

## ЗВАРЮВАННЯ В ЕНЕРГЕТИЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ УРАЇНИ

А.К. Царюк<sup>1</sup>, Є.В. Левченко<sup>2</sup>, М.М. Гришин<sup>2</sup>, А.В. Вавілов<sup>2</sup>, А.Г. Кантор<sup>2</sup>, А.І. Бивалькевич<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>АТ «Турбоатом». 61037, м. Харків, просп. Московський, 199. E-mail: office@turboatom.com.ua

<sup>3</sup>ВП «Атомремонтсервіс», 07100, м. Славутич, просп. Ентузіастів, 7. E-mail: kanc@ars.atom.gov.ua

Наведено огляд окремих робіт ІЕЗ ім. Є.О. Патона зі створення прогресивних технологій зварювання устаткування для підприємств енергетичного сектору України. Охарактеризовано підходи до одержання зварних роторних конструкцій, комбінованих з'єднань високотемпературних компонентів устаткування теплових станцій. Узагальнено інформацію щодо удосконалення технології зварювання товстостінних трубних елементів зі сталі 10ГН2МФА для АЕС. Накопичений досвід створює основу для вирішення нових задач в енергетичному секторі країни. Бібліогр. 12, табл. 3, рис. 9.

*Ключові слова:* зварні ротори, автоматичне зварювання під флюсом, вузький зазор, комбіновані з'єднання, ручне дугове зварювання, з'єднання парогенератора з головним циркуляційним трубопроводом, автоматичне аргонодугове зварювання

Започаткований у 1959 р. підрозділ ІЕЗ ім. Є.О. Патона «Фізична та конструктивна міцність зварних з'єднань із сталей підвищеної міцності» займався фундаментальними і прикладними дослідженнями, націленими на вирішення актуальних питань з забезпечення якості і надійності зварних відповідальних конструкцій зі складнолегованих сталей у важкому, енергетичному та атомному машинобудуванні. Для сьогодення цей напрям залишається одним з головних і актуальних для енергомашинобудівних та енерговиробляючих підприємств.

За більш ніж 50 років відділ провів численні роботи, вирішуючи досить складні, неординарні наукові і виробничі проблеми. Науково-дослідна діяльність включала вивчення фізико-металургійних засад зварюваності і технологічної міцності складнолегованих сталей різних структурних класів, розробку ефективних технологічних процесів ручного і автоматичного зварювання в захисних газах і під флюсом, створення і дослідження зварювальних матеріалів, розробку і удосконалення технологій ремонтного зварювання устаткування і трубопроводів теплових і атомних станцій.

У якості прикладів надана інформація про окремі роботи, виконані відділом у співпраці з організаціями-партнерами, що мали певне актуальне значення для промислових підприємств.

**Автоматичне зварювання товстостінних турбінних роторних конструкцій.** Актуальне для промисловості підвищення потужності і робочих параметрів енергетичного устаткування обумовлює збільшення габаритів і маси його деталей. Однак при виготовленні відливок і поковок роторів великих розмірів виникають проблеми з забезпеченням якості, особливо при використанні легованих сталей [1].

Перші зварні ротори турбін у колишньому СРСР виготовляли з застосуванням ручного дугового зварювання. Але цей метод, незважаючи на

його гнучкість і простоту, відрізняється низькою продуктивністю, що особливо виявлялось при зварюванні елементів великої товщини.

На зміну ручному процесу зварювання у 1967–1968 рр., вперше у практиці енергомашинобудування у СРСР, на Харківському турбінному заводі (колишня назва АТ «Турбоатом») за участю фахівців ІЕЗ ім. Є.О. Патона було впроваджено технологію автоматичного зварювання під флюсом роторів парових і газових турбін з використанням окремих елементів – дисків. Важливими перевагами такого заходу є спрощення виготовлення складових елементів при забезпеченні їх належної якості, зменшення маси готової конструкції, можливість сполучення у одному великому виробі різних за легуванням сталей відповідно до різних термічних умов роботи окремих частин цього виробу [1].

