

ОСОБЛИВОСТІ РЕМОНТУ ТА ДІАГНОСТИКИ ГАЛТЕЛЬНИХ ПЕРЕХОДІВ АГРЕГАТА ПЛ15/3251-ГК-600 КИЇВСЬКОЇ ГЕС

В.Ю. Глуховський, В.А. Литвиненко, Ю.М. Каховський, М.Ю. Каховський

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: glukhovskyy@gmail.com

Розглянуто питання вибору методів ремонту, контролю та діагностики технічного стану галтельних переходів агрегата ПЛ15/3251-ГК-600 Київської ГЕС методами неруйнівного контролю. Описано особливості інструментального обстеження пошкоджень і ремонту колон статора турбіни гідроагрегата ст. № 6 Київської ГЕС для філії «Каскад Київських ГЕС і ГАЕС» ПрАТ «Укргідроенерго». Представлено алгоритм обстеження колон статора турбіни гідроагрегата ст. № 6 типу ПЛ15/3251-ГК-600. Бібліогр. 7, табл. 1, рис. 5.

Ключові слова: Київська ГЕС, галтельні переходи, неруйнівний контроль, зварювання, наплавлення, ремонт, візуальний, капілярний, ультразвуковий, магнітопорошковий, гідроагрегат, гідротурбіна

Вступ. Технічний прогрес обумовлює постійне зростання вимог до машин і конструкцій та, в першу чергу, до підвищення їх надійності та довговічності. Промисловість більшості індустріально розвинених країн зазнає значних втрат внаслідок недостатньої надійності та довговічності машин і конструкцій.

Зварювання широко застосовується в багатьох технологічних процесах ремонту різноманітних деталей машин і конструкцій. Обсяги ремонтних робіт із застосуванням зварювання в промисловості, будівництві, сільському господарстві та інших галузях економіки, продуктивність і ефективність ремонтного зварювання постійно зростають і ця тенденція чітко спостерігається в усіх розвинених країнах.

Складний економічний стан України, пов'язане з цим зниження обсягів випуску та впровадження нової техніки надає проблемі ремонту та відновлення машин і конструкцій одне з пріоритетних значень. Ремонтне виробництво має багато загальних рис з машинобудуванням і водночас суттєво відрізняється. У ремонті часто застосовуються специфічні технологічні процеси [1].

Технологія ремонту являє собою сукупність процесів – мийки, очищення, зварювання, наплавлення, нанесення покриттів, багаточисельних методів механічної, термічної, хіміко-термічної та ін. видів обробки, а також контролю якості.

Методика обстеження та ремонту агрегатів Київської ГЕС. Доцільність ремонту зварюванням визначається збитками від зупинки та простою виробництва або перервами в роботі виробничого обладнання, що вийшло з ладу, які, в свою чергу, значно перевищують витрати на зварювальні матеріали та ремонт.

До такого роду обладнання відносяться вузли й агрегати гідроелектростанцій (ГЕС), наприклад, горизонтальні капсульні агрегати з поворотом лопатевими гідротурбінами з горизонтальними синхронними генераторами (рис. 1).

Так, на Київській ГЕС при плановому обстеженні колон статора турбіни гідроагрегата ст. № 6 типу ПЛ15/3251-ГК-600 (рис. 1) були виявлені чисельні пошкодження, які мали бути усунені методом ремонтного зварювання.

Перед початком ремонтних робіт були сформовані основні етапи інструментального обстеження пошкоджень колон статора турбіни гідроагрегата ст. № 6 типу ПЛ15/3251-ГК-600 (рис. 2).

З рис. 2, а видно, що капсула ГА-6 складається з восьми опорних колон, кожна з яких утворює по чотири галтельні переходи, які у випадку колон №№ 3, 6, 7 ремонтувались і контролювались (на рис. 2, а позначено цифрами від I до IV). На рис. 2, б наведено окрему колону з напрямками контр-



Рис. 1. Зовнішній вигляд капсульного агрегата ГА-6

Каховський Ю.М. – <https://orcid.org/0000-0002-9520-2996>, Каховський М.Ю. – <https://orcid.org/0000-0001-7249-0457>, Литвиненко В.А. – <https://orcid.org/0000-0003-3680-2198>, Глуховський В.Ю. – <https://orcid.org/0000-0002-1969-495X>
© В.Ю. Глуховський, В.А. Литвиненко, Ю.М. Каховський, М.Ю. Каховський, 2024

