

ПІДВИЩЕННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ КОМБІНОВАНОГО РОТОРА

В.В. Дмитрик¹, Чень Сінлей¹, І.В. Касьяненко¹, О.С. Гаращенко¹, О.Л. Платухін²

¹Національний технічний університет «Харківський Політехнічний Інститут». 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.
E-mail: dmitrikvitali@gmail.com

²АТ «Українські енергетичні машини». 61037, м. Харків, просп. Героїв Харкова, 199.

Наводяться особливості структури зварного з'єднання комбінованого ротора середнього тиску зі сталей 20Х3МВФА і 25Х2НМФА. Процес виготовлення ротора передбачав автоматичне зварювання на параметрах режиму, які оптимізували з використанням моделювання зварювального нагрівання. Реалізація запропонованого процесу автоматичного зварювання забезпечила отримання зварного з'єднання ротора з покращеними показниками його вихідної структури та підвищеними механічними властивостями. Виконано аналіз мікроструктури металу шва та ділянок зони термічного впливу комбінованого зварного з'єднання, а також визначено його механічні властивості. Встановлено, що наведені показники є вищими за аналогічні показники, отримані з використанням штатної технології, яка не передбачала моделювання зварювального нагрівання. Бібліогр. 11, табл. 7, рис. 8.

Ключові слова: комбіноване зварне з'єднання, ротор, турбіна, тріщина, структура, зона термічного впливу, параметри режиму, механічні властивості, зварювальні матеріали, термічна обробка, хімічний склад

Вступ. Проблема підвищення надійності експлуатації та збільшення ресурсу напрацювання енергоблоків теплових електростанцій з турбінами К-325-23,5 високого, середнього та низького тиску зі зварними комбінованими роторами набуває особливої актуальності. Наведені комбіновані ротори виготовляють зі сталей 20Х3МВФА (ЄІ 415) і 25Х2НМФА (табл. 1, 2).

Основний внесок у розробку та вдосконалення зварювальної технології виготовлення комбінованих роторів внесли фахівці АТ «Українські енергетичні машини» (колишній АТ «Турбоатом»), ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, ІПМаш ім. А.М. Підгорного НАН України та НТУ «ХП».

Ротор є особливо відповідальним вузлом парової турбіни, що містить: вал, облопачені диски, втулки, масляні та кінцеві ущільнювачі, а також інші деталі. На валу розташовані опорні шийки під вкладиші підшипників і посадочні поверхні для насадки дисків, напівмуфт, втулок та ущільнювачів.

Умови експлуатації комбінованого ротора відрізняються високою швидкістю його обертання,

значними навантаженнями, які надають відцентрові сили, робочим температурним режимом і корозійно-ерозійним впливом.

До дефектів, які виявляються в роторах при планових зупинках турбін високого та середнього тиску, відносять тріщини в осьових каналах роторів, що знаходяться у високотемпературних зонах. Утворення тріщин у металі комбінованих зварних з'єднань, а також в ободах дисків і в переддисківних гантелях значною мірою обумовлено відповідним структурно-фазовим станом [1–3]. Отже, необхідно підвищити якісні показники структури роторів для збільшення надійності їхньої роботи.

Метою роботи є отримання зварного з'єднання комбінованого ротора з підвищеними якісними характеристиками його вихідної структури.

Методи та методики. Для дослідження структурно-фазового стану, визначення хімічного складу та властивостей, з урахування результатів моделювання, зі сталей 20Х3МВФА і 25Х2НМФА виготовляли зразок-свідок комбінованого ротора. Хімічний склад, термічна обробка, структура,

Таблиця 1. Хімічний склад сталі 20Х3МВФА

Масова частка елементів, % за ТУ 108-995-81										
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	V	W	Cu
0,15...0,23	0,17...0,37	0,25...0,5	<0,02	<0,02	2,8...2,3	<0,3	0,35...0,55	0,6...0,85	0,3...0,5	<0,2

Таблиця 2. Хімічний склад сталі 25Х2НМФА, мас. %

Масова частка елементів, % за ТУ 108-995-81										
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	V	W	Cu
0,23...0,27	0,17...0,35	0,40...0,70	≤0,015	≤0,015	1,80...2,20	1,30...1,60	0,40...0,60	0,05		0,25

Примітка. Вміст сірки та фосфору в наведених сталях не перевищував 0,02 %.

