

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДОВГОМІРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПЕРЕХІДНИКІВ СТАЛЬ 20 – СТАЛЬ 08X18N10T МЕТОДОМ ГАРЯЧОЇ ГВИНТОВОЇ ПРОКАТКИ У ВАКУУМІ\*

Б. В. БОРЦ, І. М. НЕКЛЮДОВ, Н. Д. РИБАЛЬЧЕНКО, В. І. СИТІН, І. О. ВОРОБІЙОВ\*\*

ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України.  
61108, м. Харків, вул. Академічна, 1. E-mail: nsc@kipt.kharkov.ua

Запропоновані та випробувані зміни в конструкції стану за допомогою гвинтової прокатки в каліброваних валках. Методом зварювання в твердій фазі на модернізованому вакуумному прокатному стані виготовлені довгомірні біметалічні перехідники з гвинтовою текстурою, що дозволяє отримувати якісне твердофазне з'єднання довжиною більше 200 мм зі сталі з низьким вмістом вуглецю і нержавіючої сталі 08X18N10T. За результатами досліджень розроблена технологія гвинтової прокатки в каліброваних валках. Бібліогр. 12, рис. 8.

*Ключові слова:* вакуумна гвинтова прокатка, довгомірний трубчатий елемент перехідника, біметалічні композиції, модернізація

Діючі атомні енергетичні установки другого і третього поколінь потребують підвищення надійності та продовження ресурсу експлуатації трубопроводів у з'єднаннях різномірних металів, які розрізняються складом і властивостями, таких як низьковуглецеві сталі з аустенітними. До теперішнього часу такі з'єднання виконуються на атомних станціях методом зварювання плавленням, і як відомо, найбільш схильні до корозійного руйнування.

У ННЦ ХФТІ в 2010–2012 роках при виконанні комплексної програми «Ресурс» розроблені нові засоби зварювання композиційних матеріалів у твердій фазі методом гарячої вакуумної прокатки на листовому прокатному стані ДУО-170 виробництва ХФТІ [1, 2].

Розроблена технологія пакетної прокатки композиційних матеріалів сталь 20 – сталь 08X18N10T дозволяє виготовляти кільцеві перехідникові вставки різних діаметрів, які впроваджені на довгострокові випробування в турбінне відділення Запорізької атомної станції (ЗАЕС) та показали працездатність в натурних умовах експлуатації.

На підставі розробленої технології отримання нового композиційного матеріалу складена, узгоджена та затверджена в 2013 р. в ДП НАЕК «Енергоатом» «Программа аттестационных испытаний композиционных сварных соединений сталь 20 – сталь 08X18N10T, изготовленных по технологии сварки в твердой фазе» [3].

В процесі виконання комплексної програми «Ресурс» визначено, що композиційні перехідникові вставки, виготовлені пакетним способом, не в повній мірі задовольняють потреби технічної документації АЕС ПНАЭ Г-7-008-89 зі зварювання різномірних металів.

На підставі цих відхилень від затверджених вимог технологічної документації АЕС обґрунтована можливість модернізації наявного устаткування для вакуумної гвинтової прокатки в каліброваних валках довгомірних перехідникових елементів з композиту сталь 20 – сталь 08X18N10T діаметром 30 мм та довжиною більше 200 мм.

Аналіз дослідних зразків довгомірних перехідників виявив ряд недоліків в прокатаних заготовках на стані ДУО-170, що змусило розробити креслення на конструкцію більш потужного нового стану ДУО-175-2 з допоміжною модернізацією для усунення цих недоліків.

**Деформація металу і контактні напруги при прокатці в калібрах.** Процеси прокатки відносяться до числа високоефективних економічних способів одержання металевих виробів. Подальший розвиток і вдосконалення цих процесів вимагає комплексного вивчення параметрів прокатки і створення оптимальних умов роботи обладнання.

У зв'язку з цим доцільно розглянути розподіл деформації та контактних напружень при прокат-

\* Публікується за матеріалами виконання цільової комплексної програми НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин» («Ресурс») у 2013–2015 рр.