При відпрацюванні технології на дослідній базі Харківського турбінного заводу за участю ІЕЗ ім. Є.О. Патона проведено перші дослідно-промислові роботи при використанні кілець з  $D_{\text{зовн}} = 1000$  мм і товщиною 100 мм зі сталі 35ХМ; також виготовлено модель ротора з цієї сталі з  $D_{\text{зовн}} = 1200$  мм з розробкою під зварювання глибиною 200 мм (рис. 1). При зварюванні використовували сполучення флюс/зварювальний дріт: АН-22+Св-10ХМ, АН-22+Св-08ХГМСФ та АН-17М+Св-08ХГМСФ. Одним з важливих результатів було встановлення характеру розвитку деформацій у товстостінному з'єднанні і визначено умови їх мінімізації.

Після ретельного проведення досліджень механічних властивостей, контролю якості зварних з'єднань технологія була застосована при виготовленні штатних роторів типу ГТ-35, К-160, ПВК-150, К-22-44, К-500-65. На цьому етапі використовували автомат У-738 з механічним (за допомогою копіру) керуванням зварювального мундштука.

Царюк А. К. – <https://orcid.org/000-0002-5762-5584>, Бивалькевич А.І. – <https://orcid.org/0000-0002-9261-3642>

© А.К. Царюк, Є.В. Левченко, М.М. Гришин, А.В. Вавілов, А.Г. Кантор, А.І. Бивалькевич, 2020

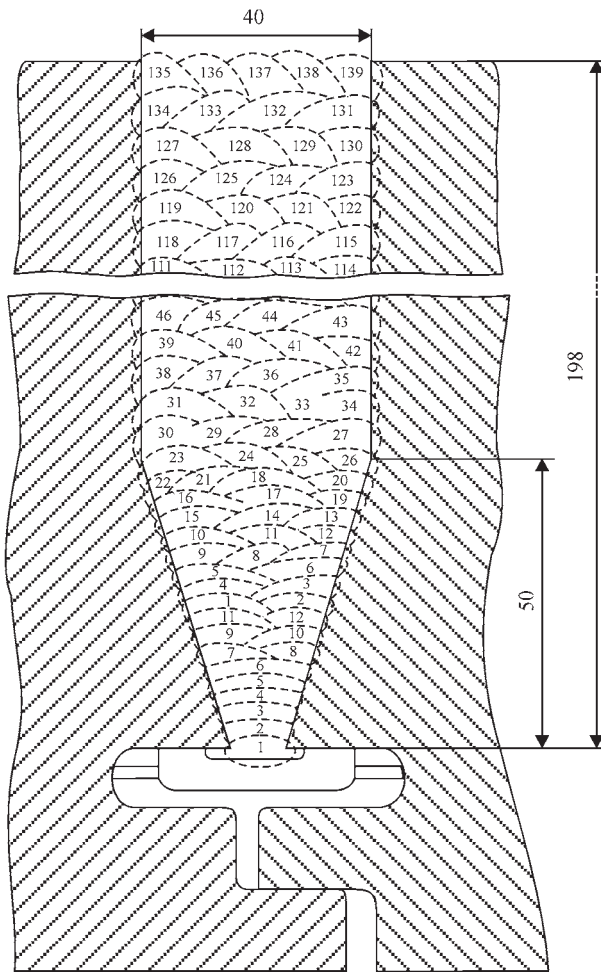


Рис. 1. Схема автоматичного зварювання моделі ротора

Вперше апробована промислова технологія дозволяла проводити зварювання у автоматичному режимі горизонтально розташованих роторів діаметром більш 500 мм з товщиною стінки від 30 до 250 мм і масою до 36 т. Продуктивність процесу зварювання одного ротора, у порівнянні з ручним зварюванням, збільшилась у 4...5 разів, середня тривалість виготовлення одного ротора становила 3...5 діб.

В подальшому розпочався випуск потужних роторів масою до 200 т, виготовлених з використанням кованих дисків зі сталей 25Х2НМФА та 20ХН2МФА, які поєднують належну міцність, високу пластичність і низьку критичну температуру крихкості [2, 3].

На зміну першій моделі зварювального апарату за участю ІЕЗ ім. Є.О. Патона розроблено нові модифікації автоматів для автоматичного зварювання під флюсом кільцевих секцій потужних роторів турбін з автоматичною розкладкою валиків за заданою програмою [3].

Слід відзначити, що для усунення недоліків, характерних для зварювання з традиційною широкою розробкою кромки, впроваджено прогресивне зварювання у вузький зазор, що дозволило [3–5]:

- зменшити трудомісткість виготовлення конструкцій з великою товщиною зварюваних елементів і поліпшити умови праці, виключивши втручання у зварювальний процес оператора-зварника;

- отримати економію зварювальних матеріалів та електроенергії;

- зменшити об'єм металу, що наплавляється;

- знизити рівень залишкових напружень у зварних з'єднаннях та ймовірність утворення тріщин при відпуску після зварювання.

