

# ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ КОСОЗУБИХ ВЕЛИКОМОДУЛЬНИХ ШЕСТЕРЕНЬ ЕЛЕКТРОШЛАКОВИМ НАПЛАВЛЕННЯМ

С.М. Козулін<sup>1</sup>, І.І. Личко<sup>1</sup>, С.С. Ковальчук<sup>1</sup>, Г.С. Подима<sup>2</sup>, М.В. Лазарчук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: [office@paton.kiev.ua](mailto:office@paton.kiev.ua)  
<sup>2</sup>НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», 03056, м. Київ, вул. Дашавська, 6/2.  
E-mail: [meganom8@ukr.net](mailto:meganom8@ukr.net)

Викладені результати експериментальних досліджень, виконаних з метою розробки високопродуктивної технології, устаткування і спеціального технологічного оснащення для відновлення зношених зубів великомодульних косозубих шестерень електрошлаковим наплавленням (ЕШН). Основні завдання роботи: розробка конструкції і методу виготовлення спеціального водоохолоджуваного формувального оснащення, пошук режимів ЕШН, що забезпечують гарантований сплав присадкового металу з основним, а також якісне формування робочих поверхонь наплавлених зубів; адаптація вузлів серійного апарату А-535 УХЛ4 з джерелом живлення ТШС 1000-3 для виконання ЕШН плавким мундштуком електродним дротом діаметром 3 мм з використанням плавлених флюсів АН-8 та АН-9У; розробка конструкції наплавлювальної установки; відновлення дослідно-штатної косозубої шестерні і оцінка її працездатності. Визначений рівень питомої погонної енергії, що забезпечує якісне відновлення зубів, вибрані зварювальні матеріали для отримання необхідного хімічного складу і службових характеристик наплавленого металу. На ремонтно-механічному заводі ТПО «Братський ЛПК» організована спеціалізована ділянка відновлення зубів великомодульних шестерень, де відновлено із застосуванням ЕШН зубчасте колесо і відправлено для проведення експлуатаційних випробувань. Досвід експлуатації показав, що відновлене зубчасте колесо має хорошу плавність ходу і стійкість зубів в умовах знакозмінних і контактних навантажень, що виникають при експлуатації окорувального барабана. Знос зубів на рівні твірної окружності не перевищує 3...5 мм. Бібліогр. 10, табл. 1, рис. 8.

*Ключові слова:* відновлення, косозубі шестерні, великомодульні, знос, електрошлакове наплавлення, плавкий мундштук, питома погонна енергія, формувальне оснащення, якість сплавлення, наплавлювальна установка, термічна обробка, залишкові деформації, експлуатаційні випробування

Відновлення деталей машин і механізмів, схильних до природного або аварійного зносу в процесі експлуатації – важливий засіб економії матеріальних і трудових ресурсів. Відновлювальне наплавлення у багатьох галузях промисловості перетворилося на окрему галузь зварювального виробництва і широко використовувалося для потреб народного господарства [1].

Особливе значення воно має при ремонті великогабаритних, ваговитих дорогих деталей машин і технологічного устаткування імпортного виробництва.

Нині в гірничодобувній, металургійній, деревообробній, енергетичній і інших галузях промисловості експлуатується значний парк устаткування імпортного виробництва, в приводних механізмах якого використовуються великомодульні косозубі шестерні, зубчасті вінці і колеса, працюючі в умовах значних знакозмінних навантажень і абразивного зносу.

Більшість з них не відпрацьовують регламентований ресурс в результаті передчасного зносу евольвентних і пітчевих профілів зубів до 60 %, а також у разі їх поломок, що виникають в процесі експлуатації, що неминуче призводить до простоїв устаткування, працюючого в цілодобовому режимі, і необхідності закупівель запасних деталей по імпорту.

Виробнича практика показує, що науково обґрунтована технологія і організація відновлення дефектних деталей в основному дозволяють у багатьох випадках досягти нормативного напруження техніки, а в окремих випадках навіть перевершити напруження нових виробів [1, 2].

На сьогоднішній день в Україні та за кордоном більшість вказаних зношених або пошкоджених деталей, маса дефектних елементів яких не перевищує 3...5 % від їх загальної маси, відправляють у металобрухт, що з нашої точки зору вкрай нерационально і технічно, і економічно.

Існуючі методи відновлення зубів великомодульних шестерень із застосуванням багатопрохідного електродугового наплавлення покритими електродами, механізованої в захисному газі та автоматичної під шаром флюсу не знайшли широкого застосування у зв'язку з низькою продуктивністю процесу, негарантованою якістю сплавлення присадкового матеріалу з основним, небезпекою утворення міжшарових дефектів у виді неметалевих включень, пор, тріщин, викришування активних поверхонь зубів і таке інше (рис. 1).