В.В. Дмитрик – <https://orcid.org/0000-0002-1085-3811>, Чень Сінлей – <https://orcid.org/0000-0003-2755-7725>,
І.В. Касьяненко – <https://orcid.org/0000-0003-1375-3522>, О.С. Гаращенко – <https://orcid.org/0000-0002-9572-6095>,
© В.В. Дмитрик, Чень Сінлей, І.В. Касьяненко, О.С. Гаращенко, О.Л. Платухін, 2025

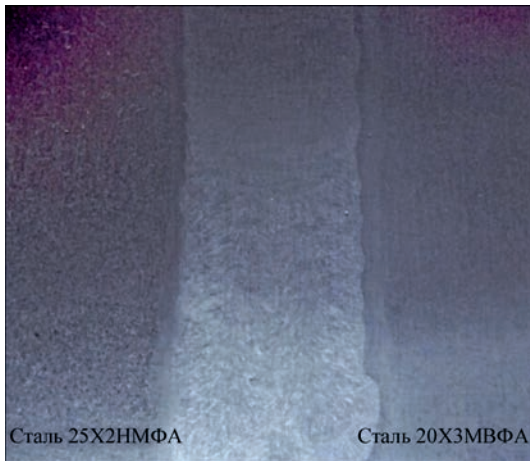


Рис. 1. Макроструктура зварного з'єднання дослідного зразка комбінованого ротора ($\times 1,2$)

форма й розміри зразка-свідка відповідали аналогічним показникам реального зварного з'єднання ротора та відповідним нормативним положенням [1, 2]. Виготовлення зразка-свідка проводили на оптимізованих параметрах режиму зварювання, які отримали шляхом моделювання його температурного режиму [3–6]. Показники температур співставляли з термодинамічними діаграмами сталей 20X3MBFA і 25X2HMFA [7]. Таким чином оптимізували параметри температурного режиму автоматичного зварювання (силу струму, напругу дуги, швидкість зварювання, температуру підігріву та швидкість охолодження). При моделюванні також враховували технологічні особливості зварювання, встановлені раніше [8–11].

З отриманого зварного з'єднання (рис. 1) відповідно до схеми (рис. 2), а також до схем [9] виріза-

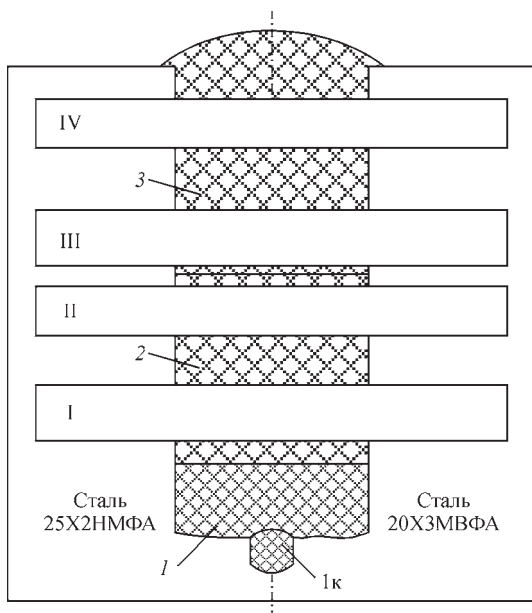


Рис. 2. Схема вирізки з комбінованого зварного з'єднання зразків I–IV для вивчення структури I–3 зони зварного з'єднання: I – коренева; 2 – середня; 3 – верхня; Iк – нижня ділянка кореневої зони I

ли зразки для дослідження структури й визначення хімічного складу та механічних властивостей.

Дослідження структурно-фазового стану металу зварних з'єднань проводили з використанням оптичного металографічного мікроскопа Meiji Techno (Японія), а також скануючого електронного мікроскопа JSM-820 з системою рентгенівського мікроаналізатора Link AN 10185S. Визначали короточасні механічні властивості: умовну границю текучості – $\sigma_{0,2}$, границю міцності – σ_B , відносне видовження – δ , відносне звуження – Ψ . Також визначали твердість за Віккерсом і мікротвердість (прилад ПМТ-3), а також ударну в'язкість КС. Загалом дослідження структурно-фазового стану, визначення властивостей і хімічного складу виконували згідно з чинними нормативними положеннями [1, 2].

Результати досліджень і їхнє обговорення.

Вихідна структура сталі 20X3MBFA, хімічний склад – табл. 1, складалася з нижнього бейніту відпуску (рис. 3, а) і невеликої кількості ферито-карбідної суміші. До складу вихідної структури сталі 25X2HMFA (рис. 3, б), входили переважно верхній бейніт відпуску, відносно невелика кількість ферито-карбідної суміші як продукту відпущеного мартенситу.