Зазначимо, що у порівнянні з електрошлаковим зварюванням (ЕШЗ), яке використовують для виготовлення виробів великої товщини, автоматичне зварювання під флюсом також має значні переваги внаслідок спрощення технології. При зварюванні під флюсом можливе використання значно менших за шириною розробок (для порівняння – для вказаної вище товщини металу 500 мм при ЕШЗ ширина розробки становила 90 мм) і приводиться лише один вид термічної обробки – відпуск; після ЕШЗ легованих сталей вимагається застосування складної термічної обробки – подвійної нормалізації при високій температурі (950 °С) з послідовним відпуском [3].

При зварюванні під флюсом ширина розкриття кромки визначається як можливість розміщення зварювального мундштука всередині зазору без ризику закорочення наконечника на кромку, так і можливість проведення зачищення дефектних ділянок на різній глибині з'єднання з використанням металообробного інструменту. Встановлено, що для товщини до 500 мм ремонтні операції зручно виконувати ручним інструментом при ширині зазору не менше 36 мм; при зазорі 24...28 мм вибирання дефектних місць можливе тільки при використанні верстатного обладнання [5].

Експериментально визначено, що якісне сплавлення валиків і основного металу можливе як при зварюванні у два, так і у три валики в шарі. Випробуваннями техніки зварювання за обома варіантами з різною шириною розкриття кромки встановлено, що оптимальна ширина при зварюванні двома валиками становить в середньому 25 мм, трьома – може бути 30...36 мм (рис. 2).

Між тим при зварюванні у вузький зазор виникали ускладнення з видаленням шлаків і формуванням шва. На основі порівняльного аналізу різних марок зварювальних матеріалів встановлено, що найкраща віддільність шлаку у глибокій розробці і мінімальний вміст шкідливих домішок (S, P – до рівня приблизно 0,03 ваг. % кожного) досягаються при використанні флюсів АН-17М, АН-43 у сполученні з дротом Св-08ХН2ГМЮ. Для уникнення заклинювання шлакової кірки, якісного сплавлення валиків між собою і з основним ме-

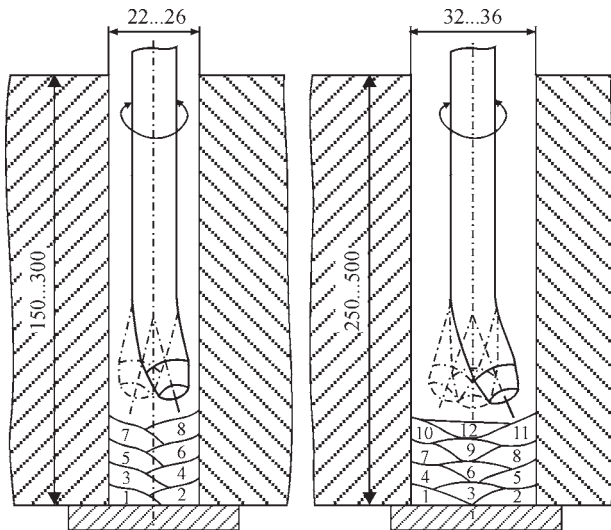


Рис. 2. Приклади розташування валиків за відпрацьованої технологією зварювання у вузький зазор

талом, запобігання утворення підрізів і вкраплень шлаку уздовж шва всередині розробки розроблено вимоги щодо параметрів режиму зварювання, ширини валиків і позиціонування зварювального дроту (діаметром 2 і 3 мм) відносно стінок розробки.

Для усунення ризику утворення холодних тріщин зварювання проводять з попереднім/супутнім підгрівом приблизно до 350 °С. Після зварювання застосовують високий відпуск (630 °С) для зниження рівня залишкових напружень і одержання структурного стану, що забезпечує необхідні експлуатаційні властивості. Застосування визначених технологічних заходів забезпечує легку (самостійну)



Рис. 3. Переріз модельного з'єднання роторної секції зі сталі 25Х2НМФА парової турбіни К-1000 потужністю 1000 МВт

