитровград – 1997. – С.79-80.

24. Горынин И.В., Карзов Г.П., Филимонов Г.Н., Цуканов В.В., Грекова И.И., Орлова В.Н., Савельева И.Г. Конструкционная сталь для оборудования нового поколения АЭС повышенной безопасности и ресурса. // Прогрес. матер. и технол. – 1999. - №3. – С. 5-7.

25. Карзов Г.П., Тимофеев Б.Т., Блюмин А.А., Розанов М.П. Оценка прочности энергетического оборудования по результа-

там испытаний моделей и натуральных элементов. // Прогрес. матер. и технол. – 1999. - №3. – С. 137-143.

26. Патон Б.Е., Лесков Г.И., Живага Л.И. Специфика образования шва при электроннолучевой сварке // Автомат. сварка – 1967. - №3. – С. 1 -5.

27. Михайлов В.И., Семенов В. А. Опыт сварки теплообменной аппаратуры из титановых сплавов для атомных энергетических установок. // Прогрес. матер. и технол. – 1999. - №3. – С.133-136.

28. Куцан Ю.Г., Тур Л.В., Войко В.Г. Проспект. Система для наведения электронных пучков сварочных пушек на кольцевые стыки труб. // Академия наук. «Наукова думка».

29. Михайлов В.И., Семенов В. А. Опыт сварки теплообменной аппаратуры из титановых сплавов для атомных энергетических установок. // Прогрес. матер. и технол. – 1999. - №3. – С.133-136.

30. Лесков Г.И., Трунов Е.Н., Самусев Н.Ф. Электроннолучевая сварка труб с трубными досками теплообменников из перлитных теплоустойчивых сталей. // Автомат. сварка, - 1988. - №7.

31. Трунов Е.Н. Электроннолучевая сварка теплообменных аппаратов // Автомат. сварка. – 1987. - №11. – С. 65 – 68.

Корниенко А.Н., Литвинов А.П. История изготовления сварных конструкций атомных электростанций. Исследуется история разработки конструкционных материалов и технологии сварки узлов атомных электростанций. Отмечена роль институтов АН УССР в исследованиях и решении проблем атомной энергетики.

Kornienko A.N., Litvinov A.P. The history of for assembly of nuclear power stations. The history of development of structural materials and progress of welding technologies for assembly of nuclear power stations components are analyzed. The role of institutes of Academy of sciences in investigations and solving of problems of nuclear-power engineering are noted.