У зварному з'єднанні зі сталей 20X3MBFA і 25X2HMFA можуть утворюватися структури, які можна віднести до бракувальних [10, 11]. Наприклад, великі аустенітні зерна (бал 3–4, ДСТУ8972:2019) на ділянках сплавлення, перегріву та нормалізації зони термічного впливу (ЗТВ) зварних з'єднань. Також до бракувальних структур можна віднести нові продукти розпаду аустеніту на ділянці неповної перекристалізації ЗТВ,

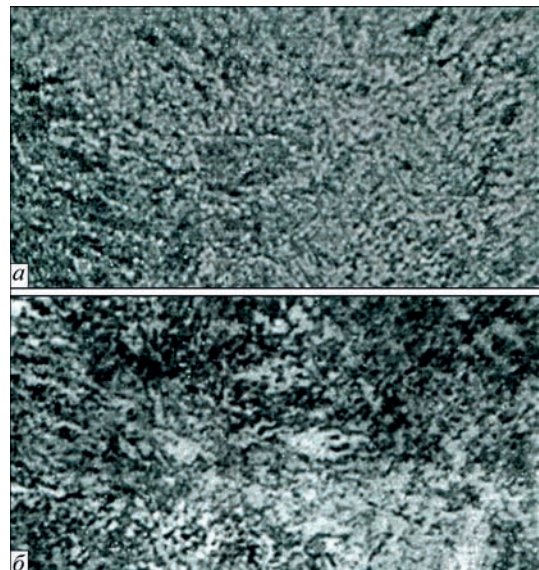


Рис. 3. Вихідна структура основного металу комбінованого зварного з'єднання сталей: а – 20X3MBFA; б – 25X2HMFA

які у вихідній структурі зварних з'єднань представляють глобуляризований перліт.

Отримані шляхом моделювання дані, що визначають температурний режим металу шва, який кристалізується, а також температурний режим нагріву ділянок ЗТВ зіставляли з відповідними термодинамічними діаграмами сталей 20Х3МВФА і 25Х2НМФА [7]. Таке зіставлення допомогло оптимізувати параметри режиму зварювання комбінованого зварного з'єднання, що виготовляється, а також дозволило визначити напрям подальшого уточнення математичної моделі зварювального нагрівання таких з'єднань.

Процес зварювання передбачав розбивку дослідного зварного з'єднання (рис. 1) на зони (рис. 2). Зварювання нижньої ділянки Ік кореневої зони І (1-й шар) виконували в середовищі аргону вольфрамовим електродом без присадного дроту. Параметри режиму становили: зварювальний струм $I_{зв} = 140$ А; напруга дуги $U_d = 15...20$ В; температура підігріву $T_{під} = 230$ °С; швидкість зварювання 20 м/год; довжина дуги $l_g = 2,5$ мм. Потім при виконанні 2-го і 3-го шарів застосували присадний дріт марки СВ-08Г2С діаметром 1,6 мм. Виконання 4-го шару проводили під флюсом АН-17М з використанням електродного дроту СВ-08Г2С діаметром 2 мм. Параметри режиму зварювання становили $I_{зв} = 190$ А; напруга дуги $U_d = 20$ В; температура підігріву $T_{під} = 200$ °С. Виконання наступного 5-го шару проводили на близьких до 4-го шару параметрах режиму: $I_{зв} = 200$ А; напруга дуги $U_d = 23$ В. Потім після зварювання нижньої ділянки кореневої зони Ік проводили подальше зварювання 1-ї зони з'єднання (рис. 1, 2) з використанням електродного дроту S3NiMoCr діаметром 2 мм під флюсом UV420TT (Bohler). Параметри режиму становили: $I_{зв} = 340$ А, $U_d = 39$ В, $T_{під} = 340$ °С, $V_{зв} = 20$ м/год. Потім проводили зварювання 2-ї зони. Параметри режиму становили: $I_{зв} = 390$ А, $U_d = 39$ В, $T_{під} = 340$ °С, $V_{зв} = 20$ м/год. Зварювальні матеріали використовували ті ж, що і для зварювання 1-ї зони. Далі з використанням зварювальних матеріалів проводили зварювання 3-ї зони. Застосували параметри режиму $I_{зв} = 390$ А, $U_d = 37$ В, $T_{під} = 300$ °С, $V_{зв} = 20$ м/год. Відразу після закінчення зварювання зварне з'єднання піддавали високому відпуску ($T_{від} = 630...650$ °С) тривалістю 100 год. З отриманого зварного з'єднання вирізали зразки (темплети) (рис. 2) для вивчення структурного стану, хімічного складу, а також механічних властивостей.