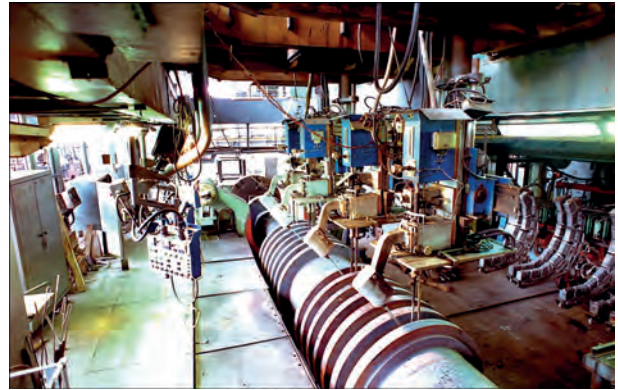


Рис. 4. Зварювання ротора на спеціалізованому стенді на АТ «Турбоатом»

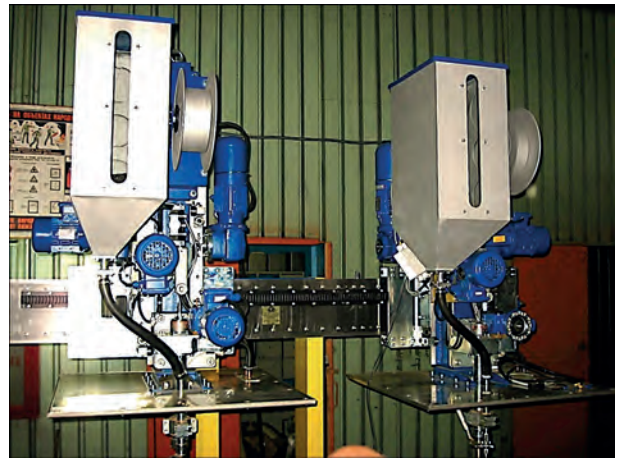


Рис. 5. Загальний вигляд здвоєних зварювальних автоматів А1569М для автоматичного зварювання під флюсом у вузький зазор циліндричних виробів

віддільність шлаку з розробки впродовж всього циклу безперервного зварювання і одержання щільних, бездефектних швів (рис. 3).

Для зварювання роторних конструкцій використовується спеціалізований унікальний стенд, де здійснюється складання, закріплення частин ротора і попередній/супутній підгрів (рис. 4). На сучасному етапі впроваджено зварювальні автомати нової конструкції А1569М (виготовлення ОЗСО ІЕЗ ім. Є.О. Патона) з процесорним керуванням положення поворотного мундштука (рис. 5) [2].

Суттєвим досягненням в останні роки стало опанування на АТ «Турбоатом» за участю ІЕЗ ім. Є.О. Патона технології виготовлення зварних композитних великогабаритних роторів [6, 7]. У їх конструкції передбачено використання елементів з двох марок сталей – 25Х2НМФА та 20Х3ВМФА – кожний з яких працює у різних температурних умовах. Комбінований ротор нового покоління показано на рис. 6.

**Удосконалення (реконструкція) високо-температурних компонентів котлотурбінного устаткування.** Однією з актуальних задач у енергетичному секторі є удосконалення конструкції окремих елементів для підвищення надій-



Рис. 6. Композитний ротор зі змонтованими лопатками циліндру середнього тиску парової турбіни нового покоління потужністю 325 МВт (АТ «Турбоатом»)

ності устаткування в цілому. На основі досвіду експлуатації турбінного обладнання і розрахунків за методом кінцевих елементів фахівцями АТ «Турбоатом» показано, що критичними вузлами у проточних частинах парових турбін є зварні шви у з'єднаннях лопаток зі сталі 15X12ВНМФ та 15X11МФ з ободом і тілом зі сталі 15X1М1Ф високотемпературних діафрагм. Традиційно зварювання таких з'єднань виконували електродами, що давали низьколегований наплавлений метал (типу 09X1МФ). Прийнято рішення щодо підвищення експлуатаційних властивостей швів за рахунок застосування електродного металу з підвищеним вмістом хрому. З залученням фахівців ІЕЗ ім. Є.О. Патона обрано електроди, що забезпечували наплавлений метал типу 0,16С–Cr11–W0,5Ni0,5Mo0,9V0,2. Проведено комплекс досліджень з оптимізації теплового режиму зварювання для забезпечення високої технологічної міцності зварних з'єднань [8]. Вирішено питання щодо високого відпуску результуючих зварних з'єднань, що забезпечило необхідний рівень ударної в'язкості металу швів ( $KCV \geq 44$  Дж/см<sup>2</sup>) при їх міцності вище основного металу (табл. 1). Технологія впроваджена на АТ «Турбоатом» при виготовленні високотемпературних діафрагм турбін (рис. 7).