\*\* В роботі приймали участь І. М. Короткова, О. О. Лопата, О. Т. Лопата.

ці в калібрах валків прокатних станів, встановити закономірності зміни контактних дотичних напружень і отримати залежності для визначення контактної площі при прокатці в калібрах. Необхідно провести розрахунок контактної площі при прокатці в простих і складних калібрах, а також вивчити вплив зовнішніх зон на контактний тиск при прокатці в калібрах, коли  $l/h_{cp} < 1,5$  ( $l$  — довжина геометричного осередку деформації;  $h_{cp}$  — середня висота осередку деформації).

В результаті виконаних комплексних досліджень промислових прокатних станів [4–6] встановлені величини тиску металу на валки, крутні моменти, енергетичні параметри, випередження, знос калібрів і точність розмірів прокату. Виявлено резерви прокатних станів та запропоновано рекомендації щодо вдосконалення технології прокатки сортової сталі.

Розроблені заходи збільшують продуктивність прокатного обладнання, підвищують якість і точність розмірів прокату.

**Модернізація стана.** Модернізація стана полягала у визначенні оптимального калібрування бочок валків стану для прокатки круглої заготовки діаметром 30 мм, розробці креслень і виготовленні нових валків з проточками спочатку під 14,8 мм і доведення напівдугою проточок до 15,5 мм, щоб забезпечити в прокатаній і обробленій на токарному верстаті заготовці чистовий діаметр 30 мм. Зміни в розмірах проточок були викликані занадто великим облоєм металу на горизонтальному роз'єднанні калібрів валків. Як з'ясувалося, після перших експериментів по прокатці довгомірного перехідника стан не володіє необхідною жорсткістю (сумарна деформація і прогин валків, гвинтова передача упорного гвинта). Номінальний

зазор між бочками валків, зведених до металевого контакту, повинен становити 0,5...1 % діаметра бочки, тобто в середньому до 1 мм. На стані фактично віддача валків виявилася до 2,3 мм. В результаті чого зовнішній шар нержавіючої сталі пішов в облой і порушилася рівномірність зовнішнього шару композиту.

В результаті аналізу дослідних зразків виявлені відмінності в ступені деформації по поперечному перерізу перехідника. Нерівномірність деформації визначалась за даними мікротвердості складових, замірних на темплетях поперечного перерізу перехідникової прокатаної заготовки композиту сталь 20 – 08X18H10T. Мікротвердість замірялась за методом Віккерса при навантаженні 25 г на приладі LM 700AT фірми «LECO». Нерівномірність деформації складових по перетину заготовки визначалась також шляхом замірів величини зерен складових до направлення прокатки [2, 7].

З метою зменшення виявлених недоліків у процесі вдосконалення технології отримання довгомірних перехідникових елементів передбачено проводити обтиснення із забезпеченням гвинтової прокатки, що створює отримання гвинтової текстури. Для цього розроблені креслення, виконано в металі та змонтовано на стані установку валків з калібрами не традиційно в положенні, перпендикулярному по відношенню до напрямку прокатки, а кожен валок повернуто під кутом  $2^\circ$  до осі розміщення валків в стані ДУО-170 і розгорнуті в протилежні сторони (рис. 1, 2).

Таким чином валки виявилися поверненими один до іншого на  $4^\circ$ , що має змусити заготовку додатково обертатися щодо своєї осі в процесі поступального руху в момент прокатки. Це має призвести до зменшення виходу матеріалу в облой за рахунок збільшення зони його зміщення текстури по гвинтовій лінії (рис. 3, 4).