У зв'язку з цим розробка нових високоєфективних методів відновлення зношених зубів великомо-

Козулін С.М. – <https://orcid.org/0000-0002-8368-4545>, Личко І.І. – <https://orcid.org/0000-0002-4977-7473>, Ковальчук С.С. – <https://orcid.org/0000-0002-1247-6917>, Подима Г.С. – <https://orcid.org/0000-0002-0825-3235>, Лазарчук М.В. – <https://orcid.org/0000-0001-6192-6825>

© С.М. Козулін, І.І. Личко, С.С. Ковальчук, Г.С. Подима, М.В. Лазарчук, 2021

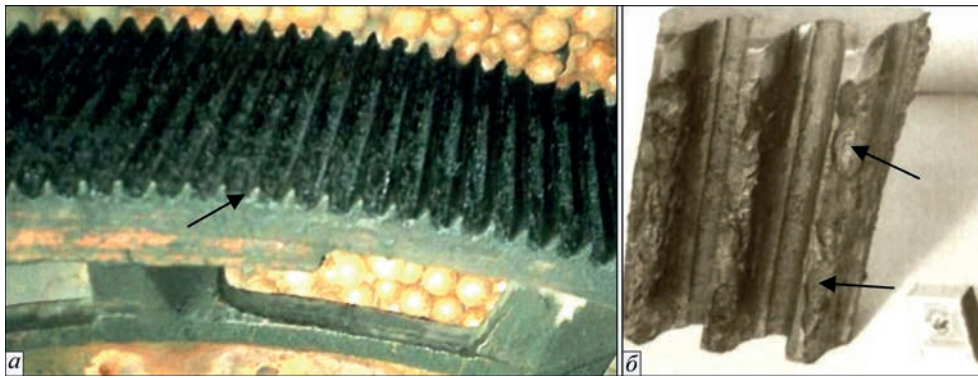


Рис. 1. Характерний знос зубів косозубого вінця привода рудорозмольного млина (а) і приклад викришування зубів косозубого колеса привода окорувального барабану після їх наплавки покритими електродами (б)

дальних шестерень з метою продовження їх ресурсу експлуатації є дуже актуальним завданням.

Найбільшими технічними можливостями для підвищення продуктивності і якості ремонтних робіт володіє електрошлакова наплавка (ЕШН), що знайшла широке застосування при відновленні великогабаритних деталей машин, які експлуатуються у важкій, металургічній, енергетичній, цементній та в інших галузях промисловості [3–5]. Головною перевагою ЕШН є можливість виконувати за один прохід наплавку шарів металу різного профілю практично необмежених розмірів при забезпеченні достатньо високої точності геометричних розмірів відновлюваних елементів.

Відомі приклади успішного застосування ЕШН при відновленні кількох поламаних зубів (модуль 36) шевронної шестерні кривошипно-шатунного пресу [2], а також зубів підвінцевої шестерні (модуль 40) обертової відпалювальної печі, дефекти в яких (зтонщення профілю та провал впадини) виявилися на завершальній стадії її виготовлення [6]. Після завершення відновлювальних робіт відділами технічного контролю заводів шестерні були визнані годними до експлуатації та встановлені в приводні механізми, де успішно працювали до закінчення нормативного ресурсу експлуатації. Відомий також досвід застосування ЕШН для відновлення зубів (модуль 20) зношених прямозубих підвінцевих шестерень кульових млинів подрібнення вуглю [2]. Однак о прикладах відновлення за допомогою ЕШН косозубих шестерень крупного модуля інформація відсутня. Основною проблемою їх відновлення є особливості конструкції цих виробів, а саме гвинтовий характер розташування поверхонь вершин і впадин зубів [7], що суттєво ускладнює проектування і виготовлення формівної оснастки, а також техніку виконання ЕШН.

Метою даної роботи є розробка високопродуктивної технології, обладнання та спеціальної технологічної оснастки для відновлення зношених зубів великомодульних косозубих шестерень ЕШН.

Для досягнення поставленої мети необхідно було виконати комплекс досліджень аналітичного і практичного характеру:

- розробка конструкції та методу виготовлення спеціального охолоджуваного водою формувального оснащення;

- виконання лабораторних експериментальних досліджень з метою пошуку режимів та техніки виконання ЕШН, що забезпечують гарантоване сплавлення присадкового металу з основним, а також якісне формування робочих поверхонь наплавлених зубів;

- відпрацювання техніки початку процесу ЕШН з використанням методу «рідкого старту»;

- адаптація вузлів серійного апарату А-535 УХЛ4 з джерелом живлення ТШС 1000-3 для виконання ЕШН плавким мундштуком електродного дроту Ø3 мм з використанням плавлених флюсів АН-8 та АН-9У;

- розробка конструкції наплавної установки пристрою для отримання рідкого флюсу;

- відновлення дослідно-штатної косозубої шестерні ЕШН;

- оцінка працездатності відновленої шестерні згідно результатам проведення експлуатаційних випробувань.

Методика виконання дослідних робіт передбачала:

- вибір зварювальних матеріалів для отримання хімічного складу наплавленого металу, що забезпечує рівномірність з'єднань основному металу, необхідну твердість і пластичність, відсутність гартувальних структур;

- спектральний аналіз наплавленого металу, виготовлення та вивчення поперечних макрошліфів наплавлених з'єднань;

- контроль якості наплавлених з'єднань за допомогою переносного ультразвукового дефектоскопа УД2-12;

- визначення твердості наплавлених зубів з використанням портативного динамічного твердоміра ТЭМП-2;

- розробка режиму і проведення загальної термічної обробки відновленої шестерні;

- заміри залишкових деформацій відновленої шестерні з використанням штангенциркуля ШЦ-III-2000-0,1 (ІСО 3599-76).