Вкрай актуальною є докорінна модернізація об'єктів теплової енергетики України [9] із застосуванням нових сталей з підвищеним рівнем тривалої міцності. Між тим [10], на початковому стані планом реконструкції та модернізації ТЕС і ТЕЦ в енергогенеруючих компаніях у період до 2020 р. передбачалась лише реконструкція існуючих енергоблоків з подовженням терміну їх роботи на 15...20 років. Відповідно з вказаними планами АТ «Турбоатом» разом з ІЕЗ ім. Є.О. Патона проведено роботи з розробки технології зварювання паропроводу з нової мартенситної високо-

Таблиця 1. Механічні властивості зварних з'єднань типу 15X1М1Ф+15X12ВНМФ (в стані після високого відпуску при 720 °С)

$T_{\text{випр}}$ , °С	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	KCV, Дж/см <sup>2</sup>	Метал шва			Зварне з'єднання		
						$\sigma_b$ , МПа	$\Psi$ , %	Місце руйнування	$\sigma_b$ , МПа	$\Psi$ , %	Місце руйнування
20	555,75	704,2	22,75	56,45	93	561,65	53,1	ЗТВ	561,65	53,1	ЗТВ
570	319,65	388,3	29,75	82,5	190,7	375,65	67,9	ЗТВ	375,65	67,9	ЗТВ

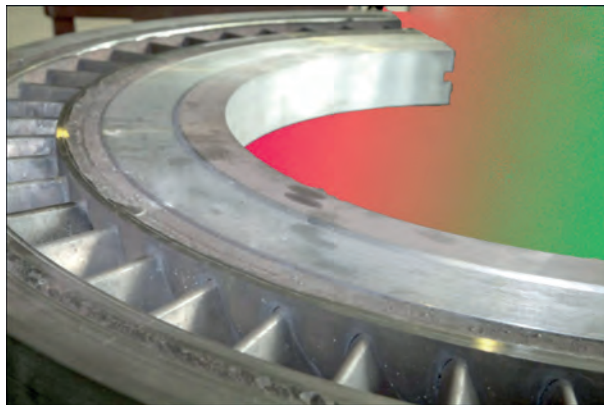


Рис. 7. Елемент зварної високотемпературної діафрагми парової турбіни (АТ «Турбоатом»)

хромистої сталі X10CrMoVNb91 (P91) з корпусом парової турбіни зі сталі 15X2М2ФБС (ПЗ) [11]. Досліджено можливість зварювання електродами з низько- та високохромистим наплавленим металом – 2 та 9 % Cr (систем легування 0,07С–Cr2–Mo1–V0,2 та 0,1С–Cr9–Mo1–Ni0,8VNb). Дослідним шляхом визначено температуру попереднього (супутнього) підігріву для запобігання сповільненого руйнування таких комбінованих з'єднань і режим їх післязварювального відпуску. В обох заходах зварювання метал швів перевищував мінімум основного металу – руйнування поперечних зразків при кімнатній і робочій температурах відбувалось по основному металу; рівень в'язкості швів відповідав необхідній умові  $KCV \geq 51$  Дж/см<sup>2</sup> (табл. 2). Технологія прийнята для промислового застосування.

**Зварювання елементів ГЦТ Ду850 ядерних енергоблоків.** Однією з технологічних задач було удосконалення технології приварювання парогенератора до головного циркуляційного трубопровода (ГЦТ) в монтажних умовах. Елементи, що зварюються, – патрубок парогенератора та ГЦТ – виготовлені зі сталі 10ГН2МФА, плакованої всередині аустенітним корозійностійким шаром; внутрішній діаметр становить 850 мм, товщина стінки 70 мм. При зварюванні основного (несучого) шва існуючою технологією рекомендовано застосування аргонодугового процесу (ААрДЗ) з дротом Св-08Г1НМА та стандартної розробки кромки з їх широким розкриттям (рис. 8, а). Проте передбачалось, що більш продуктивним може бути автоматизоване зварювання у вузьку розробку; перевагами такого заходу, крім значного зменшення трудомісткості робіт, є зменшення кількості наплавного металу, зниження рівня залишкових напружень і, що суттєво, зменшення дози радіаційного впливу на персонал. Такий підхід став

