

**Л.М. Лобанов<sup>1</sup>, Н.М. Махлін<sup>2</sup>, В.К. Смоляков<sup>2</sup>, А.О. Свириденко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

<sup>2</sup> ДП «НІЦ ЗКАЕ ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України», Київ

<sup>3</sup> ПАТ «ЧЕЗАР», Чернігів

## ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДГОТУВАННЯ НЕПОВОРТНИХ СТИКІВ ТРУБОПРОВОДІВ ДО ЗВАРЮВАННЯ



*Наведено результати доробку Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона та його спеціалізованих підрозділів по створенню вітчизняних зразків обладнання для підготування до зварювання торців та крайок стиків неповоротних стиків трубопроводів діаметром від 14 до 159 мм при монтажі, ремонті та модернізації об'єктів енергетики, включаючи енергоблоки атомних і теплових електростанцій, в хімічному та енергетичному машинобудуванні, на підприємствах нафтогазового комплексу та в інших галузях промисловості.*

*Ключові слова: неповоротні стики трубопроводів, автоматичне орбітальне зварювання, механічна обробка, пневмоприводи, торцювачі, труборізи, супорти, різці.*

Під час монтажу, ремонту чи модернізації об'єктів енергетики, нафтогазового і хімічного комплексів та ін. найбільш складним, відповідальним та трудомістким технологічним процесом є зварювання стиків (переважно неповоротних) трубопроводів — базових елементів технологічних ланцюгів цих об'єктів. При цьому у більшості випадків зварювальні роботи доводиться виконувати в умовах обмеженого доступу до трубопроводів.

Характерна особливість технологічних трубопроводів полягає в складних умовах їх експлуатації. Трубопроводи атомних електростанцій (АЕС) зокрема зазнають одночасного впливу високих температур, підвищеного тиску, корозійної і радіаційної активності теплоносія та інших середовищ. Зважаючи на те, що надійність та безпека енергоблоків АЕС та інших потенційно небезпечних виробництв багато в чому визначається станом і ресурсом

технологічних трубопроводів, природними є постійно зростаючі вимоги до якості, технічних характеристик і корозійної стійкості їх зварних з'єднань [1–4].

Важливим чинником, що впливає на якість зварних з'єднань, є спосіб зварювання.

Сьогодні для отримання зварних з'єднань трубопроводів застосовують способи ручного аргонодугового зварювання (TIG-зварювання) з додаванням присадкового дроту (або ж без нього), ручного дугового зварювання плавки електродом з покриттям (MMA-зварювання) та автоматичного орбітального зварювання неплавким електродом у середовищі інертних газів (GTAW-зварювання), причому і донині переважаючими залишаються саме способи ручного зварювання [5, 6, 8]. Аналогічне становище спостерігається не тільки в енергетичній галузі, а й в інших галузях, де застосовуються технологічні трубопроводи.

Ручні способи зварювання характеризуються певною технологічною гнучкістю та заниженою чутливістю до точності попередньої

обробки торців чи крайок розкриття стиків трубопроводів. Проте ці способи зварювання не забезпечують ані необхідної продуктивності (наприклад, машинний час при ручному TIG-зварюванні не перевищує 20 %), ані стабільного відтворення регламентованої якості зварних з'єднань (рівень дефектності стиків при здаванні з першого пред'явлення становить від 15 до 45 %). Показово, що ручні способи зварювання вимагають залучення великої кількості зварників високої кваліфікації.

У порівнянні з ручними способами зварювання спосіб GTAW дозволяє не тільки підвищити щонайменше в 4 рази продуктивність зварювальних робіт, але й забезпечити стабільно високу якість зварних з'єднань трубопроводів. При зварюванні способом GTAW без присадкового дроту дефектність стиків при здаванні з першого пред'явлення не перевищує 4 %, а з присадковим дротом – 7 %, при цьому тривалість навчання оператора автоматичного зварювання складає кілька місяців, тоді як підготовка висококваліфікованих зварників ручного зварювання вимагає декількох років [5–8].

Накопичений досвід переконливо свідчить, що трудовитрати на зварювання переважно неповоротних стиків трубопроводів становлять до 40 % від усіх трудовитрат на монтаж АЕС та до 60 % від загальних трудовитрат на зварювальні роботи при монтажі енергоблоків. Основний обсяг робіт (до 80 %) припадає на зварювання стиків трубопроводів, діаметр яких не перевищує 159 мм, при цьому до 60 % від загальної кількості стиків складають стики трубопроводів з аустенітних сталей [5, 6].

З огляду на це та на обсяги зварювальних робіт, які необхідно виконати для забезпечення подовження ресурсу трубопроводів потенційно небезпечних виробництв, а також на масштаби розвитку атомної енергетики шляхом модернізації та подовження ресурсу діючих і спорудження нових енергоблоків АЕС з реакторами типу ВВЕР (останнє потребує виконання більше 120 000 зварних з'єднань на одному енергоблоці), є всі підстави стверджу-

вати, що застосуванню GTAW-зварювання альтернативи немає [5–8]. Проте і досі через низьку чинників рівень автоматизації процесів зварювання монтажних стиків трубопроводів об'єктів енергетики та об'єктів інших важливих для розвитку економіки галузей залишається вкрай низьким.

Одним із основних чинників, що перешкоджають широкомасштабному застосуванню автоматичного зварювання неповоротних стиків трубопроводів, протягом довгого часу було те, що раніше обладнання для GTAW-зварювання в Україні не розроблялося і промислово не виготовлялося. Існуюче подібне обладнання закордонного походження має високу вартість і вимагає значних експлуатаційних витрат, при цьому воно помітно поступається навіть орбітальним автоматам, які у 70–90-і роки минулого сторіччя серійно вироблялися в колишньому СРСР, як за ресурсом машинного часу, ремонтпридатністю, адаптованістю до розмірів та міжтрубних відстаней вітчизняних трубопроводів, так і за можливістю здійснення ефективних способів зварювання стиків тонкостінних труб методами автоопресування або послідовного проплавлення, які давно і успішно застосовуються в Україні і Росії [7–9]. Тому важливою науково-технічною задачею є розробка вітчизняних технологій та створення і освоєння промислового виробництва сучасного вітчизняного обладнання для GTAW-стиків трубопроводів, особливо малих діаметрів (до 219 мм).

Значною мірою ця задача була вирішена створенням в 2008 р. в Інституті електрозварювання (ІЕЗ) ім. Є.О. Патона і його спеціалізованому підрозділі Державне підприємство «Науково-інженерний центр зварювання та контролю в галузі атомної енергетики України ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України» (ДП НІЦ ЗКАЕ) обладнання для GTAW-зварювання без додавання присадкового дроту стиків трубопроводів діаметром від 7 до 76 мм з товщиною стінки до 4,0 мм із сталей аустенітного або перлітного класів та високолегованих сплавів – орбітальних автоматів АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ

625 УЗ.1 та АДЦ 626 УЗ.1 [10]. Відтоді почалося оснащення підприємств галузі атомної енергетики та ремонтних підрозділів АЕС України цими автоматами, яке триває і досі. Приклади успішного застосування автоматів цієї серії наведено в [11,12].

Наступним вагомим внеском у вирішення зазначеної науково-технічної задачі було відпрацювання протягом 2011–2012 років вітчизняних технологічних процесів та одночасне створення в ІЕЗ ім. Є.О. Патона разом з НІЦ ЗКАЕ дослідних зразків апаратно-програмних комплексів для GTAW (з додаванням присадкового дроту і коливаннями неплавкого електроду) неповоротних стиків трубопроводів діаметром від 76 до 219 мм з товщиною стінки до 12,0 мм зі сталей аустенітного та перлітного класів – орбітальних автоматів АДЦ 628 УХЛ4, АДЦ 629 УХЛ4 та АДЦ 630 УХЛ4 [13]. У 2014 р. в НІЦ ЗКАЕ було створено орбітальний автомат АДЦ 626П УЗ.1 для GTAW з додаванням присадкового дроту і коливаннями неплавкого електроду, призначений для зварювання неповоротних стиків трубопроводів діаметром від 42 до 76 мм з товщиною стінки до 7,0 мм. Слід відзначити, що розробку вітчизняних технологічних процесів GTAW-зварювання та обладнання для їх здійснення виконано на основі низки оригінальних технічних рішень, які не мають аналогів, тобто на інноваційному рівні [14–16].