Найбільш відповідальними і трудомісткими у виготовленні вузлами спеціальної технологічної оснастки є пристрої, що забезпечують надійне утримання шлакової і металевої ванни, необхідні геометричні параметри відновлених зубів та якісне формування зовнішніх (робочих) поверхонь наплавленого металу. На конструкцію формуючого пристрою впливають геометричні параметри зубів і характер їх відновлення, а саме: одиничні випадки ЕШН окремих поламаних зубів чи повторна наплавка всіх зношених зубів, використання стаціонарної установки або тимчасових застосувань для проведення ремонту в монтажних умовах і таке інше.

Для відновлення зношених зубів косозубих колес привода окорувального барабану (модуль зуба 18, число зубів 88, кут нахилу зубів 15°, зовнішній діаметр 1676 мм, маса 1250 кг, матеріал – сталь SIS 1650, виробник – фірма «Ваплан», Швеція) була розроблена конструкція формівного пристрою. До складу пристрою входять: водоохолоджуваний кристалізатор, піддон, вхідна та вихідна технологічні планки. Кристалізатор представляє собою суцільно-мідний виріб, в якому утворено порожнини, що точно повторюють вихідний профіль зубів, і мають потрібний нахил від вертикалі. Для охолодження робочих поверхонь в тілі кристалізатора просвердлені отвори для протікання води. Конструкція кристалізатора дозволяє одну з порожнин використати як коронку, встановлюючи її на раніше наплавлені зуби. Це дає можливість зменшити похибку кроку відновлених зубів. Технологічні планки призначені для забезпечення гарантованого сплавлення присадкового металу з крайкою, що наплавляється в початковій ділянці, а також виводу шлакової ванни та усадкової раковини за межі наплавлюваної крайки при завершенні наплавлення зуба. Для забезпечення надійного початку процесу наплавлення з використанням методу «рідкого старту» [3] використовують водоохолоджуваний піддон, в тілі якого є пази, що служать каналами для транспортування рідкого флюсу в робочу порожнину [8]. Заливку рідкого флюсу здійснюють сифонним способом, використовуючи лійку, виготовлену з жароміцної сталі.

Враховуючи гвинтовий (розгортний гелікоїд) характер розташування поверхонь вершин та впадин зубів у косозубих шестерень [5], на стадії процесу виготовлення кристалізатора виникли певні труднощі. Для виготовлення розробленої конструкції знадобилося використання унікального зубофрезерного або координатно-розточувального верстата. У зв'язку з тим, що такі верстати не завжди доступні, оскільки є тільки на великих машинобудівних заводах, було запропоновано альтернативний метод виготовлення кристалізатора, який полягає у наступному. З сталювого прокату було виготовлено прямокутний короб, який встановили та закріпили на секторі косозубого колеса с не-

зношеними зубами. На внутрішній поверхні кокіля нанесли вогнетривке покриття. В індукційній печі розплавляли необхідну кількість мідного брухту і після підігріву кокіля до 200 °С виконали заливку розплавленої міді. Для виключення пор і тріщин розплавлену мідь розкисляли фосфористою міддю МФ9. Дрібні поверхневі каверни наплавляли покритими електродами АНЦ-3М. Потім у виливку просвердлили отвори для протікання охолоджуючої води і приварили штуцери для її подачі та зливу. Після випробувань системи охолодження при тиску води 5 атм. кристалізатор було визнано придатним до експлуатації.

Відпрацювання режимів ЕШН, що забезпечують гарантоване сплавлення присадкового металу з основним і якісне формування робочих поверхонь наплавлених зубів, виконувалося шляхом ряду експериментальних наплавок на натурних зразках.

Параметри режиму ЕШН розраховували з урахуванням раніше отриманих залежностей для відновлення зубів модулів 22 і більше [9]. Для приблизного розрахунку потрібної питомої погонної енергії ЕШН ( $E_{cb}$ ) експериментальним шляхом визначали ефективний к.к.д. процесу ( $\eta$ ). Враховуючи, що ширина наплавлюваної крайки складає не більше 45 % від периметра робочого профілю кристалізатора, втратами тепла від випромінювання шлакової ванни вирішили знехтувати. Кількість теплоти, що відводиться охолоджуючою водою в стінки кристалізатора визначали, використовуючи відоме рівняння (1), виконавши заміри витрати води та її температури на вході та виході з кристалізатора:

$$Q_b = G_b (T - T_o), \quad (1)$$

де  $G_b$  – витрата води, г/с;  $T_o$  і  $T$  – температура води на вході та виході з кристалізатора відповідно, °С.