Таблиця 2. Механічні властивості комбінованих з'єднань типу ПЗ+Р91 (стан після високого відпуску)

Тип металу шва	$T_{\text{випр.}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	KCV, Дж/см <sup>2</sup>	Метал шва	
							Зварне з'єднання	
9 % Cr	20	601,8	727,2	18,5	52,5	96,3	615,6	ЗТВ
	570	361,4	401,0	22,5	81,3	-	360,3	ЗТВ
2 % Cr	20	620,1	716,7	20,4	68,7	193,9	667,8	ЗТВ
	570	410,6	451,0	20,5	80,5	-	390,0	ЗТВ

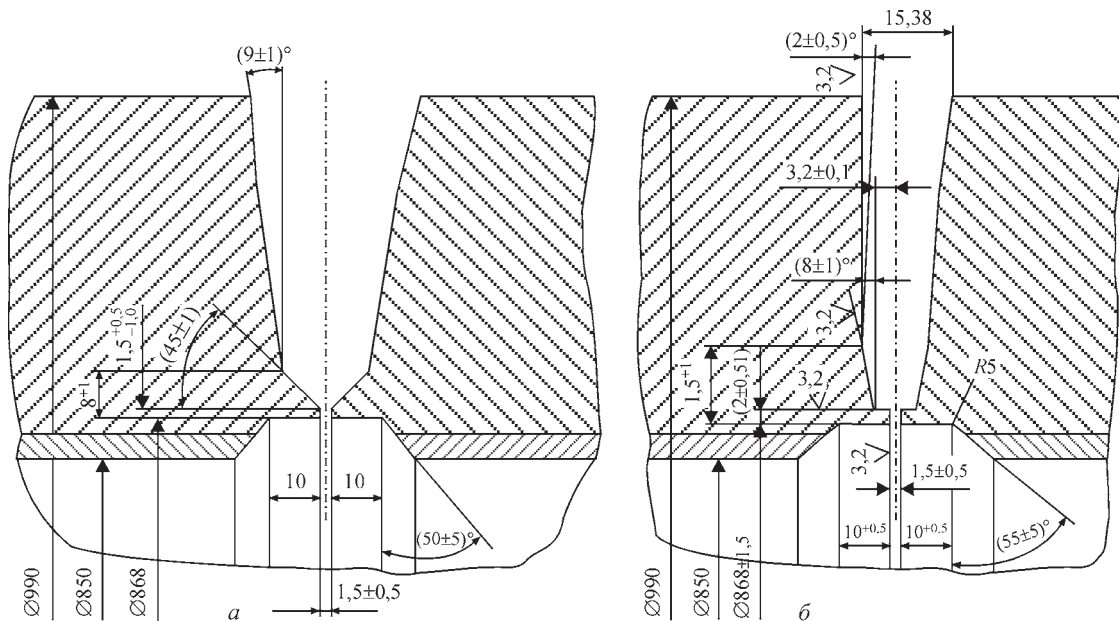


Рис. 8. Розробки крайок : а – стандартна; б – запропонована

можливим завдяки розробці спеціалізованого портативного механообробного устаткування, яке дозволило підготувати на елементах, що стикаються, розробки крайок з вузьким розкриттям (рис. 8, б) [12]. Для одержання стикових з'єднань прийнято апаратуру Autotig 600 PC (фірми «Polysoude», Франція) для ААрДЗ у вузьку розробку кромки у суміші 70 % He + 30 % Ar. Роботи з дослідної перевірки і опанування технології виконано фахівцями ІЕЗ ім. Є.О. Патона, ОП «Атомремонтсервіс».

Проведена ретельна перевірка нової технології [9] за регламентом, визначеним правилами і нормами у атомній енергетиці, оскільки зварювання у вузьку розробку нормативними документами не було передбачене. Попередніми дослідженнями відпрацьована технологія зварювання у горизонтальному положенні стиків дротом Св-08Г1НМА діаметром 0,9 мм і визначено оптимальні параметри режиму ( $I_{\text{зв}} = 150 \text{ А}$ ,  $U_{\text{д}} = 11 \text{ В}$ ,  $v_{\text{зв}} = 6,0 \text{ м/год.}$ , швидкість подачі дроту  $v_{\text{др}} = 152,0 \text{ м/год.}$ , витрати газової суміші 1000...1200 л/год.; попередній/супутній підігрів близько 170 °С). Після заповнення основного шва проводили наплавлення вибраного плакованого шару та неруйнівний контроль всього з'єднання.