Як встановлено дослідженнями та практикою, якість зварних з'єднань трубопроводів у значній мірі (а в деяких випадках – у вирішальній) залежить від якості передуючої зварюванню обробки торців чи крайок розкриття їх стиків та від якості складання деталей трубопроводів безпосередньо перед зварюванням [5–7, 9, 17], а здійснення GTAW-зварювання можливе лише за умови забезпечення належної підготовки стиків трубопроводів до зварювання і відповідності профілів цих стиків вимогам діючих в атомній енергетиці та інших галузях промисловості нормативних документів. Зважаючи на це, дуже впливовим чинни-

ком, який стримує автоматизацію зварювальних робіт при монтажі і ремонті енергоблоків АЕС та в інших галузях економіки України, на даний час є відсутність сучасного вітчизняного обладнання для підготовки неповоротних стиків трубопроводів до їх GTAW-зварювання. Саме тому організації і підприємства галузі атомної енергетики та інших галузей економіки України змушені застосовувати обладнання аналогічного призначення, яке надходить до України виключно по імпорту і за своїми властивостями може задовольнити українських користувачів лише частково. До основних недоліків такого обладнання слід віднести:

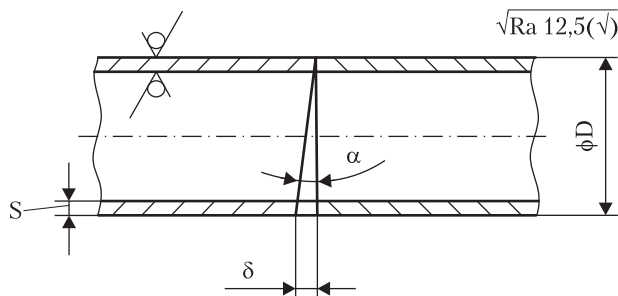
- ✦ його переважно внутрішнє базування, що обумовлює певні ускладнення та незручності при здійсненні обов'язкового оперативного контролю геометричних розмірів торців труб або розкриття крайок неповоротних стиків трубопроводів і суттєво збільшує кількість та тривалість підготовчих і заключних операцій, а отже, і тривалість перебування персоналу в зоні радіоактивного забруднення;
- ✦ відсутність деяких важливих опцій, необхідних для виконання вимог чинних в Україні ПНАЕ (Правил впорядкування й безпечної експлуатації обладнання й трубопроводів атомних енергетичних установок) та інших нормативних документів (наприклад, торцювачі імпортного походження не спроможні забезпечувати внутрішню розточку труб);
- ✦ велику вартість та значні експлуатаційні витрати.

Вочевидь, що з урахуванням викладених вище обставин розробка вітчизняних технологій та створення і освоєння промислового виробництва сучасного вітчизняного обладнання для підготування неповоротних стиків трубопроводів до зварювання є досить актуальною задачею.

З метою вирішення цієї задачі протягом 2013–2014 років в ІЕЗ ім. Є.О. Патона разом з НІЦ ЗКАЕ були проведені дослідження, пошукові, дослідно-технологічні та дослідно-конструкторські роботи в таких напрямках:

- ✦ проведення експериментальних та технологічних досліджень щодо процесів підготування торців та крайок розкриття неповоротних стиків сталевих трубопроводів;
- ✦ визначення і оптимізація вимог до процесів підготування до зварювання неповоротних стиків трубопроводів АЕС діаметром 14–159 мм, до методів та засобів оперативного контролю геометричних розмірів торців труб діаметром 14–76 мм та розкриття крайок стиків трубопроводів діаметром 76–159 мм, до обладнання для підготовки неповоротних стиків трубопроводів АЕС діаметром 14–159 мм до їх зварювання;
- ✦ розробка і відпрацювання конструктивних рішень обладнання для підготування до зварювання неповоротних стиків трубопроводів діаметром 14–159 мм, розробка і відпрацювання технічної документації на дослідні зразки вітчизняного обладнання для підготування неповоротних стиків трубопроводів АЕС діаметром 14–159 мм до їх GTAW-зварювання, розробка і відпрацювання технічної документації на стендове устаткування та нестандартну контрольно-вимірювальну апаратуру для перевірки і випробувань дослідних зразків;
- ✦ розробка методики технологічних випробувань дослідних зразків обладнання для підготування до зварювання неповоротних стиків трубопроводів діаметром 14–159 мм, визначення оптимальних параметрів процесів і режимів механічної обробки торців труб з товщиною стінки до 4,0 мм та крайок V-подібного та U-подібного розкриття стиків труб з товщиною стінки до 12,0 мм, підготовки виробництва, виготовлення, налагодження, доопрацювання та випробування дослідних зразків обладнання для підготовки до зварювання неповоротних стиків трубопроводів діаметром 14–159 мм.

При проведенні експериментальних і дослідно-технологічних робіт зокрема досліджувалися вплив на якість зварних з'єднань точності підготовки крайок деталей трубопрово-



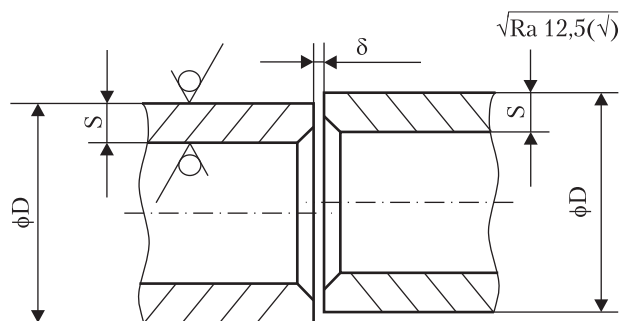
**Рис. 1.** Схема підготування торців труб з товщиною стінки до 4,0 мм для імітації відхилення площини торця зразка від перпендикулярності відносно осі труби при виконанні зварного з'єднання типу С-39

дів, конструктивні елементи яких відповідають вимогам ПНАЭ Г-7-009-89 і ОСТ 24.125.02-89, та відхилення внутрішніх діаметрів деталей, що мають бути з'єднані зварюванням, від нормативних значень (умови з'єднання деталей труб з різною товщиною стінки).

У процесі досліджень здійснювалася обробка торців зразків деталей трубопроводів із сталей 08Х18Н10Т для імітації відхилення площини торця зразка від перпендикулярності відносно осі труби, тобто умови нерегулярної шпарини при виконанні зварного з'єднання типу С-39 відповідно до рис. 1 та табл. 1.

Оброблені зразки деталей трубопроводів діаметром 18 мм з товщиною стінки 2,5 мм та діаметром 38 мм з товщиною стінки 3,5 мм піддавали автоматичному орбітальному зварюванню неплавким електродом у середовищі аргону (GTAW-зварюванню) методом автоопресування, для чого застосовувався автомат АДЦ 625 УЗ.1 для GTAW-зварювання неповоротних стиків трубопроводів діаметром 18–42 мм. Для зварювання зразків деталей трубопроводів діаметром 57 мм з товщиною стінки 4,0 мм методом послідовного проплавлення використовувався автомат АДЦ 626 УЗ.1 для GTAW-зварювання неповоротних стиків трубопроводів діаметром 42–76 мм [10].

Обробку торців зразків деталей трубопроводів із сталей 08Х18Н10Т для імітації відхилення внутрішніх діаметрів деталей, що мають бути з'єднані зварюванням, від нормативних



**Рис. 2.** Схема підготовки торців труб з товщиною стінки до 4,0 мм для імітації відхилення внутрішніх діаметрів деталей, що мають бути з'єднані зварюванням, від нормативних значень (умови з'єднання деталей труб з різною товщиною стінки) при виконанні зварного з'єднання типу С-39

значень (умови з'єднання деталей труб з різною товщиною стінки) при виконанні зварного з'єднання типу С-39 здійснювали відповідно до рис. 2 та табл. 2. З метою відтворення умов з'єднання деталей труб з різною товщиною стінки зразки деталей трубопроводів, що мають бути з'єднані зварюванням, оброблялися таким чином, щоб вони мали різні внутрішні діаметри –  $d_1$  та  $d_2$  – відповідно до виразів

$$d_1 = D_1 - 2,25 S_1, \quad (1)$$

$$d_2 = D_2 - 2,25 S_2, \quad (2)$$

де  $D_1$  і  $D_2$  – зовнішні діаметри деталей труб, що мають бути з'єднані зварюванням;  $S_1$  і  $S_2$  – товщини стінок цих деталей відповідно.