У зразку-свідку виявили ширину ділянок ЗТВ (табл. 3, 4). Таке виявлення дозволило внести від-

Таблиця 3. Ширина ділянок ЗТВ комбінованого зварного з'єднання (рис. 1, 2), сталь 25Х2НМФА

Номер зразка	Ділянка сплавлення, мм	Ділянка нормалізації, мм	Ділянка неповної перекристалізації, мм
I	0,10	2,1	2,4
II	0,14	2,7	3,0
III	0,13	2,9	2,7
IV	0,12	2,8	2,4

Таблиця 4. Ширина ділянок ЗТВ комбінованого зварного з'єднання (рис. 1, 2), сталь 20Х3МВФА

Номер зразка	Ділянка сплавлення, мм	Ділянка нормалізації, мм	Ділянка неповної перекристалізації, мм
I	0,10	2,3	2,4
II	0,11	2,8	2,5
III	0,12	3,0	2,6
IV	0,11	2,9	2,4

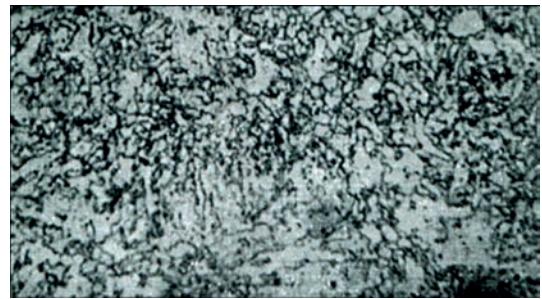


Рис. 4. Структура металу шва ділянки Ік кореневої зони І (рис. 2) (× 400)

повідні уточнення в математичну модель, що було доцільним для подальшого її корегування стосовно вирішення наступних теплових задач.

Структура металу шва кореневої зони І (рис. 2) складалася з бейніту відпуску, який мав зернисту форму, та фериту (рис. 4).

Структура металу шва зразка II 2-ї зони також складалася з бейніту відпуску та фериту (рис. 5).

Будова зразка I зони 2 складалася з бейніту відпуску та фериту. На зернах фериту спостерігали виділення других фаз. Структура зразка II 2-ї зони складалася з бейнітно-грозитної і феритної складових (рис. 5). Структура зразка III 3-ї зони характеризувалася наявністю сорбіту і структурно-вільного фериту, зерна якого мали збільшені розміри і видовжену форму (рис. 5).

Враховували, що формування структури металу шва забезпечується відповідним температурним режимом, який враховує його перебування в області температур вище за A_3 і швидкість охолодження. Структура зразка III близька за будовою до структури зразка II. Структура зразка IV також складалася з бейніту та фериту.

Встановили (штатний режим зварювання), що тривала витримка ділянки сплавлення в області температур $T_L - T_S$ і подальше повільне охолоджен-