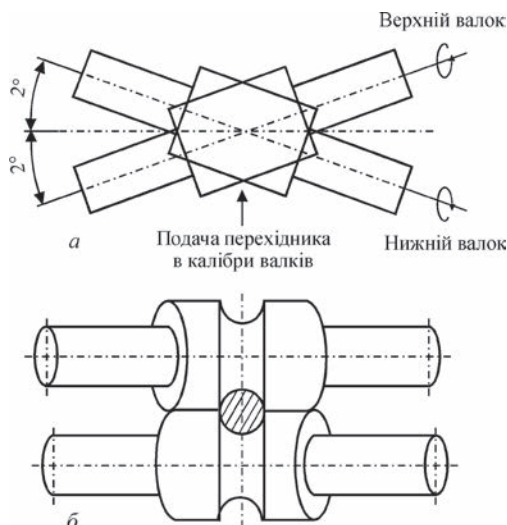


Рис. 1. Схема розміщення валків: а — вид в плані; б — вид з торця

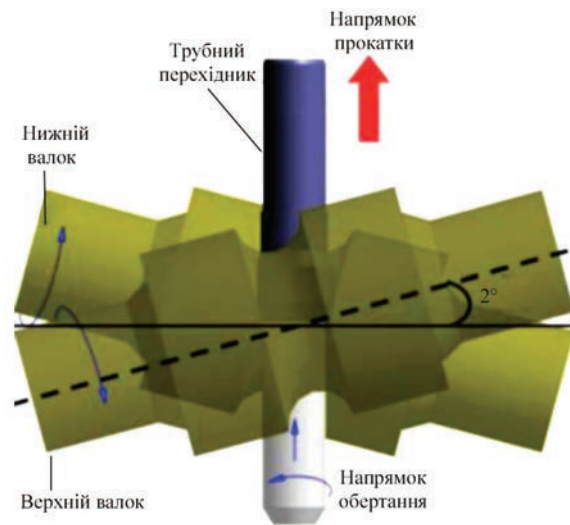


Рис. 2. Зовнішній вигляд розміщення валків та напрямки руху під час прокатки (вид зверху)

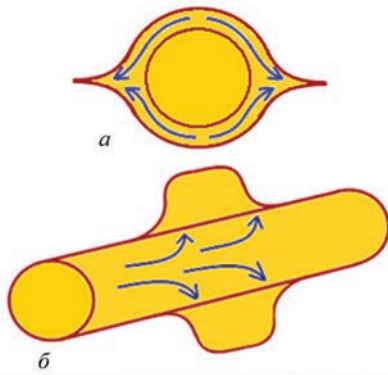


Рис. 3. Напрямок течії металу (*a, б* — схема з торця зразку) з використанням паралельних валків (*в*)

Зміни положення валків призвели до додаткових змін у конструкції вхідної і вихідної провідок (див. рис. 5), які були виготовлені з урахуванням виникаючих зусиль крутного моменту на зразок при русі заготовки, що прокатують, а також до істотної зміни конструкції кріплення подушок валків з підшипниками.

Додатково зроблено конструктивні зміни у заготовці перехідника, а саме: дві проточки спочатку циліндричні, а надалі конічні і конструкція кінця заготовки стрижня зі сталі 20 з метою більш щільного закріплення його в тілі вихідної заготовки. Ці зміни виключають можливість виштовхування стрижня заготовки в перший момент початку прокатки при вході в калібри валків.

На відміну від попередніх експериментів, при яких прокатка здійснювалася на стані без гвинтового руху, на стані з гвинтовою прокаткою валками вхідний конус на заготовці перехідника був змінений з 45 на 25° для кращого захоплення заготовки валками.

**Виготовлення зразків довгомірного перехідника за вдосконаленою технологією та контроль якості.** Для оцінки працездатності стану під час прокатки за новою методикою довгомірних перехідникових елементів в валках з винто-

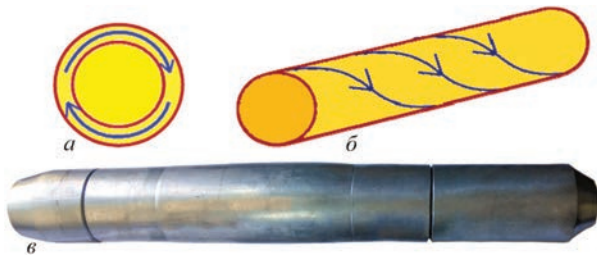


Рис. 4. Напрямок течії металу при гвинтовій прокатці з використанням гвинтової текстури: *a* — вид з торця зразка; *б* — загальний вигляд текстури; *в* — тестовий зразок з алюмінію