Таблиця 1

**Лінійні та кутові розміри зразків деталей трубопроводів із сталей 08Х18Н10Т для імітації умов нерегулярної шпарини при виконанні зварного з'єднання типу С-39**

Розміри труби, (D×S), мм	Шпарина (δ), мм		
	0,3	0,5	0,7
	Кут відхилення від перпендикуляру до повздожньої вісі труби (α), кутових град.		
18 × 2,5	1,23°	1,72°	2,88°
38 × 3,5	0,55°	0,92°	1,29°
57 × 4,0	0,36°	0,60°	0,84°

Згідно з (1), (2) та рис. 2 різниця внутрішніх діаметрів  $\Delta d$  деталей труб, що мають бути з'єднані зварюванням, може бути визначена, як

$$\Delta d = d_1 - d_2 = (D_1 - 2,25S_2) - (D_2 - 2,25S_1), \quad (3)$$

а у випадку  $D = D_1 = D_2$  і  $S_2 > S_1$  як

$$\Delta d = 2,25 (S_2 - S_1). \quad (4)$$

За результатами виконання декількох серій дослідних зварювань встановлено:

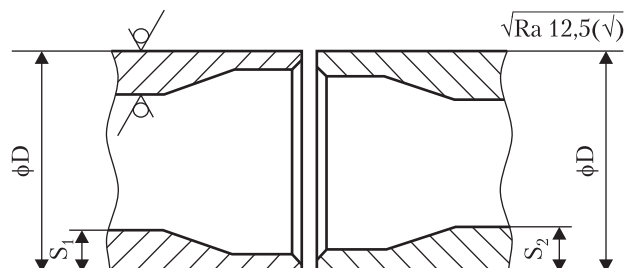
- ♦ ділянки зварних з'єднань, де шпарина між торцями складає від 0,45 до 0,75 мм, мають низку дефектів, найбільш характерними з яких є просідання шва, непровари, несплавлення крайок, підрізи;
- ♦ ділянки зварних з'єднань, де шпарина між торцями складає від 0,35 до 0,50 мм, мають низку таких дефектів, як просідання шва, несплавлення крайок, підрізи;
- ♦ на ділянках зварних з'єднань, де шпарина між торцями складає від нуля до 0,35 мм, дефекти практично відсутні, якість зварних з'єднань повністю відповідає вимогам ПНАЭ Г-7-009-89;
- ♦ зварні з'єднання зразків деталей трубопроводів, у яких  $\Delta d$  складає від 0,014  $D_{\text{НОМ}}$  до 0,020  $D_{\text{НОМ}}$ , мають такі дефекти, як порушення регламентованої форми зварного шва, підрізи, непровари, несплавлення крайок, «утяжини» в корені шва;
- ♦ у зварних з'єднаннях зразків деталей трубопроводів, у яких  $\Delta d$  не перевищує 0,010  $D_{\text{НОМ}}$ , дефекти практично відсутні, якість зварних з'єднань повністю відповідає вимогам ПНАЭ Г-7-009-89.

Також здійснювали обробку крайок розкриття стиків зразків деталей трубопроводів із сталі 20 для імітації відхилень від лінійних та кутових розмірів, регламентованих ПНАЭ Г-7-009-89 і ОСТ 24.125.02-89 для зварних з'єднань типу С-42 відповідно до табл. 3, 4 і рис. 3 та виконували дослідні зварювання цих зразків.

За результатами виконання декількох серій дослідних зварювань визначено:

- ✦ зварні з'єднання зразків деталей трубопроводів, у яких асиметрія кутів скосу крайок розкриття  $\Delta\alpha$  складає від 8 до 12 кутових градусів, мають такі суцільні дефекти, як неприпустимі порушення формування зварного шва, несплавлення крайок та окремих валиків, непровари в заповнюючих проходах, провисання частини шва біля крайки з завищеним кутом скосу, підрізи в лицювальному шві;
- ✦ у зварних з'єднаннях зразків деталей трубопроводів, у яких асиметрія кутів скосу крайок розкриття  $\Delta\alpha$  складає від 4,5 до 8 кутових градусів, спостерігаються аналогічні дефекти, але дещо в меншій кількості;
- ✦ у зварних з'єднаннях зразків деталей трубопроводів, у яких асиметрія кутів скосу крайок розкриття  $\Delta\alpha$  не перевищує 4 кутових градуса, дефекти практично відсутні, якість зварних з'єднань повністю відповідає вимогам ПНАЭ Г-7-009-89;
- ✦ зварні з'єднання зразків деталей трубопроводів, у яких притуплення  $(S_1 - M_1)$  однієї з крайок відрізняється від притуплення  $(S_2 - M_2)$  іншої крайки більше, ніж на 0,5 мм, схильні до таких дефектів кореневого шва, як порушення його регламентованої форми, непровари, просідання шва з одного його боку і «утяжини» або несплавлення з іншого;
- ✦ у разі застосування режимів зварювання модульованим струмом навіть за умови різниці між притупленнями крайок до 0,75 мм дефектів кореневого шва виникає значно менше, а на деяких зразках їх не виявлено зовсім;
- ✦ у зварних з'єднаннях зразків деталей трубопроводів, у яких різниця між притупленнями обох крайок не перевищує 0,5 мм, дефектів не виявлено, якість зварних з'єднань повністю відповідає вимогам ПНАЭ Г-7-009-89.

Крім досліджень щодо впливу точності підготовки крайок деталей трубопроводів на якість зварних з'єднань при проведенні експериментальних та дослідно-технологічних робіт ви-



**Рис. 3.** Схема підготування крайок розкриття труб з товщиною стінки від 5,0 до 12,0 мм із сталі 20 для імітації відхилення лінійних або кутових розмірів деталей, що мають бути з'єднані зварюванням, від нормативних значень (умови асиметрії кутів скосу крайок та умови з'єднання деталей труб з різним притупленням) при виконанні зварного з'єднання типу С-42

конувалися досліди по визначенню сфери оптимальних режимів обробки (різання), які мають забезпечувати підготовку крайок та поверхонь деталей трубопроводів до зварювання та наплавлення відповідно до вимог ПНАЭ

Таблиця 2

**Лінійні розміри зразків деталей трубопроводів зі сталі 08Х18Н10Т для імітації умов з'єднання деталей труб з різною товщиною стінки**

Номінальні розміри труби $(D_{\text{НОМ}} \times S_{\text{НОМ}})$ , мм	$\Delta d$ , мм		
	0,010 $D_{\text{НОМ}}$	0,015 $D_{\text{НОМ}}$	0,020 $D_{\text{НОМ}}$
18 × 2,5	0,18	0,27	0,36
38 × 3,5	0,38	0,57	0,76
57 × 4,0	0,57	0,86	1,14

Таблиця 3

**Асиметрія кутів скосу крайок розкриття зразків деталей трубопроводів із сталі 20 для імітації відхилень від регламентованих ПНАЭ Г-7-009-89 і ОСТ 24.125.02-89 значень для зварних з'єднань типу С-42**

Номінальні розміри труби $(D_{\text{НОМ}} \times S_{\text{НОМ}})$ , мм	Асиметрія кутів скосу крайок розкриття $\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$ (при $\alpha_1 > \alpha_2$ ), кутові град.		
108 × 5,0 159 × 6,5 219 × 12,0	4	8	12

Г-7-009-89 та інших нормативних документів, чинних в галузі атомної енергетики України.

Необхідність виконання цих досліджень пояснюється особливостями сталей аустенітного класу та процесів їх механічної обробки. Однією з важливих особливостей цих сталей (як і більшості нержавіючих сталей та сплавів) є те, що вони мають основну структуру у вигляді твердого розчину аустенітного класу з графенцентрованою кубічною граткою [18, 19]. Сталі аустенітного класу найгірше піддаються механічній обробці. Це пояснюється низкою чинників, головним з яких є схильність таких сталей до наклепу; незначна деформація викликає сильне зміцнення металу. Велика в'язкість металу приводить до утворення довгої стружки, що також погіршує умови обробки [18]. Стружка з великим наклепом має високу твердість, що викликає протидію переміщенню інструмента і обумовлює необхідність гострого і ретельного заточування робочої крайки інструмента для забезпечення різання металу без утворення його крихт. Мала теплопровідність матеріалу, що обробляється, є чинником підвищеної температури у зоні різання, а відтак, й активізації явищ адгезії і дифузії, а також інтенсивного схоплення контактних поверхонь та руйнування робочої частини інструмента. Обробка різанням неминує супроводжуватися перетворенням його роботи в тепло, щонайменше 80 % якого виноситься зі стружкою, а

залишок розподіляється між різцем, заготовкою та навколишнім середовищем. Під впливом тепла зазнають змін структура та твердість поверхневих шарів різця і його здатність до різання, змінюються також і властивості поверхневого шару заготовки. Відомо, що будь-який вид механічної обробки характеризується режимом різання металів, який складається з таких основних елементів: швидкість різання, подавання та глибина різання. Під впливом сили різання, що прикладається до ланок гнучкої технологічної системи *верстат—приспособа—інструмент—заготовка*, виникають її деформації, при цьому на точність обробки впливають саме ті деформації системи, які змінюють відстань між робочою крайкою інструмента і поверхнею, що обробляється.

Одним з головних чинників, що впливають на стійкість інструмента, а, відтак і на точність обробки, є вібрації, які неминує виникають в процесі різання і призводять до змінних силових та теплових навантажень на робочі поверхні інструмента, а відповідно і до мікро- та макроруйнувань його крайок, що здійснюють різання. За наявності вібрацій особливо несприятливо на зношення інструмента впливають явища схоплення стружки з передньою поверхнею інструмента.