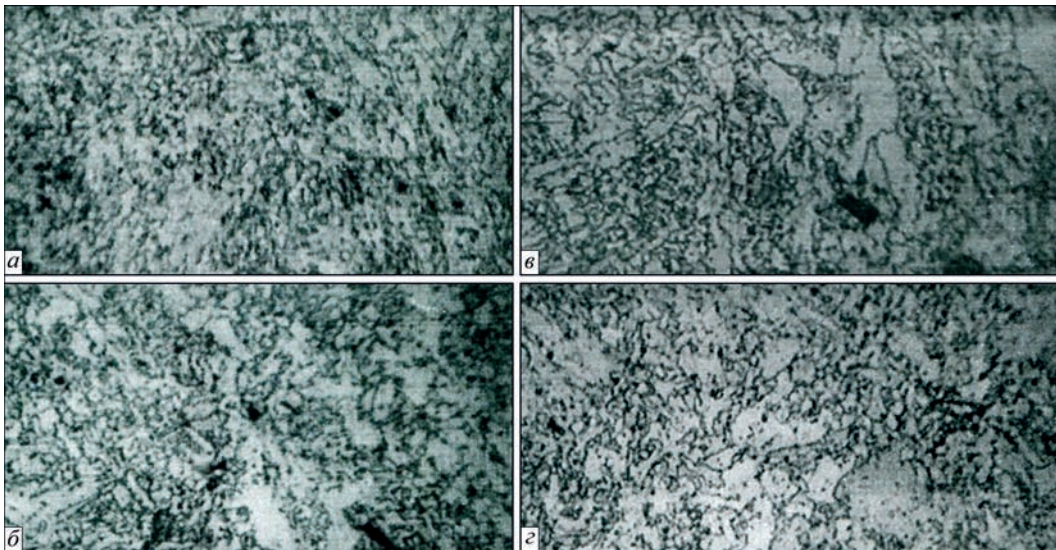


Рис. 5. Структура металу шва комбінованого зварного з'єднання (рис. 2): а – зразок I зони 2; б – зразок II зони 2; в – зразок III зони 3; г – зразок IV зони 3 (×400)

ня (0,5...1,5 °C/c) забезпечило формування на ділянці сплавлення ЗТВ (сталь 20X3МВФА) відносно великих феритних зерен (рис. 6). Такі зерна можуть локально групуватися в ланцюжки з елементами суцільності симетрично металу шва [11]. На ділянці сплавлення ЗТВ (сталь 25X2НМФА) отримали плавний перехід між структурами металу шва та основного металу.

У структурі, що сформувалася під впливом зварювального нагріву, який оптимізували шляхом моделювання [3–6] (рис. 6, а), на ділянці сплавлення відсутні крупні феритні зерна та ланцюжки із таких зерен. Структура ділянки сплавлення є дрібнозернистою, з виділенням карбідів M_3C , M_7C_3 , $M_{23}C_6$, а також Mo_2C . На ділянці сплавлення (рис. 6, б) (сталь 20X3МВФА) також спостерігається плавний перехід між структурами металу

шва та основного металу. Встановили, що оптимізація температурного режиму зварювання забезпечила: 1. Зменшення часу перебування металу ділянки сплавлення в аустенітному стані; 2. Дозволила збільшити швидкість охолодження до 3...7 °C/c, що призвело до формування відносно менших за величиною феритних зерен. 3. Надалося можливим запобігти формуванню локально сконцентрованих феритних зерен, а також утворенню ланцюжків із феритних зерен. 4. Виявили, що структура ділянок сплавлення зразків I, III, IV (рис. 2) має незначні відмінності від структури ділянки сплавлення зразка II (рис. 6).

Оптимізований зварювальний нагрів дозволив зменшити час перебування металу ділянок сплавлення, перегріву та нормалізації ЗТВ в області інтенсивного зростання аустенітних зерен ($T_s - 950$ °C). Величина аустенітних зерен на даних ділянках відповідала 6–8 балам (ДСТУ 8972:2019). Таким чином, процес зварювання на оптимізованих параметрах режиму вперше дозволив зменшити бал аустенітного зерна на ділянках сплавлення, перегріву та нормалізації ЗТВ у порівнянні з балом зерна, який отримували при зварюванні на штатних режимах.

При зварюванні ротора на оптимізованих режимах дотримувалися вимоги не допускати утворення дефектів типу несплавлення по стінках зазору та несплавлення між валиками, а також присутності шлакових включень.

Ділянки неповної перекристалізації ЗТВ сталей 20X3МВФА і 25X2НМФА (штатна технологія) відрізняються наявністю нових продуктів розпаду аустеніту у вигляді глобуляризованого перліту, згрупованого в переривчасті ланцюжки з елементами суцільності. Встановили, що розташування

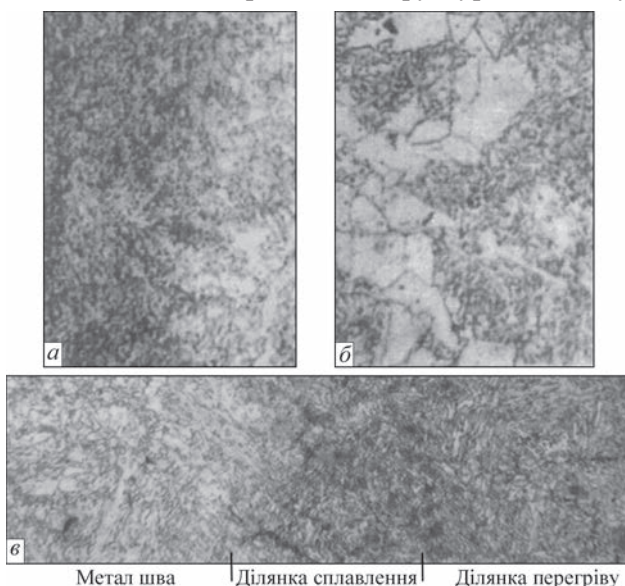


Рис. 6. Структура ділянки сплавлення ЗТВ (зразок II, рис. 2): а – сталь 25X2НМФА; б – сталь 20X3МВФА (штатний режим); в – сталь 20X3МВФА (оптимізований режим) (×400)

