

## ДОСВІД РЕМОНТУ ДЕТАЛЕЙ ОБЛАДНАННЯ ЕНЕРГОБЛОКА ТЕС

А.В. Грузевич<sup>1</sup>, Д.Л. Нікіфоров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Трипільська ТЕС. 08720, м. Українка. E-mail: Gruzevich@bigmir.net

<sup>2</sup>ПАТ «Центрэнерго». 03022, м. Київ, вул. Козацька 120/4. E-mail: d.l.nikiforov.jsc.ce@gmail.com

Представлена технологія ремонтного зварювання та відновлення працездатності валу регулятора граничного числа обертів автомату безпеки турбоживильного насосу енергоблоку № 1 Трипільської ТЕС. Проаналізовано умови роботи валу регулятора автомату безпеки та причини його пошкодження. Проведена оптимізація параметрів режиму зварювання та термічної обробки валу регулятора зі сталі 40Х. Досліджені мікроструктура та механічні властивості зразків-свідків, а також визначені оптимальні технологічні умови отримання якісного, ремонтного зварного з'єднання. Отримані результати підтверджені успішною експлуатацією турбоагрегату протягом 2743 год. Бібліогр. 7, табл. 3, рис. 5.

*Ключові слова:* відновлювальний ремонт енергоустаткування, TIG зварювання, зварні з'єднання, термообробка, мікроструктура, механічні властивості

На енергоблоках ТЕС потужністю 300 МВт для подачі живильної води з деаератора через підігрівачі високого тиску в котел ТПП-210А використовується живильний насос ПН-1135–340 з турбоприводом ОР-12ПМ [1]. Привідна турбіна живильного насосу споживає пар III відбору ( $P = 1,56$  МПа,  $T = 440$  °С).

Одним із основних елементів автомату безпеки, що встановлюється на турбоживильному насосі (ТЖН) та служить для його захисту від надмірного підвищення частоти обертання ротору, є регулятор критичного числа обертів (рис. 1).

**Призначення, умови роботи валу та причини пошкодження.** Регулятор критичного числа обертів кільцевого типу розташований на роторі привідної турбіни і налаштований на число обертів 5700 об./хв.

За період експлуатації автомату безпеки ТЖН спостерігались випадки як часткового пошкодження валу-регулятора, так і повне його руйнування. Так, в період планового ремонту енергоблоку 2016 р., після напрацювання регулятором 75000 год., було виявлено пошкодження валу регулятора в місці галтельного переходу у вигляді не-

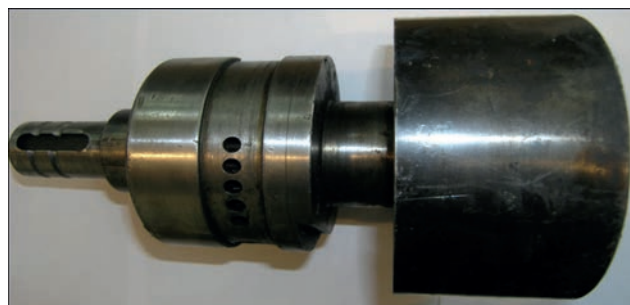


Рис. 1. Загальний вид регулятора критичного числа обертів автомату безпеки ТЖН турбіни К-300-240

© А.В. Грузевич, Д.Л. Нікіфоров, 2019

наскрізної кільцевої тріщини. Місце пошкодження зображено на рис. 2.

Тріщина була усунена шляхом проточування шийки валу на глибину 3,1 мм. Після вибірки тріщини додатково було усунуто шар металу на глибину 0,5 мм для гарантованої ліквідації невиявлених мікротріщин. Повноту видалення тріщини контролювали шляхом візуального огляду та проведення кольорової дефектоскопії.