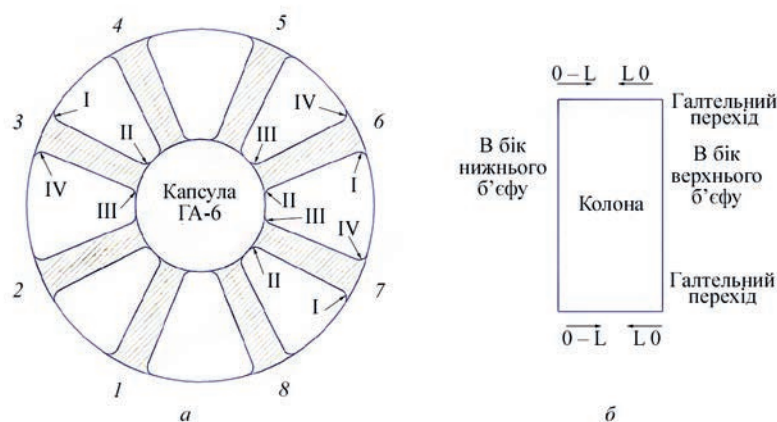


Рис. 2. Графічне зображення капсули ГА-6 з місцями ремонтних робіт (а) і система координат окремої колони (б)



Рис. 3. Зовнішній вигляд галтельного переходу агрегату ГА-6 олю. Зовнішній вигляд галтельного переходу наведено на рис. 3.

Лабораторією неруйнівного контролю, яка входить до підрозділу Київської ГЕС, було проведено огляд поверхні статора турбіни гідроагрегата ст. № 6 на наявність дефектів. За результатами обстеження капілярним методом галтельних переходів колон №№ 3, 6, 7 виявлено неприпустимі лінійні індикації, які дали змогу точно визначити місця майбутнього ремонту зварюванням і наплавленням.

Технологія ремонту полягала в повній ліквідації тріщин, формуванні крайок під зварювання, ремонтно-відновлювальному зварюванні (наплавленні) і подальшому неруйнівному контролю відновлених ділянок.

Виявлені візуальним оглядом тріщини повністю видалялись абразивним інструментом до непошкодженого металу з подальшою зачисткою прилеглого металу до металевого блиску. У про-

цесі видалення тріщин формувались V-подібні крайки з кутами розкриття в межах 30...40°. Повнота видалення тріщин у металі контролювалась методом кольорової дефектоскопії. Ремонтне зварювання виконувалось методом ручного дугового зварювання із використанням покритих електродів марки FOX EV50 (тип E42542H5). У певних випадках зварювання виконувалось з попереднім підігрівом у зоні зварювання до температури 130...150 °С. Для зменшення залишкових напружень і деформацій забезпечувалось уповільнене охолодження наплавленого металу, а в окремих випадках – обробка простукуванням зварних швів пневматичним інструментом після накладання кожного шару. Посилення шва видалялося абразивним інструментом із шліфуванням поверхні до необхідних геометричних розмірів згідно з кресленнями.

За регламентом робіт всі відремонтовані ділянки галтельних переходів потребували інструментального обстеження методами неруйнівного контролю, до яких входили візуально-вимірювальний, ультразвуковий і магнітний.

За результатами візуально-вимірювального контролю всі відремонтовані ділянки не мали видимих дефектів, метал шва та пришовна зона відповідали вимогам ДСТУ ISO 11971-2016 [2]. Ультразвуковий контроль із використанням дефектоскопу УД2-50 згідно з ДСТУ EN 12680-1-2015 [3] не виявив інформативні сигнали від внутрішніх неоднорідностей, які б перевищували рівень приймання.

Для виявлення можливих поверхневих і підповерхневих неоднорідностей був застосований магнітопорошковий метод із залученням, поруч із класичним МАГЕКС 1П, експериментального магнітного дефектоскопа ТВА-5, особливістю якого є побудова з окремих шарнірно з'єднаних рухомих елементів.