Заміри показали, що кількість теплоти, яка відбирається системою охолодження кристалізатора, складає 19,8 кДж/с, а теплоти, що виділяється в шлакометалевій ванні – 30,6 кДж/с. Тому величину к.к.д. процесу прийняли  $\eta = 0,35$ . Настільки малу величину  $\eta$ , на відміну від досвіду ЕШН зубів більш крупного модуля, можна пояснити суттєво більшою площею наплавлюваної поверхні профілю відносно розміру основного металу (ніжки зуба). Питому погонну енергію процесу  $E_{cb}$  визначали з виразу (2):

$$E_{cb} = \frac{IU\eta}{2,3V_c m}, \quad (2)$$

де  $I$  – струм наплавки, А;  $U$  – напруга наплавки;  $\eta$  – к.к.д. процесу;  $V_c$  – швидкість наплавки, см/с;  $m$  – модуль зуба, см.

Розрахункове значення  $E_{cb}$  для ЕШН зубів модуля 18 (висота зуба – 40,5 мм) складало 117,3 кДж/см<sup>2</sup>. Однак процес наплавки на розрахунковій  $E_{cb}$ , в тому числі при вертикальному положенні робочої порожнини кристалізатора, відрізнявся недостатньою сталістю, до того ж були виявлені дефекти у вигляді не-

сплавлень в перехідних галтелях ніжок зубів, а також гофри на наплавленій поверхні (рис. 2).

Вказані проблеми недостатньої стійкості електрошлакового процесу і якості наплавленого металу викликані відносно малими розмірами зони наплавлення, в т.ч. значними розмірами охолоджуваної формувальної поверхні (для канонічного електрошлакового процесу). Підвищення сталості процесу і виключення вказаних дефектів здійснювали корегуванням параметрів режиму та суттєвим зменшенням тепловідводу в стінки кристалізатора. Встановлено, що при  $E_{cb} = 123 \text{ кДж/см}^2$  і глибині шлакової ванни 30...35 мм забезпечуються задовільна якість сплавлення наплавленого металу з основним і формування зовнішньої поверхні зубів. При цьому виконання ЕШН з відхиленням від вертикалі не впливає на якість сплаву і формування наплавленого металу (допустиме відхилення –  $15^\circ$ ) [10]. Однак в процесі ЕШН спостерігалось періодична поява дугового розряду між мундштуком і стінками кристалізатора, що може привести до порушення стійкості процесу. Тому флюс АН-8 замінили на АН-9У, який має знижений вміст  $\text{SiO}_2$ , що сприяє підвищенню температури початку його кипіння і покращенню сталості ЕШН [9]. Флюс АН-9У дозволяє тривало вести процес ЕШН на підвищеній напрузі, що необхідно для забезпечення надійного сплавлення присадкового металу з основним та якісного формування наплавленого металу. Більш низька в порівнянні з флюсом АН-8 в'язкість флюсу АН-9У (досягалась за рахунок збільшення вмісту в ньому  $\text{CaF}_2$ , а також вводу  $\text{ZrO}_2$ ) дозволяють отримувати більш тонку гарнісажну корочку [9], що необхідно для підвищення точності геометричних параметрів відновлюваних профілів. Для зниження рівня тепловідводу в робочу порож-

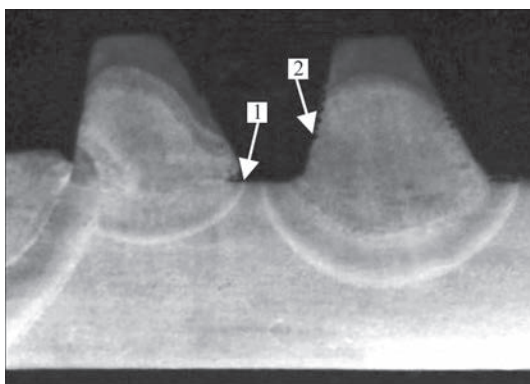


Рис. 2. Поперечний макрошліф зубів (модуль 18) з дефектами (показані стрілками): 1 – несплавлення в перехідній кривій; 2 – гофри на робочій поверхні зуба

нину кристалізатора з його системи охолодження включили частину каналів для проходження води.

Після прийняття вказаних мір і корегування параметрів режиму вдалося забезпечити задовільну сталість процесу ЕШН, хорошу якість сплавлення та формування наплавленого металу (рис. 3).

Вибір електродних матеріалів (наплавочного дроту, пластин і каналів плавкого мундштука) здійснювали з урахуванням забезпечення технологічної міцності з'єднання, високої ударної в'язкості та достатньої твердості наплавленого металу. Оскільки сталь SIS 1650 (аналог – сталь 45 ДСТУ 7809:2015), з якої виготовлене зубчасте колесо, відноситься до класу важкозварюваних, щоб уникнути появи гарячих тріщин запропоновано зменшити вміст вуглецю в наплавленому металі, а також застосовувати попередній та супутній підігрів зубчастого колеса ( $150...300 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Збереження потрібних механічних властивостей наплавленого металу досягалося легуванням його додаванням хрому (біля 1 %) та кремнію (більше  $0,8...1,0 \%$ ). В таблиці наведені хімічні склади основного і наплавленого металів.