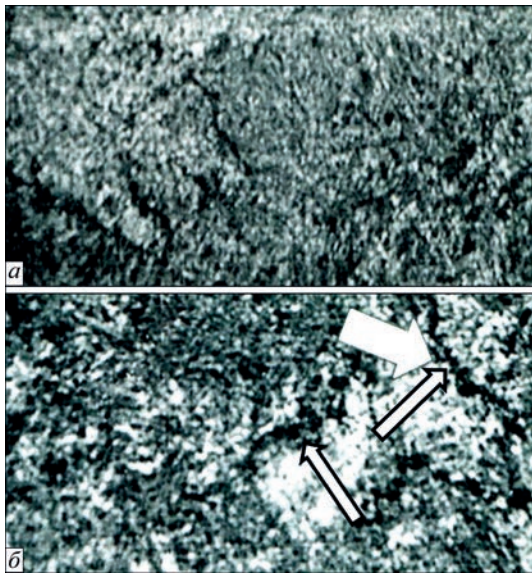


Рис. 7. Структура ділянки неповної перекристалізації ЗТВ (зразок III, рис. 2): а – сталь 25X2НМФА; б – сталь 20X3МВФА. Глобуляризовані сорбітні зерна, згруповані у ланцюжки позначені стрілками (×400)

перлітних складових узгоджується з границями аустенітних зерен. Моделювання зварювального нагріву дозволило істотно зменшити в структурі ділянки неповної перекристалізації загальну кількість перекристалізованих структур (рис. 7), зокрема, попередити утворення перліту, а також ланцюжків із перлітних зерен. Отримали на даній ділянці нові продукти розпаду аустеніту у вигляді сорбітної і трооститної складових. У структурі зразків I–IV (сталь 25X2НМФА) отримали нові продукти розпаду аустеніту у вигляді сорбіту (близько 90 %), троостит – залишкове. У зразках зі сталі 20X3МВФА кількість трооститу також складала приблизно 7...10 %, сорбіт – залишкове.

Заміри мікротвердості (рис. 8) зразків I–IV (рис. 2) підтвердили наявність виявлених у комбінованому зварному з’єднанні наведених структур.

Встановили, що короточасні механічні властивості зразка-свідка (рис. 1, 2) повною мірою відповідають нормативним вимогам, а також є вищими

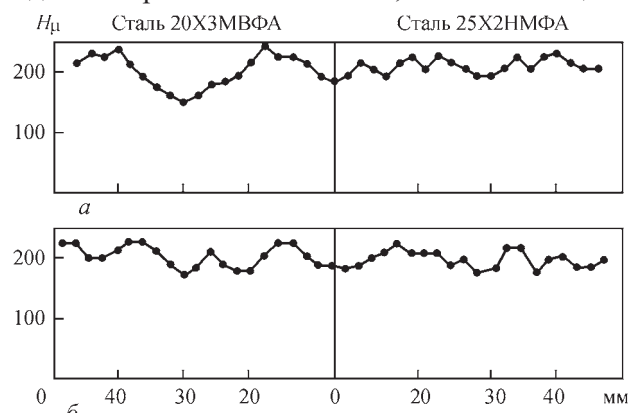


Рис. 8. Розподіл мікротвердості в комбінованому зварному з’єднанні (рис. 2): а – зразок II; б – зразок IV

Таблиця 5. Механічні властивості зразка I (рис. 2)

σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Ψ , %	KCV, Дж/см ²	HV
615	505	26	67	112	185

Таблиця 6. Механічні властивості зразка II (рис. 2)

σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Ψ , %	KCV, Дж/см ²	HV
620	515	23	65	111	191

Таблиця 7. Механічні властивості зразка III (рис. 2)

σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Ψ , %	KCV, Дж/см ²	HV
625	512	24	64	110	190

(табл. 5–7). Руїнування зразків, що випробувалися на розтяг, переважно відбувалося по їхній зоні термічного впливу.

У цілому запропонована технологія виготовлення зварного ротора з використанням оптимізованих параметрів режиму забезпечила підвищення надійності його експлуатації і збільшення на 15...20 % терміну напрацювання ротора [3].