Аналіз умов роботи валу регулятора (інтенсивні знакозмінні навантаження в місті концентрації напружень) та фрактографічні дослідження зламу

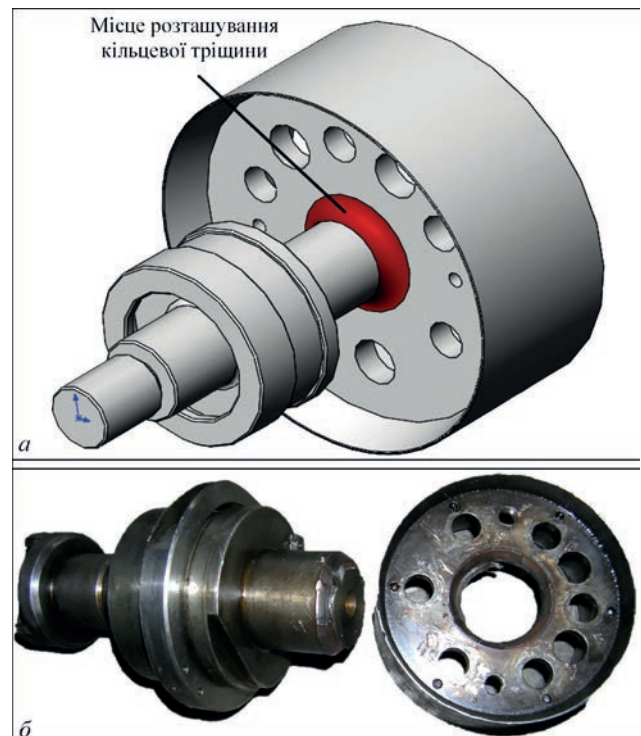


Рис. 2. Місце втомного пошкодження на валу регулятора (а) та випадок повного руйнування валу внаслідок циклічних навантажень (б)

аналогічного валу, який був замінений новим, вказують на транскристалітний вид руйнування та втомний характер пошкодження.

Після врахування всіх факторів (відсутність досвіду ремонту методами зварювання подібних деталей, прецизійність геометричних розмірів валу та значні вимоги до їх відхилень, стислі часові рамки ремонтної кампанії та відсутність необхідних запасних частин) прийнято рішення про виконання ремонтних робіт в цехових умовах підприємства.

**Метою роботи** є розробка та випробування технології ремонту зварюванням валу-регулятора ТЖН в місці втомного пошкодження в цехових умовах із застосуванням електродного матеріалу аустенітного класу, виконанням термічного відпуску виробу та використанням спеціалізованого технологічного оснащення.

**Методика досліджень.** Вал регулятора виготовлений з конструкційної, легованої сталі 40X за ГОСТ 8479–70. Введення хрому сприяє зменшенню критичної швидкості загартування, а отже, поліпшенню прокалюваності. В табл. 1, 2 представлені хімічний склад та механічні властивості сталі 40X, відповідно.

Враховуючи обмежену зварюваність сталі 40X [2–4], необхідність попереднього підігріву та фінішної термообробки деталі, методика відпрацювання технології зварювання та вибору режимних параметрів виконувалась на зразках–свідках.

Проведені дослідження були реалізовані за допомогою наступного устаткування:

- спектральний аналіз проводився оптико-емісійним спектрометром PMI–MASTER Pro;
- механічні випробування виконувались на розривній машині УММ-10;
- твердість за Брінеллем та Роквелом визначалась на УЗК твердомірі ТКМ-459;

**Таблиця 1.** Хімічний склад сталі 40X відповідно до ГОСТ 4543-71 та визначений за допомогою PMI Master Pro хімічний склад сталі 40X і наплавленого металу Св-04X19Н11М3

Матеріал	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
40X (ГОСТ 4543-71)	0,36...0,44	0,17...0,37	0,5...0,8	до 0,3	до 0,035	до 0,035	0,8...1,1	до 0,3
40X (PMI Master Pro)	0,451	0,277	0,977	0,0824	-	-	1,09	0,0962
Наплавлений метал Св-04X19Н11М3	0,216	0,288	1,19	5,41	-	-	8,10	0,201

**Таблиця 2.** Механічні властивості сталі 40X при T = 20 °C

Сортамент	Розмір, мм	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	KCU, кДж / м <sup>2</sup>	Термообробка
Поковка ГОСТ 8479-70	150	655	490	13	40	540	Гартування 860 °C, масло; відпуск 550 °C, вода,
Твердість 40X після відпуску							HB 218...248

**Таблиця 3.** Параметри режимів зварювання зразків–свідків зі сталі 40X

Номер зразка	Спосіб зварювання	Матеріал присадний	Діаметр електрода, мм	I, А	U <sub>хх</sub> , В	Температура термообробки, °C	Початкова та кінцева твердість HB		
							Основний метал	Зварний шов	ЗТВ
1	TIG	Св-04X-19Н11М3	2	80	не більше 95	300	183...192	270...275	290...295

– мікроструктура оцінювалась на мікроскопі Метам РВ-21–2 при збільшенні  $\times 100...500$ .