Здатність системи протистояти дії сили, яка викликає деформації, характеризує її жорсткість. Підвищення жорсткості технологічної

Таблиця 4

**Лінійні розміри крайок розкриття зразків деталей трубопроводів із сталі 20 для імітації відхилень від регламентованих ПНАЭ Г-7-009-89 і ОСТ 24.125.02-89 значень для зварних з'єднань типу С-42**

Номінальні розміри труби ( $D_{\text{ном}} \times S_{\text{ном}}$ ), мм	Розкриття крайок						
	Діаметр розточки $d_p$ , мм		Товщина стінки у місці розточки, не менше	Притуплення ( $S - M$ ) при $S_1 = S_2$ , мм			
	Номінальн.	Найбільше припустиме відхилення		$S_1 - M_1$	$S_2 - M_2$		
					$M_2 = M_1$	$M_2 = M_1 + 1$	$M_2 = M_1 + 1,5$
108 × 5,0	100	+0,23	2,7	2,3 <sup>+0,4</sup>	2,3 <sup>+0,4</sup>	3,3 <sup>+0,4</sup>	3,8 <sup>+0,4</sup>
159 × 6,5	149	+0,26	3,8	2,7 <sup>+0,3</sup>	2,7 <sup>+0,3</sup>	3,7 <sup>+0,3</sup>	4,2 <sup>+0,3</sup>
219 × 12,0	199	+0,30	8,8	3,0 <sup>-0,3</sup>	3,0 <sup>-0,3</sup>	4,0 <sup>-0,3</sup>	4,5 <sup>-0,3</sup>

системи сприяє зменшенню вібрацій її ланок, що, у свою чергу, дозволяє підвищити інтенсивність режимів різання, не знижуючи при цьому точності обробки. Проте слід визнати, що оскільки обладнання для підготовки неповоротних стиків трубопроводів до їх зварювання має бути мобільним (тобто переносним) та мати обмежену масу і належати до класу ручного інструмента, то забезпечення жорсткості технологічної системи, властивої стаціонарному обладнанню (наприклад, металообробним верстатам), в обладнанні, що належить до класу ручного інструмента, практично неможливе.

Дослідження щодо визначення сфери оптимальних режимів обробки (різання) з урахуванням рекомендацій, наведених в [18], виконувалися на зразках деталей трубопроводів із сталі 08X18H10T з номінальним діаметром 18 та 38 мм та номінальною товщиною стінки 2,5 і 3,5 мм відповідно, номінальним діаметром 57 і 108 мм з номінальною товщиною стінки 4,0 і 5,0 мм відповідно, номінальним діаметром 159 і 219 мм з номінальною товщиною стінки 6,5 і 12,0 мм відповідно. В результаті досліджень щодо визначення сфери оптимальних режимів обробки (різання) деталей трубопроводів із сталі 08X18H10T встановлено, що оптимальні значення параметрів режимів різання мають відповідати значенням, наведеним в табл. 5.

В процесі проведення досліджень та дослідно-технологічних робіт крім широко відомих стандартних лабораторних методів (металографічні дослідження, механічні випробування, неруйнівні методи контролю тощо) застосовувалися методи графічного програмування з використанням інтегрованих пакетів Lab VIEW та комп'ютерні системи CAD/CAE.

При розробці основних конструктивних рішень обладнання для підготовки неповоротних стиків трубопроводів АЕС діаметром 14–159 мм враховувалися:

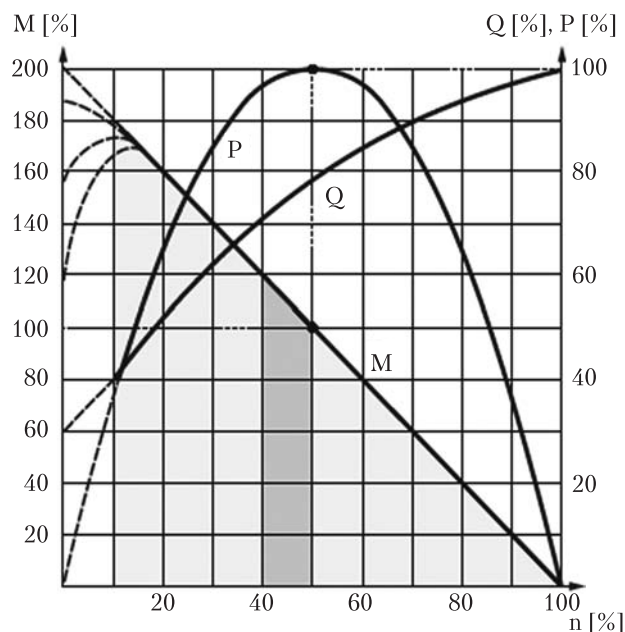
- ✦ вимоги до процесів механічної обробки деталей трубопроводів, що підлягають з'єднанню зварюванням, до обладнання для реалізації цих процесів, а також до методів та засобів контролю проміжних і остаточних результатів обробки;
- ✦ специфічні умови експлуатації обладнання для механічної обробки на АЕС, зокрема одночасний вплив підвищеної температури і вологості, а також (у багатьох випадках) радіоактивного забруднення;
- ✦ особливості ремонту та монтажу енергоблоків вітчизняних АЕС;
- ✦ наявний досвід розробки, виробництва та експлуатації зразків-прототипів аналогічного призначення [12–15];
- ✦ результати експериментальних та технологічних досліджень, аналізу та вивчення осо-

Таблиця 5

**Значення параметрів режимів обробки (різання) деталей трубопроводів із сталі 08X18H10T, які встановлено за результатами досліджень щодо визначення їх оптимальної сфери**

Найменування операції	Номінальні розміри труби ( $D_{\text{НОМ}} \times S_{\text{НОМ}}$ ), мм	Значення параметрів режимів різання	
		Швидкість різання, м/хв	Подавання для чистового точіння, мм/об.
Підрізання та відрізання Розточування внутрішнього діаметру	18 × 2,5	10,0	0,05
	38 × 3,5	12,0	0,06
Формування скосу крайки Формування притуплення	57 × 4,0	15,0	0,07
	108 × 5,0	10,0	0,08
Розточування внутрішнього діаметру	159 × 6,5	15,0	0,10
	219 × 12,0	20,0	





**Рис. 4.** Графік залежності крутного моменту  $M$ , потужності  $P$  та споживання (розходу) стисненого повітря  $Q$  від швидкості обертання  $n$

бливостей обладнання та пристроїв іноземного походження, призначених для підготовки неповоротних стиків трубопроводів;

- ✦ виробничий досвід та технологічні можливості провідних вітчизняних машинобудівних підприємств.

Із результатів експериментальних та технологічних досліджень і аналізу наявної інформації про існуючі моделі обладнання для підготовки неповоротних стиків трубопроводів впливає, що до складу кожної моделі обладнання для підготовки торців труб та профілів розкриття крайок стиків трубопроводів до зварювання мають входити такі основні частини, як рушій (привод); редуктор, який забезпечує узгодження швидкостей обертання вихідного валу приводу і планшайби з встановленими на ній робочими механізмами; планшайба з встановленими на ній супортами, кожний з яких споряджено двома тримачами різців (для торцювачів) або принаймні одним (для труборізів).

Одним з найважливіших і необхідних вузлів обладнання для підготовки неповорот-

них стиків трубопроводів до зварювання є його рушій, які з урахуванням призначення і особливостей цього обладнання та специфічних умов його експлуатації на АЕС мають бути виконані у вигляді пневмоприводу. Основою будь-якого пневмоприводу є пневмодвигун. У порівнянні з рушійми інших типів пневмодвигуни мають низку переваг, до яких можна віднести:

- ✦ пневмодвигуни мають значно менші питомий об'єм, габаритні розміри та масу, ніж електродвигуни з аналогічними основними параметрами (потужність і т.п.);
- ✦ пневмодвигуни здатні надійно працювати в умовах одночасного впливу на них високої температури та вологості зовнішнього повітря, значної вібрації та ударів, а також інших зовнішніх чинників навколишнього середовища;
- ✦ пневмодвигуни мають кращі, ніж у електродвигунів, показники надійності;
- ✦ на відміну від електродвигунів пневмодвигуни принципово забезпечують відповідність вимогам безпеки при їх експлуатації в небезпечних та особливо небезпечних умовах [16–18];
- ✦ у порівнянні з електродвигунами технічне обслуговування пневмодвигунів значно простіше та дешевше.

Найбільше розповсюдження отримали односторонні пневмодвигуни лопаткового типу, одна з особливостей яких полягає в тому, що для їх роботи треба забезпечувати надходження стисненого повітря тільки на один вхід, при цьому контролювати витік стисненого повітря потреби немає. Для кожного пневмодвигуна можна побудовано графік, який демонструє залежність крутного моменту  $M$  і потужності  $P$ , а також споживання стисненого повітря  $Q$  від швидкості обертання  $n$ . Як впливає з графіка, наведеного на рис. 4, найбільше значення потужності пневмодвигуна на його номінально навантаженому вихідному валу досягається за умови, що швидкість обертання цього валу складає приблизно 45–55 % від значення його найбільшої швидкості обертання. Існує

можливість регулювання швидкості і моменту обертання пневмодвигуна шляхом зміни тиску повітря, яке надходить до нього. Для цього на вхідному трубопроводі встановлюється редуктор-регулятор тиску, в результаті чого пневмодвигун постійно отримує практично необмежений об'єм стисненого повітря, але при меншому тиску, при цьому за появи навантаження на його вихідному валу виникає дещо менший крутний момент. Характерними особливостями виробництва пневмодвигунів лопаткового типу є:

- ✦ необхідність додержання вимог до конструктивної міцності й жорсткості циліндру-корпуса і водночас до високої точності обробки його внутрішніх поверхонь, що, з одного боку, вимагає виготовлення заготовки корпусу ковальським способом або ж із застосуванням інших доволі складних технологічно способів формоутворення, а з другого — обов'язкового застосування не тільки високоточних металообробних верстатів, а й спеціалізованого технологічного устаткування і пристроїв для контролю лінійних і кутових розмірів;
- ✦ необхідність додержання вимог до матеріалу і оптимального профілю лопаток та точності їх виготовлення, шпарин (зазорів) між крайками лопаток і внутрішніми поверхнями корпусу, а також до виконавчих розмірів вихідного отвору.