Для подальшого збільшення надійності та експлуатаційних характеристик досліджуваного зварного з’єднання комбінованого ротора доцільно провести додаткові випробування на втому, що необхідно для підвищення його фізико-механічних властивостей. Також необхідним є подальше вдосконалення математичної моделі температурного режиму зварювання ротора, що виготовляється.

Висновки

1. Встановлено, що моделювання температурного режиму процесу зварювання стосовно зразка-свідка комбінованого ротора дозволило отримати зварне з’єднання із різнорідних сталей 20X3МВФА і 25X2НМФА з підвищеними якісними характеристиками його вихідної структури.

2. Виявлено, що у вихідній структурі зварного з’єднання дослідного зразка комбінованого ротора розміри аустенітних зерен на ділянках сплавлення, перегріву та нормалізації ЗТВ є меншими, ніж в аналогічній структурі зразка, виготовленого за штатною технологією.

3. Встановлено, що процес зварювання на оптимізованих параметрах режиму дозволяє усунути формування на ділянці сплавлення ЗТВ (сталь 20X3МВФА) крупних феритних зерен, а також ланцюжків із феритних зерен.

4. Встановлено, що нові продукти розпаду аустеніту на ділянці неповної перекристалізації ЗТВ комбінованого зварного з’єднання (сталь 20X3МВФА), являють собою сорбіт і невелику кількість трооститу ($\leq 10\%$), а в сталі 25X2НМФА нові продукти розпаду аустеніту являють собою троостит і сорбіт ($\leq 8\%$). Виявлено, що моделювання температурного режиму дозволило попере-

дити формування перліту в структурі даної ділянки, який утворюється при проведенні штатного процесу зварювання.

Список літератури

1. СОУ-Н МПЕ 40.1.17.401:2004. *Контроль металу і продовження терміну експлуатації основних елементів котлів, турбін і трубопроводів теплових електростанцій. Типова інструкція.*
2. ГКД 34.17.401-95. *Контроль та продовження строку служби металу устаткування теплових електростанцій. Типова інструкція. Ч. 1. Котли, турбіни та трубопроводи з тиском 9МПа і вище.*
3. Морачковський О.К., Дмитрик В.В., Усатий О.П., Зайцев Б.П., Скульський В.Ю., Гришин М.М., Пашенко Ю.Г., Кантор О.Г., Коноваленко О.В. (2019) *Створення роторів турбін великої потужності.* Харків, ФОП Панов А.М.
4. Balitskee, A.I., Dmitrik, V.V., Ivaskevich, L.M. et al. (2022) Improvement of the mechanical characteristics, hydrogen crack resistance and durability of turbine rotor steels welded joints. *Energies*, 15(16), 6006. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15166006>
5. Dmitrik, V.V., Skulsky, V.Y., Kasyanenko, I.V., Vavilov, O.V., Kantor, O.G. (2022) Improving the quality condition of the structure of welded joints made of rotor steel. *Problems of atomic science and technology*, 1(137), 212–216. DOI: <https://doi.org/10.46813/2022-137-212>
6. Dmitrik, V.V., Chen Xinlei, Kasianenko, I.V., Ustyuzhyn, I.B. (2025) Improving the output quality of steam turbine welded rotors for nuclear power plants. *Problems of atomic science and technology*, 2(156), 91–96. DOI: <https://doi.org/10.46813/2025-156-091>
7. Попова Л.Е., Попов А.А. (1991) *Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана: Справочник термиста.* Москва, Металлургия.
8. Царюк А.К., Иваненко В.Д., Бреднев В.И. (1997) *Технология сварки под флюсом соединений стали 20Х3МВФА со сталью 25Х2НМФА применительно к изготовлению ротора паровых турбин.* *Автоматическая сварка*, 8, 28–31.
9. Царюк А.К., Муравецкий С.И., Скульский В.Ю., Гришин Н.Н., Вавилов А.В., Кантор А.Г., Гринченко Е.Д. (2012) *Создание сварного комбинированного ротора среднего давления паровой турбины мощностью 325 МВт.* *Автоматическая сварка*, 8, 39–44.
10. Дмитрик В.В., Соболев О.В., Погребной Н.А., Гордиенко В.П. (2015) *Структура и свойства комбинированного сварного соединения ротора паровой турбины.* *Энергетика та електрифікація*, 6, 12–18.
11. Дмитрик В.В., Конкин В.Н., Гордиенко В.П. (2017) *К улучшению исходной структуры сварного соединения из разнородных сталей.* *Энергетика та електрифікація*, 3, 2–7.