Спосіб зварювання та режимні параметри представлені в табл. 3. В якості джерела живлення для зварювання використовувався ВД-306Д.

TIG зварювання виконувалось в нижньому положенні, в два шари. Після зварювання зразки подавали загальному нагріванню в електропечі до температури 300 °C. Наступним етапом зразки охолоджували разом з піччю протягом двох годин і контролювали. Огляд зовнішньої поверхні зварних з'єднань після шліфування з подальшим травленням кислотою показав відсутність дефектів.

В результаті проведених макродосліджень виявлено щільна будова наплавленого металу зварного шва і біляшовної зони. Мікроструктура зони наплавленого металу Св-04X19Н11М3 – аустеніт із дрібнодисперсними карбідними частинками (рис. 3).

Результати механічних випробувань межі міцності  $\sigma_B$  та відносного звуження  $\Psi$  зразків зі зварним з'єднанням відповідають вимогам до основного металу та складають  $\sigma_B = 806,7$  МПа,  $\Psi = 40\%$ . Руйнування зразків мало в'язкий характер та відбувалось по зоні термічного впливу.

Зварні зразки пройшли випробування на твердість. Виміри проводились в трьох повздовжніх площинах з початком відліку від центральної осі зварного з'єднання з кроком 1,5...2,0 мм.

Результати випробувань показали, що зварювання сталі 40X за вказаною технологією змінює структуру і твердість основного металу в зоні термічного впливу (рис. 4). Схема розкриття кромки на галтельному переході вала та оснастка, яка використовувалась під час ремонтного зварювання, представлені на рис. 5. Після виконання ремонтного зварювання із усіма етапами термічної об-

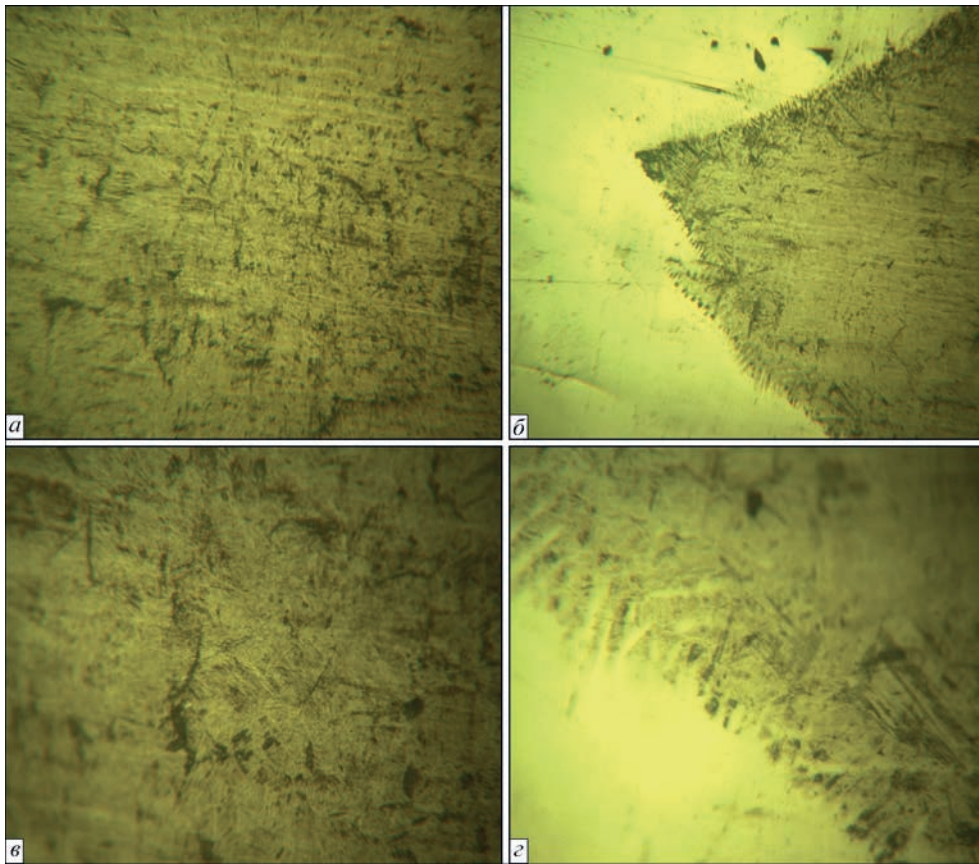


Рис. 3. Мікροструктура участків зварного з'єднання сталі 40X: а – Св-04Х19Н11М3, ЗТВ, ×100, ТІГ; б – зварний шов, ×100, ТІГ; в – Св-04Х19Н11М3, ЗТВ, ×500, ТІГ; г – зварний шов, ×500, ТІГ