Твердість основного металу складала  $HB 190...207$ , а наплавленого –  $HB 220...240$ , що підтвердило правильність обраної методики.

Для забезпечення надійного початку процесу ЕШН і скорочення часу наплавки при великій кількості зубів, потребуючих відновлення, було запропоновано використовувати метод «рідкого старту» [2]. Для цього була розроблена конструкція і виготовлено окремих автономний пристрій для розплавлення флюсу і тривалого підтримання його в рідкому стані (рис. 4).

Потрібну дозу рідкого шлаку заливали через сифонну лійку формуючого пристрою, після чого включали подачу зварного дроту, забезпечуючи стабільний старт процесу ЕШН. Після

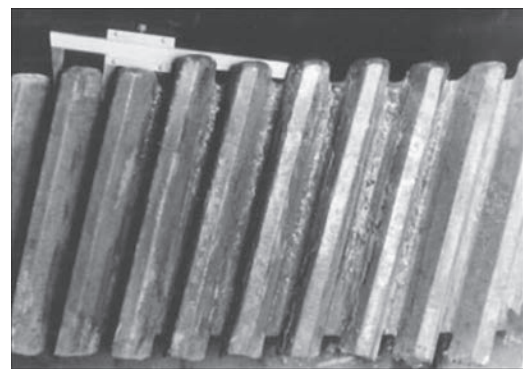


Рис. 3. Зовнішній вид наплавлених зубів

**Хімічний склад основного і наплавленого металу**

Марка сталі	Масова доля елементів, %								
	C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr	Cu	As
SIS 1650	0,42...0,50	0,15...0,40	0,68...0,90	-	0,03	0,03...0,05	-	-	-
45 ДСТУ 7809:2015	0,42...0,50	0,17...0,37	0,50...0,80	0	до 0,0 до 0,335	до 0,04	до 0,25	до 0,30	до 0,08
Наплавлений метал	0,23	1,09	0,85	0,13	0,022	0,023	0,98	-	-

старту ЕШН кожного зуба, на пристрої плавлення флюсу (рис. 4) зменшували струм та напругу на 30...40% (черговий режим), постійно підтримуючи флюс в розплавленому стані. Застосування такого пристрою дозволило не тільки зменшити час наплавки, складально-підготовчих робіт, але й зекономити витрати флюсу шляхом повторного розплавлення його затвердлених кусків, що вибираються з сифонної воронки та водоохолоджуваного піддону. Продуктивність відновлення зношених

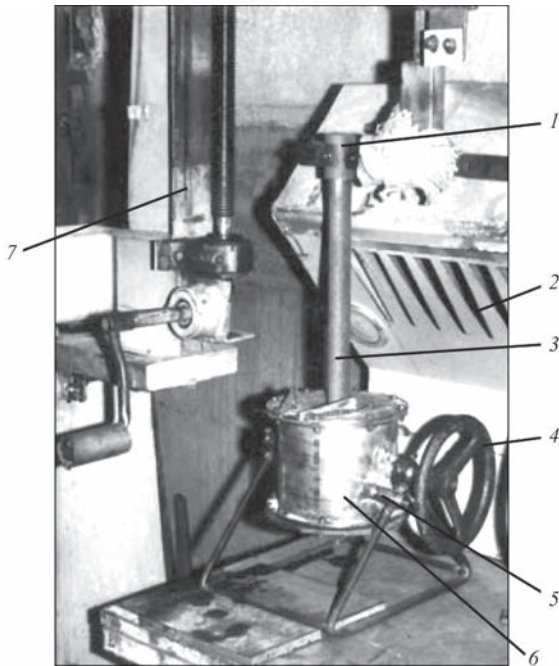


Рис. 4. Пристрій для розплавлення зварного флюсу: 1 – електродотримач; 2 – газовідсос; 3 – графітовий електрод; 4 – штурвал; 5 – стопор; 6 – футерований тигель; 7 – механізм переміщення електрода

зубчастих колес залежить від ряду технічних факторів: рівня механізації підготовчих та налагоджувальних операцій, типорозміру відновлюваних зубів, а також кількості одночасно наплавлюваних зубів та ін. При використанні багатоелектродних апаратів можна виконувати наплавку одночасно чотирьох і більше зубів.

Для реалізації технології відновлювального ремонту на базі серійного апарату А-535 УХЛ4 з джерелом живлення ТШС 1000-3 розроблена спеціалізована установка для ЕШН зубів косозубих великомодульних шестерень (рис. 5). При наявності зварювального апарату установку можна сформувати з комплектуючих механізмів і оснастки, що здебільшого є, або можна виготовити на кожному промисловому підприємстві.