References

1. SOU-N MPE 40.1.17.401:2004. *Control of metal and extension of service life of main elements of boilers, turbines and piping of thermal power plants. Typical instruction* [in Ukrainian].
2. GKD 34.17.401-95. *Control and extension of metal service life of thermal power plants equipment. Typical instruction. Pt. 1. Boilers, turbines and piping under pressure of 9MPa and higher* [in Ukrainian].
3. Morachkovskyi, O.K., Dmitrik, V.V., Usatyi, O.P. et al. (2019) *Development of high power turbine rotors.* Kharkiv, IE Panov, A.M. [in Ukrainian].
4. Balitskee, A.I., Dmitrik, V.V., Ivaskevich, L.M. et al. (2022) Improvement of the mechanical characteristics, hydrogen crack resistance and durability of turbine rotor steels welded joints. *Energija*, 15(16), 6006. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15166006>
5. Dmitrik, V.V., Skulsky, V.Y., Kasyanenko, I.V., Vavilov, O.V., Kantor, O.G. (2022) Improving the quality condition of the structure of welded joints made of rotor steel. *Problems of Atomic Science and Technology*, 1(137), 212–216. DOI: <https://doi.org/10.46813/2022-137-212>
6. Dmitrik, V.V., Chen Xinlei, Kasianenko, I.V., Ustyuzhyn, I.B. (2025) Improving the output quality of steam turbine welded rotors for nuclear power plants. *Problems of Atomic Science and Technology*, 2(156), 91–96. DOI: <https://doi.org/10.46813/2025-156-091>
7. Popova, L.E., Popov, A.A. (1991) *Diagrams of austenite transformation in steels and β -solution in titanium alloy: Refer. Book of heat-treater.* Moscow, Metallurgiya [in Russian].
8. Tsaryuk, A.K., Ivanenko, V.D., Brednev, V.I. (1997) *Submerged arc welding technology of joints of 20Kh3MVFA steel with 25Kh2NMFA steel for manufacturing of steam turbines rotor.* *Avtomaticheskaya Svarka*, 8, 28–31 [in Russian].
9. Tsaryuk, A.K., Muravetsky, S.I., Skulsky, V.Yu. et al. (2012) *Development of forge-welded combined medium-pressure rotor for 325 MW steam turbine.* *Avtomaticheskaya Svarka*, 8, 39–44 [in Russian].
10. Dmytryk, V.V., Sobol, O.V., Pogrebnoy, N.A. Gordienko, V.P. (2015) *Structure and properties of combined welded joint of steam turbine rotor.* *Energetyka ta Elektrifikatsiya*, 6, 12–18 [in Russian].
11. Dmytryk, V.V., Konkin, V.N., Gordienko, V.P. (2017) *On improvement of initial structure of welded joints from dissimilar steels.* *Energetyka ta Elektrifikatsiya*, 3, 2–7 [in Russian].

IMPROVEMENT OF QUALITY CHARACTERISTICS OF A WELDED JOINT OF A COMBINED ROTOR

V.V Dmitrik¹, Chen Xinlei¹, I.V Kasianenko¹, O.S. Harashchenko¹, O.L. Platuhi²

¹National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute». 2 Kyrpychova Str., 61002, Kharkiv, Ukraine.

E-mail: dmitrikvitali@gmail.com

²JSC «Ukrainian Energy Machines». 199 Heroiv Kharkova Ave., 61037, Kharkiv, Ukraine.

The features of the structure of a welded joint of a combined medium-pressure rotor made of 20Kh3MVFA and 25Kh2NMFA steels are presented. The rotor manufacturing process involved automatic welding using mode parameters that were optimized by welding heat simulation. The implementation of the proposed automatic welding process ensured producing of a rotor welded joint with improved indices of its initial structure and increased mechanical properties. An analysis of the microstructure of the weld metal and the heat-affected zone of the combined welded joint was performed, and its mechanical properties were determined. It was found that these indices are higher than similar characteristics obtained using standard technology, which did not involve welding heat simulation. 11 Ref., 7 Tabl., 8 Fig.

Keywords: combined welded joint, rotor, turbine, crack, structure, heat-affected zone, parameters of the mode, mechanical properties, welding materials, heat treatment, chemical composition

Отримано 15.12.2024

Отримано у переглянутому вигляді 13.11.2025

Прийнято 14.01.2026