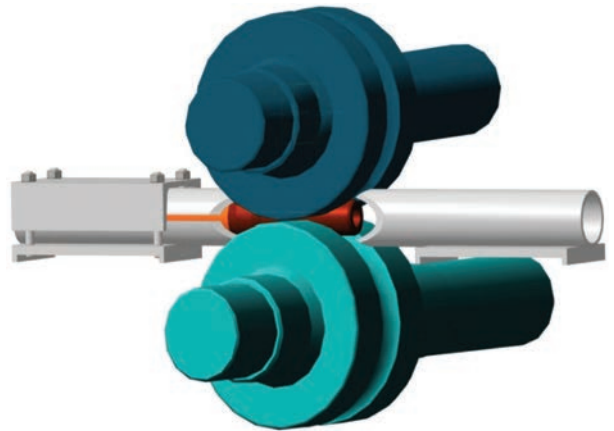


Рис. 5. Зовнішній вигляд розміщення валків з провідками вою прокаткою, проведено тестові випробування на модельному матеріалі — алюмінії. Заготовка виготовлялася за кресленнями композиційного перехідника.

Апробація нової технології прокатки підтвердила можливість отримання осьового обертання заготовки в поєднанні з одночасним поступовим її рухом у процесі прокатки при твердофазному з'єднанні складових перехідника.

Як показали експерименти прокатка довгомірного перехідника за вдосконаленою технологією з гвинтовою прокаткою виявилася вірною.



Рис. 6. Довгомірний трубчатий елемент, виготовлений на стані ДУО-175-2: *a* — до прокатки; *б* — після прокатки та обробки

Отримані експериментальні зразки мали гвинтову текстуру, що забезпечує рівномірне обтиснення матеріалу по всьому периметру заготовки в місцях твердофазного з'єднання двох різнорідних матеріалів (рис. 6).

**Проведення неруйнівного ультразвукового контролю отриманих довгомірних трубних перехідників сталь 20 – 08X18H10T.** Серед безліч методик [8] проведення ультразвукового контролю (УЗК) вибір тієї чи іншої повинен враховувати максимальну можливість виявлення дефектів. Зовнішній вигляд контрольованого зразку представлений на рис. 6, *б*. В роботі використовували ультразвуковий дефектоскоп УД4-76.

Для довгомірних трубчатих перехідників сталь 20 – 08X18H10T обрані дві методики: ехо-метод, з використанням суміщених прямих п'єзоелектричних перетворювачів (ПЕП), з частотою 2,5МГц, і ехо-дзеркальний метод.