Зубчасте колесо 1, підготовлене до відновлення, закріплюють на планшайбі зварного маніпулятора 2. На рейковій колоні 10 апарату встановлено механізм підвіски 9 кристалізатора 7, за допомогою якого останній має можливість переміщення до зони наплавки і притиснення до виробу з необхідним зусиллям. Водоохолоджуваний піддон 5 закріплено на пристрої 6, за допомогою якого здійснюється його переміщення і притиснення до нижнього торця кристалізатора і вхідної технологічної планки 4. З метою використання дротового апарату 13 для виконання ЕШН плавким мундштуком, передбачено спеціальний мундштук 14, функціями якого служать: надійне кріплення невитратної частини плавких мундштуків, подача електродного дроту, підведення зварного струму. Для додаткового освітлення зони наплавлення під час складальних операцій на пульті управління апарату встановлена лампа

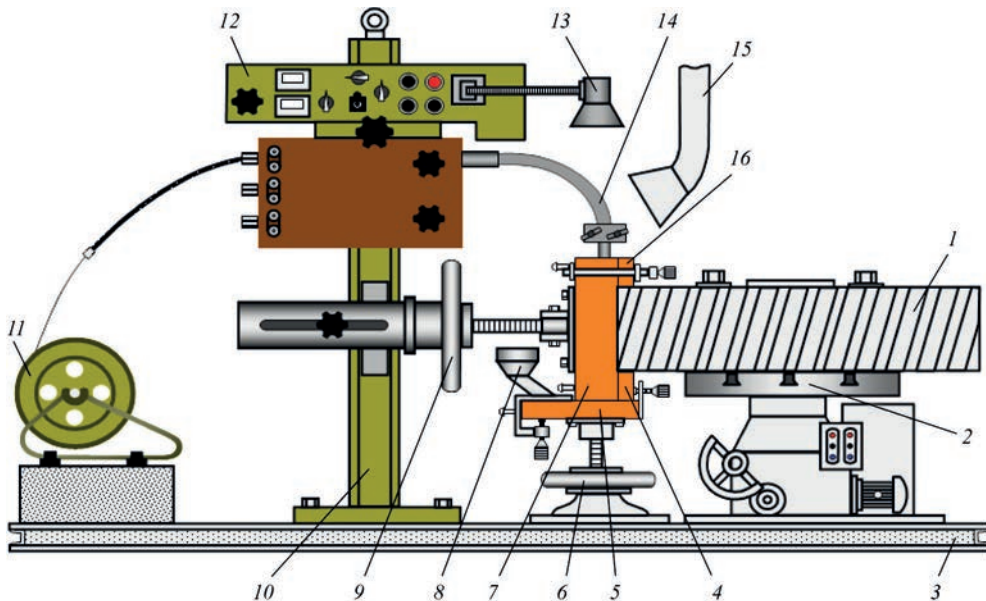


Рис. 5. Схема установки для відновлення зубів косозубих великомодульних шестерень електрошлаковим наплавленням: 1 – відновлювана шестерня; 2 – зварний маніпулятор М1; 3 – плитний настил; 4 – вхідна технологічна планка; 5 – піддон водоохолоджуваний; 6 – пристрій переміщення і фіксації піддону; 7 – кристалізатор; 8 – сифонна лійка; 9 – механізм підвіски та переміщення кристалізатора; 10 – рейкова колона; 11 – котушка з електродним дротом; 12 – апарат А-535; 13 – лампа освітлення зони наплавки; 14 – спеціальний мундштук; 15 – газовідсос; 16 – вихідна технологічна планка

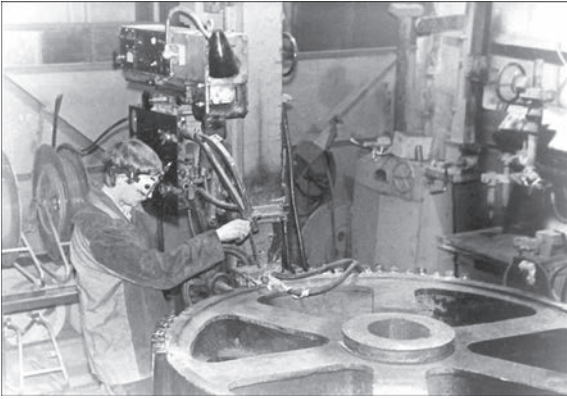


Рис. 6. Фрагмент ЕШН зубів ( $m = 18, z = 88, \beta = 15^\circ$ ) приводного колеса окорувального барабана

13. Для попереднього і супутнього підігріву відновлюваних шестерень змонтовані три повітряно-пропанових пальника.

Даний проект установки було використано при організації спеціалізованої дільниці відновлення зубів великомодульних шестерень та зубчатих колі окорувальних барабанів на одному з ремонтно-механічних заводів (ТПО «Братський ЛПК»)\*. Перед початком ремонтних робіт зношені зуби видалили механічним шляхом, залишивши частину незношених ніжок зубів, яким зробили вхідний (100%) ультразвуковий контроль якості металу. При цьому основна увага приділялася виявленню втомних тріщин [2, 10]. Після цього заготівку установили на зварний маніпулятор і, обертаючи планшайбу, виконали попередній підігрів її до  $180 - 250^\circ\text{C}$ , повітряно-пропановими пальниками. З метою зменшення залишкових деформацій наплавку зубів здійснювали врозкид, тобто в діаметрально розташованих секторах колеса (рис. 6).