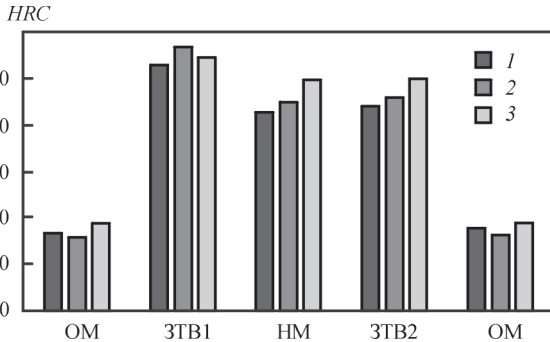


Рис. 4. Графіки розподілу твердості за Роквелом в зварних зразках, виконаних Св-04Х19Н11М3: 1 – площа 1; 2 – 2; 3 – 3 робки успішно проведено вібродіагностичні випробування вала.

**Аналіз результатів.** Результати після експлуатаційного інспектування вказують на можливість

використання аустенітного присадного матеріалу для ремонту вала регулятора із одночасним проведенням попереднього підігріву (200...300 °С) та термічного відпочинку (250 °С). Таким чином, застосування технологічних прийомів (спеціального оснащення для закріплення вала) в сукупності із відпрацьованою технологією зварювання дозволило забезпечити успішну експлуатацію вала регулятора ТЖН ПН-1135–340 з турбоприводом ОР-12ПМ в міжремонтний період енергоблоку потужністю 300 МВт.

Слід зазначити, що досвід ремонту енергетичного обладнання (особливо великогабаритного) із застосуванням різнорідних (аустеніт + перліт) матеріалів існує досить давно [5, 6]. Головними перевагами даного підходу є можливість, за

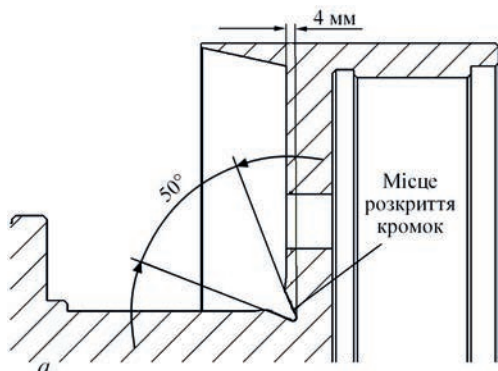


Рис. 5. Схема розкриття кромки галтельного переходу вала регулятора (а) та оснащення для реалізації технології зварювання вала (б)

рахунок запасу пластичності наплавленого металу, уникнути необхідності проведення фінішної термообробки, що на ТЕС, в деяких випадках, є технологічно неможливо. Для зменшення водневої крихкості та зниження рівня дифузії рухомого водню в металі шва валу, після зварювання, використаний термічний відпуск, при якому в зварних з'єднаннях зменшується вміст водню [7] та дещо знижується рівень залишкових зварювальних напружень.

До недоліків слід віднести недовготривалість та низьку надійність даного виду ремонту через фактори, зазначені вище.

### Висновок

Вибір аустенітного класу наплавленого металу, не дивлячись на очевидні недоліки, такі, як хімічна і структурна неоднорідність, дозволив мінімізувати режим кінцевої термічної обробки та зменшити ризик деформування деталі і, як результат, відхилень високопрецизійної геометрії валу, після зварювальних операцій, від вимог креслень, що підтверджено вібродіагностичними випробуваннями.