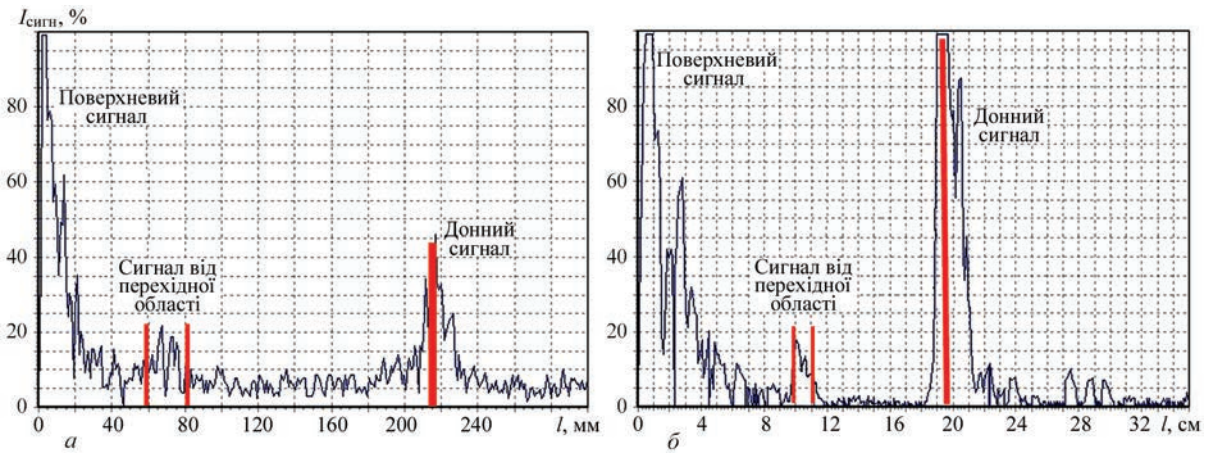


Рис. 7. Осцилограма перехідної області контрольного зразка сталь 20 – 08X18N10T (ехо-метод): а — з боку сталі 08X18N10T; б — з боку сталі 20

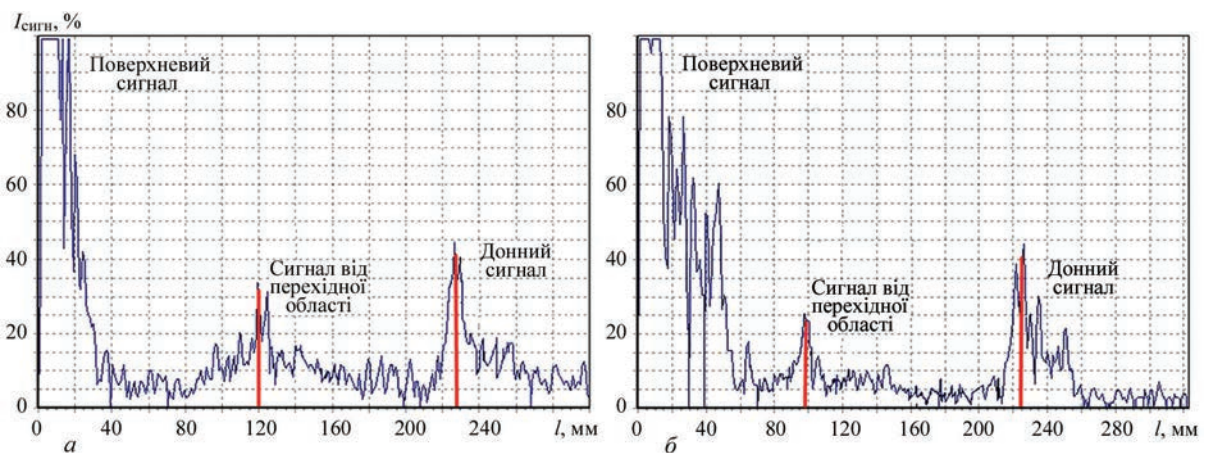


Рис. 8. Осцилограма перехідної області контрольного зразка сталь 20 – 08X18N10T (ехо-дзеркальний метод): а — з боку сталі 08X18N10T; б — з боку сталі 20

Перед проведенням УЗК прилад проходив калібрування на тестовому еталонному дефектному та бездефектному зразках з використанням як прямих, так і похилих ПЕП. У разі наявності дефекту при використанні УЗК ехо-дзеркальним методом, амплітуда сигналу перехідної області буде вище амплітуди перехідної зони бездефектного еталонного тест-зразка. У разі використання ехо-методики УЗК сигнал перехідної області повинен порівнюватися з донним сигналом зразка, що досліджується. Про наявність дефекту свідчитиме амплітуда донного сигналу, яка перевищує амплітуду сигналу перехідної області.

Результати УЗК довгомірних трубчатих перехідників ехо-методом представлені на рис. 7, а ехо-дзеркальним методом на рис. 8. Як видно на осцилограмах дефектів в тілі і на межі складових відсутні дефекти у вигляді тріщин, порожнин і незварних ділянок.