Зменшення усадкової раковини і величини злиткового додатку наплавлення у вихідному кармані 16 (рис. 5) здійснювали методом підпитки [6]. Тривалість наплавки одного зуба складала  $22 \dots 24$  хв., а складально-підготовчих операцій між наплавками –  $15 \dots 25$  хв. В процесі виконання наплавки здійснювали супутній підігрів обода зубчастого колеса. По завершенні ЕШН усіх зубів шестерню піддали загальній термічній обробці по режиму – нормалізація плюс високий відпуск

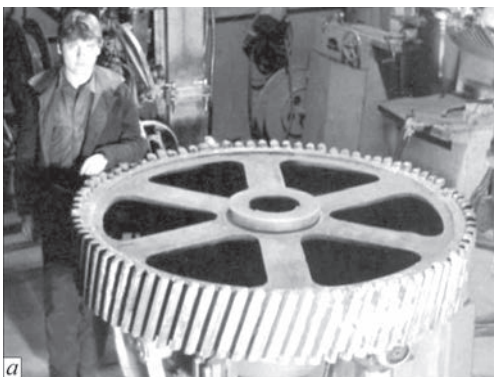


Рис. 8. Зовнішній вид відновленого зубчастого колеса після термічної обробки (а) і встановленого в привід обертання окорувального барабана (рис. 8, б) після механічної обробки наплавлених зубів (б)

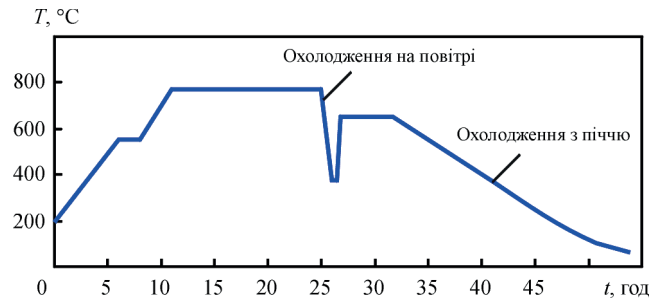


Рис. 7. Режим термічної обробки відновленого зубчастого колеса

(рис. 7). Термообробку здійснювали в електропечі з викотним подом. На рис. 8 показано зовнішній вид відновленого зубчастого колеса: після термічної обробки (а), встановленого в привід обертання окорувального барабана (б) після механічної обробки наплавлених зубів.

Перше відновлене зубчасте колесо було встановлено в розпилювально-окорувальному цеху ВАТ «Братськцелюлоза» в привід першої секції окорувального барабана № 3 (рис. 8, б) для експлуатації в безперервному режимі при робочому завантаженні барабана. Швидкість обертання барабана – 5 об/хв, відновленого зубчастого колеса – 22 об/хв. Аналіз трьохрічної експлуатації показав, що відновлене зубчасте колесо має хорошу плавність ходу і стійкість зубів в умовах знакозмінних та контактних навантажень, виникаючих при експлуатації барабана. Робоча поверхня наплавлених зубів гладка, без задирок. Руйнувань та місцевих відколів зубів не виявлено. Знос зубів на рівні твірної окружності не більше  $3 \dots 5$  мм. Замірами залишкових деформацій відновленої шестерні встановлено, що еліпсність по діаметру впадин не більше  $0,5 \dots 0,8$  мм, а конусність по твірній при зовнішньому діаметрі 1676 мм складає не більше  $2,4 \dots 2,6$  мм.

## Висновки

1. Розроблена високопродуктивна технологія, обладнання і спеціальна технологічна оснастка для відновлення зношених зубів великомодульних косозубих шестерень ЕШН.

2. Строк експлуатації відремонтованого зубчастого колеса перебільшує фактичний строк експлу-

атації нових зубчастих коліс до їх повного зносу, а також відновлених з використанням електродугових способів наплавки.

3. Організована дільниця володіє певною універсальністю, оскільки на ній можна виконувати інші ремонтні роботи, наприклад, електрошлакову наплавку тіл обертання, електрошлакове зварювання зруйнованих виробів товщиною 40...350 мм, електрошлаковий переплав відходів різального інструмента та ін.

4. Застосування розробленої технології дозволяє продовжити ресурс експлуатації великогабаритних дорогих зубчастих коліс і відповідно зменшити закупки цих виробів по імпорту.

\*В роботі приймали участь Г.М. Лапига, А.І. Мишенецький, В.Я. Цибуленко, В.Г. Тюкалов, А.П. Бордовський, А.М. Белєзов та ін.

### Список літератури

1. Пантелеєнко Ф.І., Лялякин В.П., Иванов В.П., Константинов В.М. (2003) *Восстановление деталей машин: Справочник*. Иванов В.П. (ред.). Москва, Машиностроение.
2. Сушук-Слюсаренко І.І., Лычко І.І., Козулин М.Г., Семенов В.М. (1989) *Электрошлаковая сварка и наплавка в ремонтных работах*. Киев, Наукова думка.
3. Патон Б.Е. (1980) *Электрошлаковая сварка и наплавка*. Москва, Машиностроение.
4. Зорин И.В., Соколов Г.Н., Цурихин С.Н. и др. (2005) Восстановление рабочих поверхностей деталей и инструмента сборочно-сварочной оснастки электрошлаковым способом композиционными жаропрочными материалами. *Сборка в машиностроении, приборостроении*, 5, 17–20.
5. www.voestalpine.com/welding.
6. Kozulin, S.M., Lychko, I.I., Podyma, G.S. (2008) Electroslag surfacing of rotating kiln gear shaft teeth. *The PatonWelding J.*, 5, 31–34.