Визначені особливості виготовлення пневмодвигунів обумовлюють необхідність суттєвих первісних витрат на технологічне обладнання і устаткування, а також на підготовку виробництва, що економічно може бути виправдане лише за умови великої серійності або масового виробництва. Крім того, слід враховувати, що на сьогодні вітчизняне виробництво пневмодвигунів відсутнє. Тому при розробці обладнання для підготування неповоротних стиків трубопроводів цілком слушним та економічно доцільним було рішення про використання серійних пневмодвигунів напрацьованих моделей пневмоінструмента, який

імпортується з країн СНД або Південно-Східної Азії.

Для забезпечення реальних режимів механічної обробки планшайба обладнання для підготовки до зварювання неповоротних стиків трубопроводів з встановленим на ній інструментом для різання має обертатися зі значно меншою швидкістю у порівнянні з швидкістю обертання вихідного вала пневмодвигуна, що можна досягти лише шляхом відповідної редукції. Це обумовлює обов'язкову наявність у складі обладнання для підготовки до зварювання неповоротних стиків трубопроводів спеціальної трансмісії-редуктора. Існують редуктори різних типів, основними з яких є *планетарні, гелікоїдальні та черв'ячні*. На відміну від редукторів інших типів планетарні редуктори мають високий коефіцієнт корисної дії (ККД), низький інерційний момент, можливість відтворення великих передаточних чисел, а також найменші габаритні розміри відносно крутного моменту, що створюється редуктором [20, 21]. До основних переваг планетарних редукторів слід також віднести можливість простого фланцевого під'єднання, знаходження валу редуктора у центрі, вільний вибір просторового положення. Особливості розрахунку планетарної передачі полягають у визначенні оптимальних чисел зубів з урахуванням умов сусідства, збіг осей та можливостей здійснення складання. Для останнього тихохідного ступеню редуктора, на якому кріпиться планшайба з інструментом для різання, доречно використовувати циліндричну зубчасту передачу з евольвентним профілем зуба.

Ефективність технологічного процесу підготовки до зварювання деталей трубопроводів, особливо в умовах ремонту енергоблоків АЕС, серед чинників навколишнього середовища яких можливе й радіоактивне забруднення, характеризується не лише основним часом різання, але й підготовчо-заключним часом. Звідси випливає, що основним чинником, який обмежує можливість обробки деталей трубопроводів у зонах підвищеної агресивності навколиш-

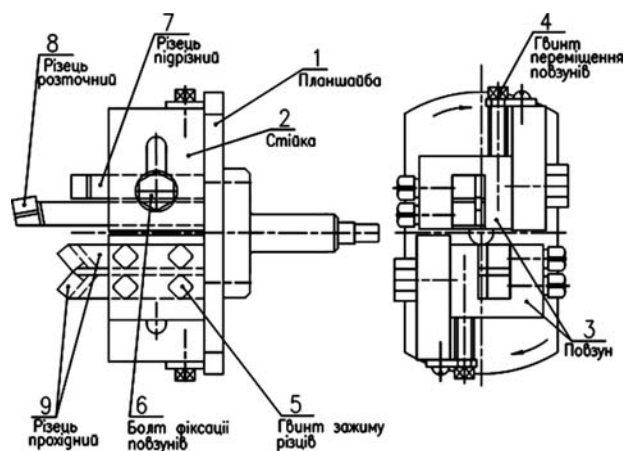


Рис. 5. Схема спеціальної планшайби торцювачів з чотирма різцями

ного середовища і припустимий термін перебування в таких умовах виробничого персоналу, є інтервал часу, який необхідно витратити як на власне процес різання, так і на переналагодження інструмента для різання. Одним з шляхів забезпечення ефективності обладнання для підготовки неповоротних стиків трубопроводів до зварювання, зокрема торцювачів, є така побудова планшайби, яка передбачає можливість одночасної обробки декількох поверхонь за рахунок наявності в конструкції планшайби декількох тримачів різців. Це зменшує кількість переходів та переключень торцювача, що забезпечує зростання його продуктивності й скорочення терміну обробки труби, а також сприяє підвищенню точності взаємного розташування поверхонь, що піддаються обробці завдяки усуненню необхідності переустановки торцювача (зміни бази встановлення торцювача на трубі). У процесі відпрацювання технічних рішень щодо обладнання для підготовки неповоротних стиків трубопроводів до зварювання запропонована конструкція спеціальної планшайби торцювачів, яка надає можливість одночасної обробки торців труб за допомогою чотирьох різців. При цьому за один прохід одночасно виконується торцювання труби, утворюються зовнішня та внутрішня фаски і здійснюється внутрішня розточка труби.

На рис. 5 зображена запропонована схема спеціальної планшайби торцювачів і розташування на ній повзунок 3 з різцями, що закріплені на стойках 2. У порівнянні з тримачами, в яких різці закріплюються безпосередньо в корпусі, тримачі зі стойками мають дещо меншу жорсткість, проте є більш універсальними. Двостороннє кріплення різців на планшайбі забезпечує кращі умови різання при обробці крайок труб торцювачами, що не мають достатньої жорсткості, відповідно процес обробки буде супроводжуватися меншою вібрацією. Одна з переваг запропонованої спеціальної планшайби 1 полягає в тому, що закріплення різців 7, 8, 9 та стойки 2 здійснюється за допомогою різних гвинтів 5, 6, і це дає можливість виставляти кожен різець на потрібний розмір за допомогою гвинта переміщення повзуна 4 з наступною його фіксацією за допомогою болта 5.

Як встановлено дослідженнями та аналізом технологічних можливостей відомих моделей торцювачів і виробничою практикою, один із суттєвих недоліків існуючих пристроїв для обробки торців та крайок труб пов'язаний з труднощами виконання контрольно-вимірвальних операцій, здійснення яких для процесу механічної обробки торців чи крайок розкриття неповоротних стиків трубопроводів є обов'язковим. Через моноблочну конструкцію головки з планшайбою, що обертається навколо труби, здійснення переважної більшості вимірів можливе лише у випадку зняття з труби пристрою для механічної обробки та виконання неминучого наступного корегування просторового положення різців і повторного базування пристрою на трубі. В свою чергу, повторне базування практично виключає можливість точного відтворення положення робочих органів пристрою відносно осей труби, що негативно впливає на точність механічної обробки, а також на витрати часу для виконання доволі складних підготовчих та налагоджувальних операцій. Для запобігання цьому в процесі проведення дослідно-конструкторських робіт запропоновано інноваційне технічне рішення, за

яким головка торцювача містить у собі механізм базування по зовнішній поверхні труби та нерухомий корпус, всередині якого встановлено планшайбу з розміщеними на ній тримачами різців. При цьому нерухомий механізм базування головки виконано швидким з'єднанням з її нерухомим корпусом за рахунок введення до конструкції головки щонайменше двох швидкодіючих підпружинених фіксаторів. Крім того, до складу головки додатково введено механізм самоцентрування, з'єднаний з механізмом базування головки співвісно з повздожньою віссю труби, що обробляється, та з повздожньою віссю механізму базування [22].