**Розробка технологічної інструкції зі зварювання в твердій фазі довгомірних перехідників з зовнішньою втулкою зі сталі 08X18N10T та внутрішнього стрижня зі сталі 20.** Для відповідності вимогам технологічної документації АЕС ПНАЭ Г-7-008-89 [9] розроблена технічна

документація з виготовлення довгомірних композиційних перехідників, яка містить технологічну інструкцію по порядку роботи зі з'єднання перехідникових елементів різномірних металів в твердій фазі методом гарячої вакуумної прокатки. Відповідно до вимог прописано серію обов'язкових випробувань з контролю якості.

В інструкції надано перелік таких етапів виготовлення:

- процес підготовки вихідних матеріалів: механічна обробка втулки та стрижня зі сталі 20 перед складанням в вихідну заготовку до прокатки та зборка пакетів під прокатку;
- процес з'єднання елементів перехідника на вакуумному прокатному стані ДУО-175;
- вимоги безпеки в процесі з'єднання складових композиційних перехідників;
- заключні операції після отримання перехідникового елементу;
- контроль якості з'єднання складових в готовому виробі.

Оскільки основними умовами отримання композиційних перехідників було забезпечення високої міцності та герметичності при оцінці якості отриманих виробів, орієнтувалися на основний документ

вимог правил контролю (ПК) для обладнання і трубопроводів атомних енергетичних установок, зварні з'єднання і наплавлення ПНАЭ Г-7-010-89 [10].

Дані ПК є керівним матеріалом при проектуванні, конструюванні, виготовленні, монтажі обладнання і трубопроводів та встановлюють порядок, види, обсяги і методи контролю та норми оцінки якості зварних з'єднань і наплавлених деталей (виробів).

Згідно вимог ПК за ПНАЭ Г-7-010-89 для виробів передбачені такі види випробувань:

1. Неруйнівний метод ультразвукового контролю по поверхні в місці з'єднання шарів різновидних металів згідно з ГОСТ 14782-86 [11].

2. Контроль герметичності шляхом гідравлічних випробувань при наповненні рідиною під тиском (водою) внутрішньої частини трубно заготовки і витримці під тиском до 200 бар протягом доби.

3. Механічні випробування на міцність при зсуві шарів складових композиту згідно з ГОСТ 14759-69 [12] для клейових з'єднань листових матеріалів.

4. Металографічні дослідження щільності і протяжності межі з'єднання, а також товщини шарів і ступеня деформації структури в зоні з'єднання складових металів.

Контроль якості: за пунктом 1 проходять 100 % перехідників від партії; за пунктом 2 (гідравлічні випробування на герметичність) один зразок від партії після 100 % УЗК; за пунктами 3, 4 проходять по одному виробу від партії перехідників.

## Висновки

1. Розроблена і модернізована конструкція вузлів прокатного стану, що дозволила отримувати довгомірні трубні перехідники для АЕС за допомогою обертання трубного перехідника при прокатці.

2. Зразки-макети довгомірних трубних перехідників після прокатки показали наявність гвинтової текстури уздовж поверхні зразку, а також відсутність кривизни заготовок при використанні модернізованих валків, встановлених під кутом один до одного.

3. Конструювання, виготовлення і додаткова модернізація нового, більш потужного вакуумного стану ДУО-175-2 взамін значно зношеного стану ДУО-170 дає можливість отримати більш якісні довгомірні перехідникові елементи зі сталі 20 з нержавіючою сталлю типу 08X18H10T, які плануються до впровадження на атомних станціях.

4. Неруйнівний ультразвуковий контроль показав відсутність дефектів в тілі і на межі складових.

5. Розроблені методики контролю якості перехідникових елементів згідно з правилами контролю «Обладнання та трубопроводи атомних енергетич-

них установок, зварні з'єднання і наплавлення, правила контролю» (ПНАЭ Г-7-010-89) та підготовлена технологічна інструкція зі зварювання в твердій фазі довгомірних перехідників з зовнішньою втулкою зі сталі 08X18H10T та внутрішньою зі сталі 20.