Таблиця 3. Механічні властивості металу шва зварного з'єднання сталі 10ГН2МФА (результати дослідницької атестації)

$T_{\text{випр.}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	KCV, Дж/см <sup>2</sup>	Метал шва	
						Зварне з'єднання	
20	615,0	690,0	24,2	73,3	290,0	556,0	ОМ
350	522,0	617,0	22,0	70,8	240,0	505,0	ОМ

Далі виконували високий відпуск за штатним режимом (при 650 °С) і повторний неруйнівний контроль як основного шва, так і зони плакування. Підтверджено належну якість та відсутність дефектів у зварному з'єднанні. Результуючі механічні властивості металу несучого шва при кімнатній і робочій температурах перевищували встановлені вимоги.

За розробленими рекомендаціями проведена дослідницька атестація технології у лабораторних умовах ВП «Атомремонтсервіс» шляхом зварювання і випробування кільцевого з'єднання діаметром 990 мм і товщиною 70 мм, чим була підтверджена придатність запропонованої технології для подальшої виробничої атестації. Характерні механічні властивості наведено у табл. 3. Критична температура крихкості становила -70 °С, структура металу шва – бейніт відпуску з твердістю  $HV - 235...240$ .

Остаточні атестаційні випробування технології виконано на Південно-Українській АЕС (див. переріз шва на рис. 9). Після одержання позитивних результатів всіх контрольних перевірок нова технологія була узгоджена з Державним комітетом по ядерному регулюванню України і рекомендована для застосування при ремонті ГЦТ Ду 850, а та-

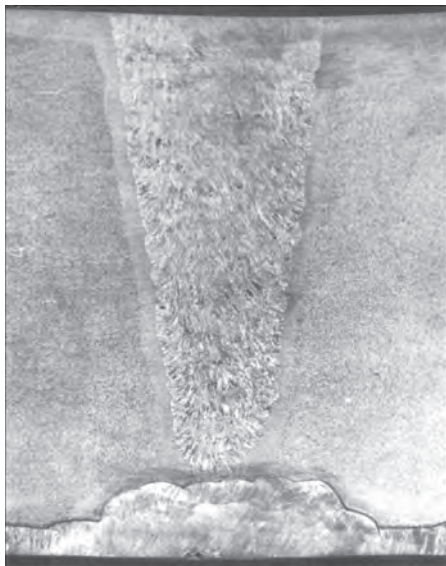


Рис. 9. Переріз атестаційного з'єднання зі сталі 10ГН2МФА, виконаного на Південно-Українській АЕС

кож для з'єднання елементів ГЦТ з патрубками парогенератора ПГВ-1000М при його заміні на енергоблоках АЕС з реакторами ВВЕР-1000.

На закінчення відмітимо, що крім загально-теоретичних досліджень відповідно до профілю діяльності Інституту, головною націленістю фахівців у роботі є прикладні наукові розробки, обумовлені потребами промислового сектору. Як видно з наведених прикладів, тільки співпраця науки та виробництва дає можливість одержати значимі результати. Накопичений таким чином досвід створює основи для вирішення нових задач, що можна узагальнити так: надбання минулого – запорука розвитку у майбутньому.

**Список літератури / References**

1. Zemzin, V.N., Frenkel, L.D. (1962) *Welded structures of steam and gas turbines*. Moscow, Leningrad, Mashgiz [in Russian].  
Земзин В. Н., Френкель Л. Д. (1962) *Сварные конструкции паровых и газовых турбин*. Москва, Ленинград, Машгиз.

2. Morachkovskiy, O.K., Dmitrik, V.V., Usatyi, O.P. et al. (2018) *Development of rotors of high power turbines*. Kharkiv, FOP Panov A.M. [in Ukrainian].  
Морачковський О.К., Дмитрик В.В., Усатий О.П. та ін. (2018) *Створення роторів турбін великої потужності*. Харків, ФОП Панов А.М.

3. German, S.I., Tsaryuk, A.K., Dneprovsky, G.V. et al. (1980) *Automatic narrow-gap submerged-arc welding of alloyed steels*. St.-Petersburg, Energomashinostroenie [in Russian].  
Герман С.И., Царюк А.К., Днепровский Г.В. и др. (1980) *Автоматическая сварка под слоем флюса легированных сталей в узкую разделку*. С.-Петербург, Энергомашиностроение.