У порівнянні з планшайбами торцювачів спеціальна планшайба труборізу має більш складну конструкцію, що пояснюється функціональним призначенням труборізу та характером операцій, виконання яких труборіз має забезпечувати в процесі обробки розкриття крайок неповоротних стиків трубопроводів. Однією з головних особливостей конструкції планшайби труборізу є її побудова, яка (у взаємозв'язку з побудовою інших основних частин труборізу) дозволяє здійснювати максимально спрощене й надійне встановлення труборізу на трубопроводах «безкінечної» довжини, тобто планшайба труборізу має бути «накидного» типу. Планшайба труборізу виконана у вигляді револьверної головки з двома поперечними супортами і одним розточним. Характерна особливість запропонованої конструкції планшайби труборізу полягає в тому, що кріплення інструментів для різання на власне планшайбі та на поперечних супортах здійснюється шляхом застосування допоміжного інструмента, тобто різноманітних за конструкцією тримачів. Планшайба приводиться в рух внаслідок роботи пневмоприводу, з яким вона з'єднана за допомогою циліндричної зубчастої передачі. Пневмопривід містить у своєму складі пневмодвигун та планетарний редуктор зі встановленою на його виході малою циліндричною зубчастою шестернею. У корпусі труборізу планшайба обертається на опорах роликівого

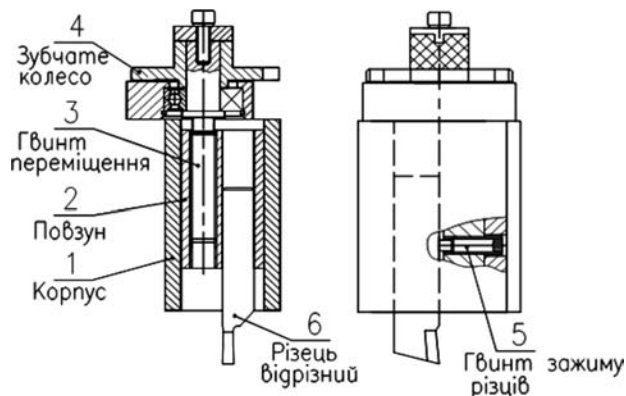


Рис. 6. Схема поперечного супорта планшайби труборізу

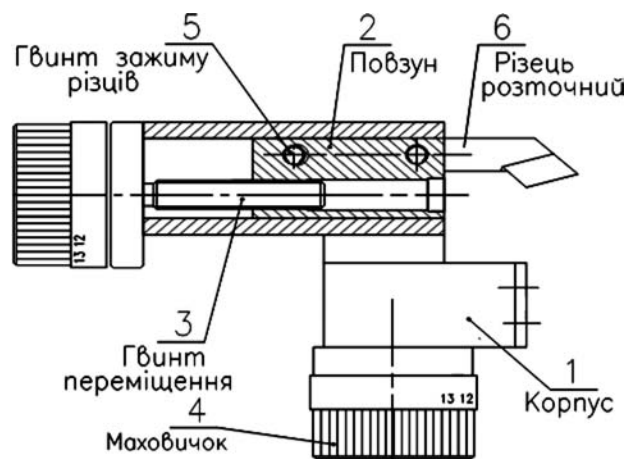


Рис. 7. Схема розточного супорта планшайби труборізу

типу, що регулюються. Це надає можливість регулювання міжцентрової відстані в елементах зубчастої передачі від вихідної шестерні пневмоприводу до колеса планшайби, що дає змогу мінімізувати биття планшайби відносно шпинделя обертання пневмоприводу. Осі обертання планшайби і шпинделя пневмоприводу паралельні одна одній. Згідно із запропонованою конструкцією на планшайбі труборізу діаметрально протилежно розташовані направляючі для розміщення в них двох поперечних або повздожніх супортів. Ці направляючі дають можливість радіального переміщення супортів і наступної їх фіксації на потрібній відстані в залежності від діаметра трубопроводу, що підлягає обробці. Суттєвою перевагою запропоно-

ваної конструкції планшайби труборізу є можливість поперечного подавання інструментів для різання шляхом обертання планшайби, завдяки чому зникає необхідність застосування окремої кінематичної ланки механізму з незалежним рухом для забезпечення переміщення поперечного супорта. Інструменти для різання (різці), призначені для роботи при поперечному подаванні супортів, закріплюються в тримачах-повзунах, які в поперечних супортах встановлюються з переднього або заднього боку деталі, що підлягає обробці. При цьому переміщення різців у радіальному напрямку в поперечних супортах здійснюється автоматично з фіксованим подаванням на один повний оберт планшайби. За необхідності подавання

можливо відключати. Важлива особливість запропонованої конструкції планшайби полягає в тому, що радіальне переміщення інструментів для різання, яке забезпечується поперечними супортами, дає можливість суміщати роботу декількох різців різної конфігурації та призначення. Наприклад, у кожному з двох поперечних супортів може бути закріплено по одному відрізню різцю, або ж в одному поперечному супорті – відрізний, а в іншому – прохідний різець, який може бути налагоджений для виконання зовнішньої фаски (в останньому випадку конче важливим є своєчасне відключення автоматичного подавання).

На рис. 6 представлена запропонована схема поперечного супорта планшайби труборізу

Таблиця 6

Основні параметри розроблених дослідних зразків обладнання для обробки торців та крайок неповоротних стиків трубопроводів

№ пор.	Найменування параметра або характеристики	Значення			
		Модель			
		ТРЦ38 УЗ.1	ТРЦ76 УЗ.1	ТТЦ660 УЗ.1	Мангуст-2МТ (Россия)
1	Найменший зовнішній діаметр труби, що обробляється, мм	14	38	108	45
2	Найбільший зовнішній діаметр труби, що обробляється, мм	38	76	159	120
3	Найбільша товщина стінки труби, що обробляється, мм	5,0	7,0	15,0	5,0
4	Довжина розточування внутрішнього діаметра труби, мм, не менше	10	15	20	опція розточування відсутня
5	Базування	на зовнішній поверхні труби			внутрішнє
6	Спосіб подавання різця	вручну	вручну	автоматично	вручну
7	Подавання різця, мм/об., не більше	0,20	0,15	0,10	0,20
8	Частота обертання тримача різця номінальна, об./хв	110	100	60	70
9	Витрата стисненого повітря під час неробочого ходу, м <sup>3</sup> /хв	1,5	1,5	1,5	1,7
10	Габаритні розміри, мм, не більше	350 × 140 × 170	370 × 160 × 175	520 × 500 × 435	470 × 400 × 120
11	Маса з приводом, кг, не більше	9,5	12,6	19,3	9,5

для випадку закріплення в ньому відрізного різця. При обертанні зубчастого колеса 4 від початкового положення, яке визначається за допомогою розміщеного на планшайбі фіксатора, здійснюється обертання гвинта переміщення 3 і, відповідно, переміщення відносно корпусу 1 повзуна 2 з розміщеним в ньому відрізним різцем 6. Якщо в одному поперечному супорті закріплено відрізний різець, а в іншому – прохідний, то протягом одного проходу одночасно виконуються операції відрізання труби і утворення зовнішньої фаски її крайки.

На рис. 7 наведено схему розточного супорта запропонованої конструкції планшайби труборізу для обробки крайок розкриття неповоротних стиків трубопроводів діаметром 108–159 мм. Розточний супорт кріпиться на планшайбі замість поперечного, і його корпус 1 встановлюється на потрібній відстані в залежності від діаметра трубопроводу, що підлягає обробці. При обертанні маховичка 4 здійснюється обертання гвинта переміщення 3 і відповідно до цього переміщення відносно корпусу 1 повзуна 2 з розміщеним у ньому розточним різцем 6. У випадку повної заміни поперечних супортів на розточні відтворюється їх двостороннє розташування на планшайбі, що забезпечує більш сприятливі умови різання, за яких в процесі обробки значно зменшується вібрація.

Експериментальні та технологічні дослідження, визначення вимог до обладнання для підготовки неповоротних стиків трубопроводів АЕС діаметром 14–159 мм до їх зварювання, розробка технічних пропозицій з питань основних конструктивних рішень цього обладнання, а також комп'ютерне моделювання вузлів та механізмів торцювачів та труборізу, натурне макетування їх елементів і математичні розрахунки їх силових частин та кінематичних ланок створили необхідні передумови для розробки і відпрацювання конструктивних рішень та технічної документації, включаючи комплекти робочої конструкторської документації (РКД), на дослідні зразки обладнання для підготування до зварювання неповорот-



Рис. 8. Загальний вигляд дослідних зразків торцювачів ТРЦ38 УЗ.1 (справа) і ТРЦ76 УЗ.1 (зліва)



Рис. 9. Загальний вигляд дослідного зразка труборізу ТТЦ660 УЗ.1

них стиків трубопроводів АЕС діаметром 14–159 мм, у тому числі торцювачів ТРЦ 38 УЗ.1 та ТРЦ 76 УЗ.1 і труборізу ТТЦ 660 УЗ.1. Також було розроблено технічну документацію на стендове устаткування та нестандартну контрольно-вимірювальну апаратуру для перевірки і випробувань цих дослідних зразків. У 2014 р. в ПАТ «ЧЕЗАРА» за участю НІЦ ЗКАЕ було здійснено конструкторське та технологічне опрацювання розробленої технічної документації на дослідні зразки торцювачів ТРЦ 38 і ТРЦ76 та труборізу ТТЦ660 та виготовлення цих дослідних зразків, а також проведено їх попередні випробування. Пода-

льші випробування дослідних зразків обладнання для підготовки до зварювання неповоротних стиків трубопроводів діаметром 14–159 мм виконувалися в ІЕЗ ім. Є.О. Патона, НІЦ ЗКАЕ та ВП «Атомремонтсервіс» ДП «НАЕК «Енергоатом».

В табл. 6 наведено основні параметри розроблених дослідних зразків обладнання для обробки торців та крайок неповоротних стиків трубопроводів, а на рис. 8 і 9 – загальний вигляд цих дослідних зразків.