## Список літератури

1. Земзин В. Н. (1991) Сварные соединения разнородных сталей. *Сварка и свариваемые материалы*. Т. 1. Москва, Metallurgiya, сс. 422–442.
2. Борц Б. В., Воеводин В. М., Неклюдов И. М. (2012) Підвищення ресурсу експлуатації трубопроводів АЕС за рахунок застосування довгомірних композиційних вставок з різновидних матеріалів. *Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин*. Київ, Інститут електрозварювання ім. С. О. Патона, сс. 154–158.
3. Шавлаков А. В. и др. Программа аттестационных испытаний композитных сварных соединений сталь 20 – сталь 08X18H10T, изготовленных по технологии сварки в твердой фазе. Лист № 15-31/4323. Утв. 25.06.2013.
4. Целиков А. И. (1962) *Теория расчета усилий в прокатных станах*. Справочник. Москва, Metallurgizdat.
5. Тарновский И. Я., Леванов А. Н., Поксеваткин М. И. (1956) *Деформация металлов при прокатке*. Свердловск, Metallurgizdat.
6. Полухин П. И., Воронцов В. К., Кудрин А. Б., Чиченев Н. А. (1974) *Деформации и напряжения при обработке металлов давлением*. Москва, Metallurgiya.
7. Борц Б. В., Воеводин В. Н., Неклюдов И. М. и др. (2013) Применение твердофазных соединений для повышения надежности трубопроводов реакторов 2 и 3 поколения. *Наука та інновації*, 9(2), 10–17.
8. Самойлович Г. Ф. (1976) *Неразрушающий контроль металлов и изделий*: Справочник. Москва, Машиностроение.
9. ПНАЭ Г-7-008-89. (ДНАОП 0.04-1.05-90) *Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок*.
10. ПНАЭ Г-7-010-89. *Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок, сварные соединения и наплавки, правила контроля*.
11. ГОСТ 14782-86. *Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые*.
12. ГОСТ 14759-69. *Клей. Метод определения прочности при сдвиге*.

## References

1. Zemzin, V.N. (1991) Welded joints of dissimilar steels. In: *Welding and welded materials*. Vol. 1. Moscow, Metallurgiya, pp. 422-442 [in Russian].
2. Borts, B.V., Voevodin, V.M., Neklyudov, I.M. (2012) Increase of service life of NPP piping due to application of the elongated composite inserts from dissimilar materials. In: *Problems of life and safety service of structures, constructions and machine*. Kiev, PWI, pp. 154-158 [in Ukrainian].
3. Shavlakov, A.V. et al. Program of qualification test of composite welded joints of steel 20-steel 08Kh18N10N produced by technology of solid phase welding. Sheet 15-31/4323. Approv. 25.06.2013 [in Russian].
4. Tselikov, A.I. (1962) *Theory of calculation of efforts in rolling mills*. In: Refer. book. Moscow, Metallurgizdat [in Russian].
5. Tarnovsky, I.Ya., Levanov, A.N., Poksevatkin, M.I. (1956) *Deformation of metals in rolling*. Sverdlovsk, Metallurgizdat [in Russian].
6. Polukhin, P.I., Vorontsov, V.K., Kudrin, A.B. et al. (1974) *Strains and stresses in metal forming*. Moscow, Metallurgiya [in Russian].
7. Borts, B.V., Voevodin, V.N., Neklyudov, I.M. et al. (2013) Application of solid-phase bonding to increase the reliability of pipelines of generation 2 and 3 reactors. *Nauka innov.*, 9(2), 10-17 [in Russian].

8. Samojlovich, G.F. (1976) *Nondestructive testing of metals and products*. In: Refer. book. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
9. PNAE G-7-008-89 (DNAOP 0.04-1.05-90): *Rules of arrangement and safety service of equipment and piping of nuclear power plants* [in Russian].
10. PNAE G-7-010-89: *Equipment and piping of nuclear power plants, welded joints and deposits, rules of inspection* [in Russian].
11. GOST 14782-86: *Nondestructive testing. Welded joints. Ultrasonic methods* [in Russian].
12. GOST 14759-69. *Glues. Method of determination of shear strength* [in Russian].