Порівняльна характеристика П-подібних НП на постійних магнітах

Номер	Тип НП	Технічні характеристики			
		Габаритні розміри, мм	Максимальна міжполюсна відстань, мм	Маса, кг	Сила відриву, Н
1	МАГЕКС-1П	Ø35×135×690	340	1,1	274,4
2	ТВА-5	Ø30×295	200	1,8	294

Закінчення таблиці

Номер	Тип НП	Технічні характеристики			
		Полюсна магнітна індукція B_p , мТл	Центральна тангенціальна складова H_z , кА/м	Пошукове магнітне поле в зазорі* $H_{\text{вп}}$, кА/м	Вид ярма
1	МАГЕКС-ІП	120	16	30,4	трос
2	ТВА-5	72	11,2	44,8	шарнір

Примітка. *Зазор завширшки 3 мм між пластинами 500×250×12 мм на глибині 6 мм.

Як МАКЕС, так і ТВА – це П-подібні намагнічувальні пристрої (НП) з постійними магнітами, розроблені ІЕЗ ім. Є.О. Патона, проте конструкція першого характеризується наявністю гнучкого з’єднання полюсів сталевим феромагнітним тросом. Технічні характеристики даних НП наведено в таблиці.

З таблиці випливає, що значення пошукових магнітних полів у середині об’єкта для НП з шарнірними ярмами в 1,5 рази більше, ніж для НП з тросом. Відмова від вертикальності напрямку вектора намагнічування дозволяє зменшити силу тяжіння магнітів приблизно в 2 рази (120/72) [4].

Конструкції наведених типів НП представлені на рис. 4.

Наведені на рис. 4 НП призначені для локального намагнічування визначеної ділянки металоконструкції. Для намагнічування наступної ділянки НП необхідно відірвати від поверхні з зусиллям 274,4...294 Н та пересунути на нову позицію. Таке пересування виконується з кроком, кратним ширині полюса вздовж всього зварювального шва, а НП мають встановлюватись під різними кутами до осі зварного з’єднання [5, 6].

Магнітний опір встановлених на контрольовану поверхню феромагнітного виробу зазначених НП описується виразом:

$$R_m = F/\Phi = l/\mu S,$$

де l та S – довжина та переріз ділянки магнітного ланцюга; μ – магнітна проникність.

Спираючись на твердження авторів [4], при віддаленні магнітних полюсів один від одного в діапазоні 60...100 мм магнітне поле ТВА-5 малозмінне, на відміну від НП з тросом, для якого воно змінюється від 70 до 60 мТл. Це свідчить про ширшу зону контролю НП з ярмом шарнірного типу та більшу доцільність у контролі великих площин.

За результатами магнітного контролю відремонтованих гальтельних переходів колон №№ 3, 6, 7 намагнічуючим пристроєм ТВА-5 були виявлені неприпустимі лінійні індикації (рис. 5) згідно з наведеними нормами якості [8]. Наявність виявлених лінійних індикацій спонукало до повторних ремонтних процедур визначених ділянок.

За результатами кінцевого неруйнівного контролю відремонтованих ділянок гальтельних переходів колон №№ 3, 6, 7 статора турбіни гідроагрегата ст. № 6 типу ПЛ15/3251-ГК-600 дефекти, які б не відповідали рівням приймання, виявлені не були.

Таким чином, оперативно проведений комплекс робіт з відновлення спрацьованих гальтельних переходів агрегата типу ПЛ15/3251-ГК-600