Всебічні випробування засвідчили доцільність запропонованих технічних рішень і відповідність дослідних зразків вимогам до сучасного обладнання для обробки торців та крайок неповоротних стиків трубопроводів та підтвердили переваги створеного вітчизняного обладнання перед існуючими зарубіжними зразками.

## ВИСНОВКИ

1. Розробка, виготовлення і випробування дослідних зразків торцювачів ТРЦ 38 УЗ.1 (для труб діаметром від 14 до 38 мм) та ТРЦ 76 УЗ.1 (для труб діаметром 38–76 мм) і труборізу ТТЦ 660 УЗ.1 (для трубопроводів діаметром 108–159 мм) та подальше освоєння їх промислового виробництва створюють необхідні передумови для оснащення монтажних організацій та ремонтних підрозділів і підприємств галузі енергетики та інших галузей сучасним вітчизняним обладнанням для підготовки неповоротних стиків трубопроводів до зварювання. Це забезпечить усунення одного з головних чинників, перешкоджаючих реалізації широкомасштабного впровадження як напрацьованих, так і новітніх вітчизняних технологій автоматичного зварювання неповоротних стиків трубопроводів діаметром 14–76 мм з товщиною стінки до 7,0 мм і діаметром 76–159 мм з товщиною стінки до 12,0 мм із сталей аустенітного і перлітного класів та високолегованих сплавів, що, в свою чергу, надасть змогу суттєво підвищити якість, продуктивність, технологічну та економічну ефективність зва-

рювальних робіт при монтажі і ремонті об'єктів енергетики та інших потенційно небезпечних виробництв.

2. Результати попередніх та технологічних випробувань свідчать про те, що дослідні зразки торцювачів ТРЦ 38 УЗ.1 і ТРЦ 76 УЗ.1 та труборізу ТТЦ 660 УЗ.1 у порівнянні з кращими зарубіжними зразками обладнання для підготовки деталей неповоротних стиків труб і трубопроводів до їх ручного або автоматичного зварювання дозволяють забезпечити:

- ✦ розширення технологічних можливостей обладнання для підготовки неповоротних стиків сталевих трубопроводів до GTAW;
- ✦ підвищення продуктивності процесів механічної обробки неповоротних стиків сталевих трубопроводів за рахунок спрощення умов виконання контролю внутрішніх геометричних розмірів труб, що піддаються механічній обробці;
- ✦ полегшення та здешевлення обслуговування обладнання для підготовки неповоротних стиків трубопроводів АЕС до GTAW за рахунок максимально можливого використання в цьому обладнанні вітчизняних комплектуючих виробів і матеріалів та суттєвого покращення його ремонтпридатності;
- ✦ зниження щонайменше у 1,5–2 рази собівартості цієї продукції;
- ✦ підвищення якості та точності підготовки неповоротних стиків сталевих трубопроводів до GTAW.

Зазначені переваги стосуються переважно торцювачів і досягаються за рахунок технічних рішень щодо їх зовнішнього базування на трубах, які підлягають обробці, забезпечення можливості одночасного торцювання, формування зовнішньої та внутрішньої фасок і розточування внутрішнього діаметра цих труб та швидкого з'єднання/розз'єднання нерухомого механізму базування робочої головки з її нерухожим корпусом.

*Автори відзначають, що у розробці, конструюванні і випробуваннях вищезгаданих зразків обладнання для підготовки деталей неповорот-*

них стиків труб і трубопроводів до їх зварювання були задіяні інженери В.Є. Водоласький і Д.С. Оліяненко, у дослідженнях та відпрацюванні технологічних процесів — наукові співробітники В.А. Півторак і П.Д. Кротенко та інженери В.Є. Попов, Л.І. Людвіг, О.В. Бурба і А.О. Муха, в освоєнні виробництва розроблених зразків обладнання — інженери М.М. Пасічний, С.В. Абрамян, А.В. Науменко, А.У. Мнухін, В.М. Андрійченко, В.Є. Іванов, В.П. Тищенко, Г.І. Писарев, С.К. Лазеба, В.С. Павловський.

Робота виконана в рамках науково-технічного проекту НАН України (2014) «Відпрацювання процесів підготування неповоротних стиків трубопроводів АЕС діаметром 14–159 мм до автоматичного орбітального зварювання неплавким електродом та створення дослідних зразків імпортозамінюючого обладнання для реалізації цих процесів».

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Камерон И.* Ядерные реакторы / Пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 320 с.
2. *Широков В.С.* Фізика ядерних реакторів: Навч. пос. — К.: Вища школа, 1993. — 288 с.
3. ПН АЭ Г-7-008-89. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок / Госатомнадзор СССР. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 168 с.
4. ПНАЭГ-7-009-90 и ПНАЭГ-7-010-90. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка. Основные положения / Госатомнадзор СССР. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 320 с.
5. *Белкин А.С., Шефель В.В.* Автоматическая аргодуговая сварка при монтаже трубопроводов АЭС // Энергетическое строительство. — 1985. — № 11. — С. 43–46.
6. *Шефель В.В.* Состояние и перспективы разработки нового малогабаритного трубосварочного оборудования // Энергетическое строительство. — 1988. — № 12. — С. 3–4.
7. *Роцин В.В., Хаванов В.А., Акулов Л.И., Букаров В.А.* Сварка при монтаже оборудования и металлоконструкций реакторных установок // Сварка в атомной промышленности и энергетике. Труды НИКИМТ. — М.: ИздатАТ, 2002. — Т.1. — С. 81–118.
8. *Гриненко В.И., Роцин В.В., Хаванов В.А., Полосков С.И.* К вопросу об автоматизации сварки монтажных стыков трубопроводов атомных электростанций // Технология машиностроения. — 2008. — № 8. — С. 48–51.
9. *Букаров В.А.* Технология дуговой автоматической сварки в защитных газах // Сварка в атомной промышленности и энергетике. Труды НИКИМТ. — М.: ИздатАТ, 2002. — Т. 1. — С. 149–210.
10. *Махлин Н.М., Коротынский А.Е., Богдановский В.А.* Одно- и многопостовые системы для автоматической сварки неповоротных стыков трубопроводов атомных электростанций // Автомат. сварка. — 2011. — № 11. — С. 34–44.
11. *Богдановский В.А., Гавва В.М., Махлин Н.М. и др.* Применение автоматической орбитальной сварки при изготовлении поглощающих вставок контейнеров хранения отработанного ядерного топлива // Автомат. сварка. — 2011. — № 12. — С. 41–45.
12. *Махлин Н.М., Попов В.Е., Федоренко Н.С. и др.* Применение автоматической орбитальной сварки при изготовлении чехлов каналов нейтронных измерительных ядерных реакторов // Автомат. сварка. — 2013. — № 6. — С. 29–34.
13. *Махлин Н.М., Коротынский О.Е., Свириденко А.О.* Апаратно-програмні комплекси для автоматичного зварювання неповоротних стиків трубопроводів атомних електростанцій // Наука і інновації. — 2013. — Т. 9. — № 6. — С. 31–45.
14. Пат. № 101534 Україна, МПК В23К 9/10 Спосіб автоматичного дугового зварювання неплавким електродом та пристрій для його здійснення / Патон Б.Є., Махлін Н.М., Коротынский О.Е., Богдановський В.О., Буряк В.Ю. — Опубл. 10.04.2013. — Бюл. №7.
15. Пат. № 102714 Україна, МПК В23К 9/10, В23К 9/67 Спосіб оцінки стійкості і стану неплавкого електрода та пристрій для його реалізації при автоматичному дуговому зварюванні неплавким електродом / Лобанов Л.М., Махлін Н.М., Коротынский О.Е., Полосков С.І., Скопюк М.І., Буряк В.Ю. — Опубл. 12.08.2013. — Бюл. №15.
16. Пат. № 2490103 РФ, МПК В23К 9/10 Способ автоматической дуговой сварки неплавящимся электродом и устройство для его реализации / Лобанов Л.М., Махлин Н.М., Коротынский А.Е., Полосков С.И., Скопюк М.И., Буряк В.Ю. — Опубл. 20.08.2013. — Бюл. № 23.
17. *Влияние отклонений параметров режима аргодуговой сварки неповоротных стыков труб на качество сварных соединений / С.И. Полосков, В.А. Букаров, Ю.С. Ищенко // Сварка и смежные технологии. Всероссийская научно-техническая конференция. Сб. докладов. — М.: МЭИ (ТУ), 2000. — С. 22–25.*
18. *Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Сулова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. — М.: Машиностроение, 2001. — № 1, Т. 2. — 944 с.*
19. *Болховитинов Н.Ф.* Металловедение и термическая обработка. — М.: Машгиз, 1961. — 464 с.



20. Волков В.А. Специальное металлорежущее оборудование // Технология машиностроения. — 2000. — № 5. — С. 6—10.
21. Чернавский С.А., Снесарев Г.А., Козинцев Б.С. и др. Проектирование механических передач: Учебно-справочное пособие для вузов / М.: Машиностроение, 1984. — 560 с.
22. Заявка UA 201503704 від 20.04.2015, МПК: В23К 9/235 (2006.01) Портативний пристрій для обробки торців та крайок труб при їх підготуванні до зварювання / Лобанов Л.М., Смоляков В.К., Водолазський В.Є., Махлін Н.М.