4. Tsaryuk, A.K., Kasatkin, B.S., Ivanenko, V.D. et al. (1980) *Mechanized narrow-gap submerged-arc welding of thick metal*. *Avtomatich. Svarka*, **10**, 47-51 [in Russian].  
Царюк А.К., Касаткин Б.С., Иваненко В.Д. и др. (1980) *Механизированная сварка под флюсом толстого металла в узкой зазор*. *Автоматическая сварка*, **10**, 47-51.

5. Tsaryuk, A.K., Skulsky, V.Yu., Moravetsky, S.I. (2016) *Mechanized narrow-gap submerged-arc welding of thick-walled cylindrical products*. In: *Proc. of Medovar Memorial Symposium (7-10 June 2016, Kyiv, Ukraine)*. Kyiv, Elmet-Roll, 82-90.

6. Subotin, V.G., Levchenko, E.V., Shvetsov, V.L. et al. (2009) *Development of new generation steam turbines of 325 MW power*. Kharkiv, Folio [in Ukrainian].

7. Tsaryuk, A.K., Moravetsky, S.I., Skulsky, V.Yu. et al. (2012) *Development of forge-welded combined medium-pressure rotor for 325 MW steam turbine*. *The Paton Welding J.*, **8**, 36-41.

8. Skulsky, V.Yu., Nimko, M.A., Tsaryuk, A.K. et al. (2018) *Welding and heat treatment of joints of steels 15Kh1M1F+15Kh12VNMF*. In: *Coll. of Poster Papers of Int. Conf. on Welding and Related Technologies – Present and Future (5-6 December 2018, Kyiv, Ukraine)*. Kyiv, PWI, 50-51.

9. Karp, I.M., Smikhula, A.V. (2016) *The draft concept on modernization of thermal energy of Ukraine*. In: *Proc. of 12 Int. Sci. Conf. on Coal Power System: Ways for Reconstruction and Development (21-24 September 2016, Kyiv, NANU)*, 3-7.

10. Volchyn, I.A., Dunaevska, N.I., Gaporynch, L.S. (2013) *Prospects of implementation of clean coal technologies in power engineering of Ukraine*. Kyiv, GNOZIS [in Ukrainian].

11. Skulsky, V.Yu., Nimko, M.A., Tsaryuk, A.K. et al. *Welding of combined joints of chromium steel Kh10CrMoVNb91 with low-alloy steel 15Kh2M2FBS*. *Ibid.*, 51.

12. Tsaryuk, A.K., Skulsky, V.Yu., Kasperovich, I.L. et al. (2006) *Development and certification of automatic narrow-gap argon-arc welding technology of MCP Dn850 elements at NPP*. *The Paton Welding J.*, **5**, 19-25.

**WELDING IN THE POWER ENGINEERING BRANCH OF UKRAINE**

A.K. Tsaryuk<sup>1</sup>, E.V. Levchenko<sup>2</sup>, M.M. Grishin<sup>2</sup>, A.V. Vavilov<sup>2</sup>, A.G. Kantor<sup>2</sup>, A.I. Bivalkevich<sup>3</sup>

<sup>1</sup>E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine,

11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: office@paton.kiev.ua

<sup>2</sup>PJSC «Turboatom». 199, Moscow Ave., 61037, Kharkov, Ukraine. E-mail: office@turboatom.com.ua

<sup>3</sup>SS «Atomremontservis», 7, Entuziastiv Ave., 07100, Slavutich, Ukraine. E-mail: kanc@ars.atom.gov.ua

Review of the separate works of the E.O. Paton Electric Welding Institute on creation of advanced technologies of welding the equipment for the enterprises of the power engineering sector of Ukraine is presented. Approaches to producing welded rotor structures, combined joints of high-temperature components of equipment of heat power plants are described. The information on improvement of technology of welding thick-walled pipe elements from steel 10GN2MFA for NPPs is generalized. The gained experience forms the basis for solving new problems in the power engineering sector of the country. 12 Ref., 3 Tabl., 9 Fig.

*Keywords: welding rotors, automatic submerged welding, narrow gap, combined joints, manual arc welding, connection of steam generator with main circulation pipeline, automatic argon arc welding*

Надійшла до редакції  
06.02.2020