Б. В. Борц, И. М. Неклюдов, Н. Д. Рыбальченко,  
В. И. Сытин, И. А. Воробьев

ННЦ «Харьковский физико-технический институт»  
НАН Украины. 61108, г. Харьков, ул. Академическая, 1.  
E-mail: nsc@kipt.kharkov.ua

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЛИННОМЕРНЫХ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЕРЕХОДНИКОВ  
СТАЛЬ 20 – СТАЛЬ 08X18N10T МЕТОДОМ ГОРЯЧЕЙ  
ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ В ВАКУУМЕ

Предложены и опробованы изменения в конструкции стана с помощью винтовой прокатки в калиброванных валках. Методом сварки в твердой фазе на модернизированном вакуумном прокатном стане изготовлены длинномерные биметаллические переходники с винтовой текстурой, позволяющие получать качественное твердофазное соединение, длиной

более 200 мм из стали с низким содержанием углерода и нержавеющей стали 08X18N10T. По результатам исследований разработана технология винтовой прокатки в калиброванных валках. Библиогр. 12, рис. 8.

*Ключевые слова:* вакуумная винтовая прокатка, длинномерный трубчатый элемент переходника, биметаллические композиты, модернизация

B.V. Borts, I.M. Neklyudov, N.D. Rybalchenko,  
V.I. Sytin, I.O. Vorobiov

NSC «Kharkiv Institute of Physics and Technology»  
of the NAS of Ukraine.

1 Academichna Str., 61108, Kharkiv, Ukraine.

E-mail: nsc@kipt.kharkov.ua

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY  
OF PRODUCING EXTENDED COMPOSITE TRANSITION  
PIECES OF STEEL 20 – STEEL 08Kh18N10T MADE BY  
THE METHOD OF HOT SCREW ROLLING IN VACUUM

Changes in mill design using screw rolling in calibrated rolls were proposed and tested. Solid-phase welding in upgraded vacuum rolling mill was used to produce extended bimetal transition pieces with a helical texture that allows making sound solid-phase joints of more than 200 mm length of low-carbon steel and 08Kh18N10T steel. Investigation results were used to develop the technology of screw rolling in calibrated rolls. 12 Ref., 8 Fig.

*Keywords:* vacuum screw rolling, extended tubular element of the transition piece, bimetal composites, upgrading

Надійшла до редакції 02.10.2017

## Украина и Китай усиливают сотрудничество в проектах возобновляемой энергетики

Вопросы сотрудничества в проектах возобновляемой энергетики обсуждались на пленарном заседании украинско-китайской подкомиссии по торгово-экономическому сотрудничеству в Министерстве коммерции КНР 17 ноября в Пекине.

Украинскую делегацию представила заместитель министра экономического развития и торговли Украины Наталья Никольская совместно с представителями Минагрополитики, МИД, Минэкономразвития, Мининфраструктуры, Госэнергоэффективности, Государственного инновационного финансово-кредитного учреждения, посольства Украины в Китае.

В ходе переговоров председатель Госэнергоэффективности Сергей Савчук охарактеризовал перспективные пути двустороннего сотрудничества в «чистой» энергетике:

- ▶ реализация совместных инвестиционных проектов,
- ▶ строительство заводов по производству оборудования и материалов для объектов возобновляемой энергетики,
- ▶ создание механизмов финансирования проектов «чистой» энергетики.

Китай — мировой лидер в наращивании мощностей возобновляемой энергетики. Это, в свою очередь, сказывается на глобальных тенденциях развития «чистой» энергетики. Так, по данным Международного энергетического агентства, с 2010 г. стоимость производства солнечной и ветровой энергии снизилась, соответственно, на 70 и 25 %. Это ускорило строительство солнечных и ветровых станций в других странах, в том числе в Украине.