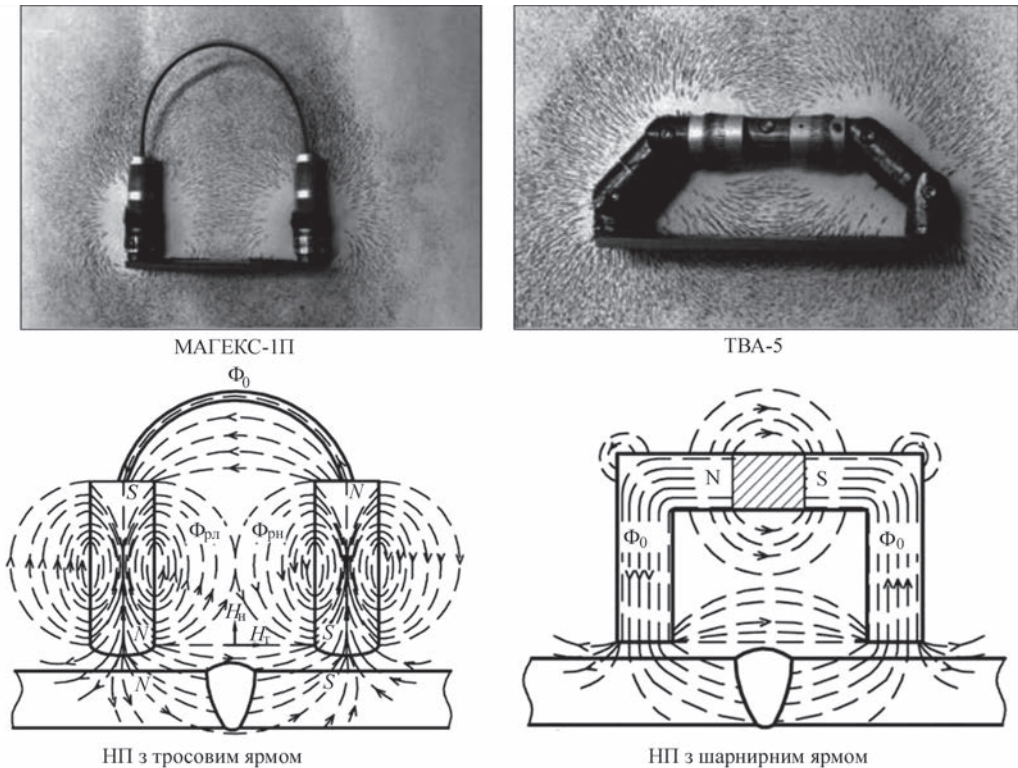


Рис. 4. Загальний вигляд П-подібних НП на постійних магнітах і розподілення їх магнітних полів

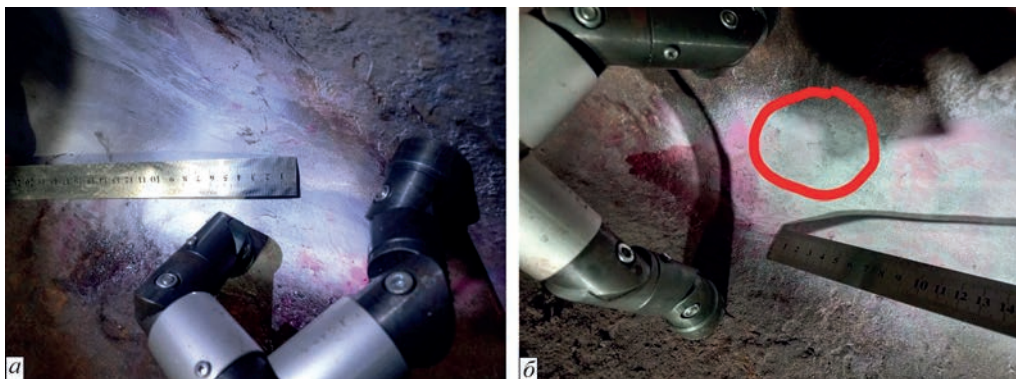


Рис. 5. Приклади дефектів гальтельних переходів колон, виявлені магнітопорошковим контролем: а – колона № 6–4; б – колона № 7–2

Київської ГЕС забезпечив вчасне введення в експлуатацію агрегата № 6, що дозволило відновити роботу ГЕС у повному обсязі, а систематичний огляд гальтельних переходів агрегата типу ПЛ15/3251-ГК-600 на Київській ГЕС виявився надзвичайно важливим для забезпечення безперервного функціонування ГЕС.

Висновки

1. Доцільність ремонту зварюванням визначається збитками від зупинки та простою виробництва або перервами в роботі виробничого обладнання, що вийшло з ладу.

2. Невід'ємною частиною ремонтних робіт відновлених ділянок є контроль їх якості неруйнівними методами (візуальний, УЗК, магнітний та ін.).

3. При необхідності виявлення поверхневих і підповерхневих дефектів слід використовувати магнітопорошковий контроль. При контролі масивних товстостінних конструкцій можна використовувати НП на постійних магнітах з полюсною магнітною індукцією $\geq 60 B_n$, мТл.