#### REFERENCES

1. Kameron I. *Jadernye reaktory*. Per. s angl. Moskva: Jenergoatomizdat, 1987 [in Russian].
2. Shyrokov V.S. *Fizyka jadernyh reaktoriv*. Navch. pos. Kyiv: Vyshha shkola, 1993 [in Ukrainian].
3. PN AJe G -7-008-89. *Pravila ustrojstva i bezopasnoj jekspluatacii oborudovaniya i truboprovodov atomnyh jenergeticheskikh ustanovok*. Gosatomnadzor SSSR. Moskva: Jenergoatomizdat, 1990 [in Russian].
4. PN AJe G-7-009-90 i PN AJe G-7-010-90. *Oborudovanie i truboprovody atomnyh jenergeticheskikh ustanovok. Svarka i naplavka. Osnovnye polozenija*. Gosatomnadzor SSSR. Moskva: Jenergoatomizdat, 1991 [in Russian].
5. Belkin A.S., Shefel' V.V. Avtomaticheskaja argonodugovaja svarkapri montazhe truboprovodov AJeS. *Jenergeticheskoe stroitel'stvo*. 1985. N11: 43—46 [in Russian].
6. Shefel' V.V. Sostojanie i perspektivy razrabotki novogo malogabaritnogo trubosvaroch-nogo oborudovaniya. *Jenergeticheskoe stroitel'stvo*. 1988. N12: 3—4 [in Russian].
7. Roshhin V.V., Havanov V.A., Akulov L.I., Bukarov V.A. Svarka pri montazhe oborudovaniya i metallokonstrukcij reaktornyh ustanovok. *Svarka v atomnoj promyshlennosti i jenergetike*. Trudy NIKIMT. Moskva: IzdatAT, 2002. T.1: 81—118 [in Russian].
8. Grinenko V.I., Roshhin V.V., Havanov V.A., Poloskov S.I. K voprosu ob avtomatizacii svarki montazhnyh stykov truboprovodov atomnyh jelektrostantsij. *Tehnologija mashinostroenija*. 2008. N8: 48—51 [in Russian].
9. Bukarov V.A. Tehnologija dugovoj avtomaticheskoi svarki v zashhitnyh gazah. *Svarka v atomnoj promyshlennosti i jenergetike*. Trudy NIKIMT. Moskva: IzdatAT, 2002. T.1: 149—210 [in Russian].
10. Mahlin N.M., Korotynskij A.E., Bogdanovskij V.A. Odno- i mnogopostovye sistemy dlja avtomaticheskoi svarki nepovorotnyh stykov truboprovodov atomnyh jelektrostantsij. *Avtomat. svarka*. 2011. N11: 34—44 [in Russian].
11. Bogdanovskij V.A., Gavva V.M., Mahlin N.M. i dr. Primenenie avtomaticheskoi orbital'noj svarki pri izgotovlenii pogloshhajushchih vstavok kontejnerov hranenija otrabotannogo jadernogo topliva. *Avtomat. svarka*. 2011. N12: 41—45 [in Russian].
12. Mahlin N.M., Popov V.E., Fedorenko N.S. i dr. Primenenie avtomaticheskoi orbital'noj svarki pri izgotovlenii chehlov kanalov nejtronnyh izmeritel'nyh jadernyh reaktorov. *Avtomat. svarka*. 2013. N6: 29—34 [in Russian].
13. Mahlin N.M., Korotynskij O.Je., Svyrydenko A.O. Aparatno-programni kompleksi dlja av-tomatychnogo zvarjuvannja nepovorotnyh stykiv truboprovodiv atomnyh jelektrostantsij. *Nauka i innovacii*. 2013. 9(6): 31—45 [in Ukrainian].
14. Pat. №101534 *Ukrai'na*, MPK V23K 9/10 Sposib avtomatychnogo dugovogo zvarjuvannja ne-plavkym elektrodom ta prystrij dlja jogo zdijstnennja. Paton B.Je., Mahlin N.M., Korotynskij O.Je., Bogdanovskij V.O., Burjak V.Ju. [in Ukrainian].
15. Pat. №102714 *Ukrai'na*, MPK V23K 9/10, V23K 9/67 Sposib ocinky stijkosti i stanu neplavkogo elektroda ta prystrij dlja jogo realizacii pry avtomatychnomu dugovomu zvarjuvanni neplavkym elektrodom. Lobanov L.M., Mahlin N.M., Korotynskij O.Je., Poloskov S.I., Skopjuk M.I., Burjak V.Ju. [in Ukrainian].
16. Pat. №2490103 *RF*, MPK V23K 9/10 Sposob avtomaticheskoi dugovoi svarki neplavja-shhimsja elektrodom i ustrojstvo dlja ego realizacii. Lobanov L.M., Mahlin N.M., Korotynskij A.E., Poloskov S.I., Skopjuk M.I., Burjak V.Ju. [in Russian].
17. *Vlijanie otklonenij parametrov rezhima argonodugovoi svarki nepovorotnyh stykov trub na kachestvo svarnyh soedinenij*. S.I. Poloskov, V.A. Bukarov, Ju.S. Ishhenko. Svarka i smezhnye tehnologii. Vserossijskaja nauchno-tehnicheskaja konferencija. Sb. dokladov. Moskva: MJeI (TU), 2000: 22—25 [in Russian].
18. *Spravochnik tehnologa-mashinostroitelja*. Pod red. A.M. Dal'skogo, A.G. Suslova, A.G. Kosilovoj, R.K. Meshherjakova. Moskva: Mashinostroenie, 2001 [in Russian].
19. Bolhovitinov N.F. *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka*. Moskva: Mashgiz, 1961 [in Russian].
20. Volkov V.A. Special'noe metallorazhushhee oborudovanie. *Tehnologija mashinostroenija*. 2000. N5: 6—10 [in Russian].
21. Chernavskij S.A., Snesarev G.A., Kozincev B.S. i dr. *Proektirovanie mehanicheskikh peredach*. Uchebno-spravochnoe posobie dlja vtuzov. Moskva: Mashinostroenie, 1984 [in Russian].
22. Заявка UA 201503704 від 20.04.2015, МПК: В23К 9/235 (2006.01) Портативний пристрій для обробки торців та крайок труб при їх підготуванні до зварювання. Лобанов Л.М., Смоляков В.К., Водолазський В.Є., Махлін Н.М. [in Russian].

Л.М. Лобанов<sup>1</sup>, Н.М. Махлин<sup>2</sup>,  
В.К. Смоляков<sup>2</sup>, А.А. Свириденко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Інститут електросварки ім. Е.О. Патона  
НАН України, Київ

<sup>2</sup> ГП «НИЦ СКАЭ ИЭС ім. Е.О. Патона  
НАН України», Київ

<sup>3</sup> ПАО «ЧЕЗАРА», Чернігов

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ  
НЕПОВОРОТНЫХ СТЫКОВ  
ТРУБОПРОВОДОВ К СВАРКЕ

Приведены результаты наработок Института электросварки им. Е.О. Патона и его специализированных подразделений по созданию отечественных образцов оборудования для подготовки к сварке торцов и кромок неповоротных стыков трубопроводов диаметром от 14 до 159 мм при монтаже, ремонте и модернизации объектов энергетики, включая энергоблоки атомных и тепловых электростанций, в химическом и энергетическом машиностроении, на предприятиях нефтегазового комплекса и в других отраслях промышленности.

*Ключевые слова:* неповоротные стыки трубопроводов, автоматическая орбитальная сварка, механическая обработка, пневмоприводы, торцеватели, труборезы, суппорты, резцы.

L.M. Lobanov<sup>1</sup>, N.M. Makhlin<sup>2</sup>,  
V.K. Smolyakov<sup>2</sup>, A.O. Sviridenko<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ye.O. Paton Electric Welding Institute,  
NAS of Ukraine, Kyiv

<sup>2</sup> SI «NIC ZKAE of Ye.O. Paton Electric  
Welding Institute, NAS of Ukraine», Kyiv

<sup>3</sup> PJS «CHEZARA», Chernigiv

EQUIPMENT  
FOR PREPARING PIPELINE POSITION  
BUTTS FOR WELDING

The results of developments of the Ye.O.Paton Electric Welding Institute and its specialized departments on the designing national equipment models for preparation during the assembly the edges and butt ends of pipeline position butts with the diameter from 14 up to 159 mm, repair and modernization of power engineering objects, including the power units of nuclear and heat electric stations, in chemical and machine building, at enterprises of oil-gas complex and other branches of industry are presented.

*Keywords:* position welded pipe joints, automatic orbital welding, mechanical treatment, pneumatic drives, machining tools, pipe cutters, supports, cutters.

Стаття надійшла до редакції 14.05.15