7. Волюшко Ю.С. (2008) *Основы теории и проектирования зубчатых передач: учеб. пособие по дисциплине «Теория машин и механизмов»*. Владимир, Изд-во Владим. гос. ун-та.
8. Лычко И.И., Козулин С.М. (1988) *Электрошлаковая наплавка – эффективный способ восстановления крупномодульных шестерен*. Киев, Общество «Знание».
9. Kozulin, S.M., Sushchuk-Slyusarenko, I.I., Lychko, I.I. (2009) Effect of ESC parameters on quality of restored gear teeth. *The PatonWelding J.*, 9, 47–49.
10. Лычко И. И., Сушук-Слюсаренко И.И. (1987) Технологические особенности восстановления деталей машин и агрегатов электрошлаковой сваркой и наплавкой. *Автоматическая сварка*, 3, 56-57.

### References

1. Panteleenko, F.I., Lyalyakin, V.P., Ivanov, V.P., Konstantinov, V.M. (2003) *Restoration of machine parts*. In: *Refer. book*. Ed. by V.M. Konstantinov. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
2. Sushchuk-Slyusarenko, I.I., Lychko, I.I., Kozulin, M.G., Semenov, V.M. (1989) *Electroslag welding and surfacing in repair work*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
3. Paton, B.E. (1980) *Electroslag welding and surfacing*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
4. Zorin, I.V., Sokolov, G.N., Tsurikhin, S.N. et al. (2005) Restoration of working surfaces of parts and tool of assembly-welding fixture by electroslag method using composite heat-resistant materials. *Sborka v Mashinostroenii, Priborostroenii*, 5, 17–20 [in Russian]. www.voestalpine.com/welding.
5. www.voestalpine.com/welding.
6. Kozulin, S.M., Lychko, I.I., Podyma, G.S. (2008) Electroslag surfacing of rotating kiln gear shaft teeth. *The PatonWelding J.*, 5, 31–34.
7. Volyushko, Yu.S. (2008) *Fundamentals of theory and design of gears*. In: *Manual on Theory of Mashines and Mechanisms*. Vladimir, Izd-vo Vlad. Gos. Un-ta [in Russian].
8. Lychko, I.I., Kozulin, S.M. (1988) *Electroslag cladding as an effective method of restoration of large-module gears*. Kiev, Znanie [in Russian].
9. Kozulin, S.M., Sushchuk-Slyusarenko, I.I., Lychko, I.I. (2009) Effect of ESC parameters on quality of restored gear teeth. *The PatonWelding J.*, 9, 47–49.
10. Lychko, I.I., Sushchuk-Slyusarenko, I.I. (1987) Technological features of restoration of machine parts and units by electroslag welding and surfacing. *Avtomatich. Svarka*, 3, 56-57 [in Russian].

## RESTORATION OF WORN HELICAL COARSE PITCH GEARS BY ELECTROSLAG CLADDING

S.M. Kozulin<sup>1</sup>, I.I. Lychko<sup>1</sup>, S.S. Kovalchuk<sup>1</sup>, G.S. Podyma<sup>2</sup>, M.V. Lazarchuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150 Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

<sup>2</sup>NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», 6/2 Dashavska Str., 03506, Kyiv, Ukraine.

E-mail: meganom8@ukr.net

The paper presents the results of experimental studies performed with the aim of development of a high-efficient technology, equipment and special technological fixtures for restoration of worn teeth of coarse pitch helical gears by electroslag cladding (ESC). The main objectives of the work were development of the design and method of fabrication of a special water-cooled forming fixture, establishing ESC modes that guarantee fusion of the filler with the base metal, as well as sound formation of the working surfaces of clad teeth; adaptation of the assemblies of batch-produced machine A-535 UKhL4 with TShS 100-3 power source to perform consumable-nozzle ESC by 3 mm electrode wire, using AN-8 and AN-9U fused fluxes; restoration of a test-standard helical gear and assessment of its serviceability. The level of specific heat input that ensures sound teeth restoration was established; welding consumables were selected to ensure the required chemical composition and performance of the deposited metal. A special shop section was set up at repair-mechanical plant of TPA «Bratsk TIC» for restoration of the teeth of coarse pitch gears, where a gear was restored using ESC and sent for performance tests. Operation experience showed that the restored gear has good running smoothness and teeth resistance under the conditions of alternating and contact loads, arising at operation of the debarking drum. Teeth wear on the level of the generating circle is not more than 3 – 5 mm. 10 Ref, 1 Tabl., 8 Fig.

*Keywords:* restoration, helical gears, coarse pitch, wear, electroslag cladding, consumable nozzle, specific heat input, forming fixture, cladding machine, heat treatment, residual deformations, performance tests

Надійшла до редакції  
13.04.2021