4. Віддалення магнітних полюсів один від одного в діапазоні 60...100 мм не впливає на величину магнітного поля НП з шарнірним ярмом і свідчить про ширшу зону контролю на відміну від НП з ярмом-тросом та більшу можливість при контролі виробів великих площин з масивними стінками.

Список літератури

1. Гетманець С.М., Степанов Д.В. (2012) *Методичні вказівки з напрямку підготовки 6.050504 «Зварювання»*. Київ, НТУУ «КПІ».
2. ДСТУ ISO 11971-2016 *Сталеве і чавунне литво. Візуальне контролювання якості поверхні*.
3. ДСТУ EN 12680-1-2015. *Литво. Ультразвуковий контроль. Ч. 1. Відливки зі сталі загального призначення*.
4. Троицкий В.А., Горбик В.М., Бородай О.С. (2017) Сравнение различных систем намагничивающих устройств с постоянными магнитами для магнитопорошкового метода контроля. *Техн. диагностика и неразруш. контроль*, **4**, 32–41. DOI: <https://doi.org/10.15407/tdnk2017.04.05>
5. ДСТУ EN ISO 17638:2018 *Неруйнівний контроль зварних швів. Магнітопорошковий контроль* (EN ISO 17638:2016, IDT; ISO 17638:2016, IDT).
6. ISO 9934-1:2016 *Non-destructive testing – Magnetic particle testing. Part 1, 2, 3*.
7. ДСТУ ISO 4986-2015 *Сталеві відливки. Магнітопорошковий контроль* (ISO 4986:2010, IDT).

References

1. Hetmanets, S.M., Stepanov, D.V. (2012) *Methodical guidelines for preparation 6.050504 «Welding»*. Kyiv, KPI [in Ukrainian].
2. DSTU ISO 11971-2016 *Steel and iron castings – Visual examination of surface quality* [in Ukrainian].
3. DSTU EN 12680-1-2015 *Founding – Ultrasonic examination – Pt 1: Steel castings for general purposes* [in Ukrainian].
4. Troitskii, V.A., Gorbik, V.M., Borodai, O.S. (2017) Comparison of different systems of magnetizing devices with constant magnets for magnetic particle testing. *Tekhn. Diagnost. i Nera-zrush. Kontrol*, **4**, 32–41. DOI: <https://doi.org/10.15407/tdnk2017.04.05> [in Russian].
5. DSTU EN ISO 17638:2018 *Non-destructive testing of welds – Magnetic particle testing* (EN ISO 17638:2016, IDT; ISO 17638:2016, IDT) [in Ukrainian].
6. ISO 9934-1:2016 *Non-destructive testing — Magnetic particle testing. Pt 1, 2, 3*.
7. DSTU ISO 4986-2015 *Steel castings – Magnetic particle inspection*. (ISO 4986:2010, IDT) [in Ukrainian].

FEATURES OF REPAIR AND DIAGNOSTICS OF PL15/3251-GK-600 UNIT OF KYIV HPP

V.Yu. Glukhovskiy, V.A. Lytvynenko, Yu.M. Kakhovskiy, M.Yu. Kakhovskiy

E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU. 11 Kazymyr Malevich str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: glukhovskyy@gmail.com

The question of selection of the methods of repair, control and diagnostics of the technical condition of fillet transitions in the unit of PL15/3251-GK-600 type of the Kyiv HPP by non-destructive testing techniques was considered. Features of instrumental examination of damage and repair of stator columns in the turbine of the hydraulic unit No. 6 of Kyiv HPP for PrJSC «Ukrhydroenergo» «Cascade of Kyiv HPPs and PSPPs» branch are described. The algorithm of examination of the stator columns of the turbine of hydro unit No. 6 of PL15/3251-GK-600 type is presented. Ref. 7, 1 Tabl., Fig. 5.

Keywords: Kyiv HPP, fillet transitions, non-destructive testing, welding, surfacing, repair, visual, capillary, ultrasonic, magnetic method, hydro unit, hydro turbine

Отримано 26.02.2024

Отримано у переглянутому вигляді 15.05.2024

Прийнято 10.09.2024