### Список літератури

1. Косяк Ю.Ф. (1982) *Паровая турбина К-300-240 ХТГЗ*. Москва, Энергоиздат.
2. Филиппов А.А., Пачурин Г.В., Кузьмин Н.А. (2014) Устойчивость аустенита при разных температурах и механические свойства горячекатаной стали 40Х. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, **10**, 27-32;
3. Пчелінцев В.О., Говорун Т.П., Раб В.М., Берладір Х.В. (2012) Термоциклічна обробка вала зі сталі 40Х відцентрового насоса типу НКВ. *Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки*, **4**, 123-132

4. Васин П.А., Винокуров В.А. (2013) Нанесение защитных и упрочняющих покрытий на сталь 40Х методом электроискрового легирования. *Современные техника и технологии. Материалы XIX Международной научно-практической конференции*. Томск, сс. 26 – 27.
5. (1988) РД 108.021.112-88 *Исправление дефектов в литых корпусных деталях паровых турбин и арматуры методом заварки без термической обработки*. НПО «ЦКТИ»
6. (1990) РД 34.17.205-90 Инструкция по приварке штуцеров к коллекторам из стали 12Х1МФ аустенитными электродами без термической обработки. ВТИ им. Ф.Э. Дзержинского.
7. Касаткин С.Б., Мусяченко В. Ф., Смиян О. Д. (1974) Влияние подогрева на распределение водорода в сварном соединении высокопрочной стали. *Автоматическая сварка*, **5**, 72–73.

### References

1. Kosyak, Yu.F. (1982) *Steam turbine K-300-240 KhTGZ*. Moscow, Energoizdat [in Russian].
2. Filippov, A.A., Pachurin, G.V., Kuzmin, N.A. (2014) Stability of austenite at different temperatures and mechanical properties of hot-rolled steel 40Kh. *Int. J. of Applied and Fundamental Research*, **10**, 27-32.
3. Pchelintsev, V.O., Govorun, T.P., Rab, V.M., Berladir, Kh.V. (2012) Thermocyclic treatment of 40Kh steel shaft of centrifugal pump of NKV type. *Visnyk Sum. Derzh. Un-tu. Seriya Tekhnichni Nauky*, **4**, 123-132 [in Ukrainian].
4. Vasin, P.A., Vinokurov, V.A. (2013) Deposition of protective and hardening coatings on 40Kh steel by electric-spark alloying. *In: Proc. of XIX Int. Sci.-Pract. Conf. on Modern Engineering and Technologies*. Tomsk, 26-27.
5. (1988) RD 108.021.112.88: *Repair of defects in cast housing parts of steam turbines and fittings using welding-up method without heat treatment*. St.-Petersburg, NPO CKTI [in Russian].
6. (1990) RD 34.17.205-90: *Instruction on welding of connecting branches to collectors from 12Kh1MF steel by austenitic electrodes without heat treatment*. Moscow, VTI [in Russian].
7. Kasatkin, S.B., Musiyachenko, V.F., Smiyani, O.D. (1974) Effect of preheating on hydrogen distribution in welded joint of high-strength steel. *Avtomatich. Svarka*, **5**, 72-73 [in Russian].

## EXPERIENCE OF REPAIR OF EQUIPMENT PARTS OF TPS POWER UNIT

A.V. Gruzevich<sup>1</sup>, D.L. Nikiforov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trypillya TPS, 08720, Ukrajinka. E-mail: gruzevich@bigmir.net

<sup>2</sup>PSJC «Tsentrenergо», 120/4 Kozatska Str., 03022, Kyiv, Ukraine.

E-mai: d.i.nikiforov.jsc.ce@gmail.com

Technology of welding and recovery of performance of the shaft of regulator of limiting number of revolutions in overspeed governor of turbo feed pump in No.1 power unit of Trypillya TPS is presented. Operating conditions of overspeed governor regulator shaft and causes for its damage have been analyzed. Parameters of the mode of welding and heat treatment of the regulator shaft from steel 40Kh were optimized. Microstructure and mechanical properties of witness-samples were studied, and optimum technological conditions of producing a sound repair welded joint were determined. Obtained results were confirmed by successful operation of the turboset for 2743 h. 7 Ref., 3 Tabl., 5 Fig.

*Keywords: reconditioning repair of power equipment, TIG welding, welded joints, heat treatment, microstructure, mechanical properties*

Надійшла до редакції 09.10.2019



**СВАРКА  
и РЕЗКА**

**20-я международная специализированная  
выставка оборудования, приборов  
и инструментов для сварки и резки**

**7-10.04.2020**