

УДК 621.867.2

DOI: 10.15276/pidtt.1.69.2025.03

Лаврик В. П., Суглобов В. В., Шишкін В. В.

*Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет»*

## **ВІДНОВЛЕННЯ ОПОРНО ПОВОРОТНОГО КРУГА БУДІВЕЛЬНОГО БАШТОВОГО КРАНУ**

**Анотація.** Відомо, що у 45 % випадків причиною виходу з експлуатації баштових кранів є знос опорно-поворотного круга (ОПК). Встановлено, що знос і вихід з ладу ОПК обумовлений високими значеннями контактних напружень при взаємодії тіл та поверхні кочення. Це приводить до втрати працездатності баштового крана. Аналіз способів відновлення працездатності шляхом зміни конструктивних елементів ОПК не можна віднести до сучасної технології ремонту, оскільки це призводить до порушення взаємозамінності деталей та зниження жорсткості вузла. Показано, що високопродуктивний спосіб ремонту ОПК автоматичним наплавленням з нанесенням шарів градієнтної структури дозволяє відновити зношений вузол і знизити ймовірність появи тріщини.

**Ключові слова:** працездатність будівельного крану, відновлення працездатності, сучасні технології ремонту, автоматичне наплавлення, шари градієнтної структури

**Вступ.** Баштові крани призначені для механізації будівельно-монтажних робіт при зведенні високих будівель та споруд. Відповідальним вузлом баштових кранів є опорно-поворотний круг (ОПК), виконаний у вигляді великогабаритного (з діаметром 1900 мм і вище) упорно-радіального підшипника кочення. Конструкція дворядного круга включає верхню, нижню напівобійми та зубчастий вінець. Опорно-поворотний круг виготовляється зі сталі 55 з термічною обробкою доріжок кочення загартуванням струмом високої частоти на глибину 1,5-2 мм до твердості HRC 45-50. Зношування бігових доріжок у період експлуатації та внаслідок недотримання вимог нормативних документів призводить до появи в деталях ОПК цілого ряду дефектів. До основних дефектів відносяться:

- 1 – знос і руйнування сепараторів, що призводить до збігання тіл кочення, їх взаємного контакту та нерівномірного зносу поверхонь тіл кочення;
- 2 – піттинг, вм'ятини та лущення поверхонь доріжок кілець і тіл кочення, що призводить до заклинювання тіл кочення;

3 – пластини металу, що відшарувався, на поверхні доріжок кочення приводять до зміни осьового зазору;

4 – збільшений осьовий зазор в ОПК в результаті нерівномірного зносу поверхні кочення доріжок кілець.

5 – тріщини у металі кілець.

Підвищений осьовий зазор в ОПК призводить до нерівномірного по поверхні розподілу контактної напруги та появи перших ділянок руйнування за рахунок розкришування

Ділянки викришування поверхонь кочення є надалі осередками тріщин і руйнувань, що виникають. Зазначені дефекти призводять до порушення плавності роботи електродвигуна механізму повороту крана і виходу його з ладу, зростання динамічних навантажень і інтенсивного зношування деталей механізму повороту від заїдання, зниження безпеки та продуктивності роботи баштового крана в результаті розгойдування його конструкції.

Постановка проблеми.

Опорно-поворотний круг є металоємним, дорогим і відповідальним вузлом, а термін служби його не перевищує 5000 годин. Оскільки всі баштові крани оснащені ОПК, то питання відновлення його працездатності є актуальним науково-технічним завданням.

Фахівці ПКТІ «Київська Проектбудмеханізація» та Придніпровської державної академії будівництва та архітектури стверджують [1], що за результатами проведення технічної діагностики кранів у 45 % випадків причиною їх списання або проведення капітального ремонту є знос опорно поворотного круга. Частка витрат за його ремонт може становити до 30% вартості крана. Крім того, в процесі експлуатації величина зносу кульок і поверхонь кочення бігових доріжок кілець не може бути визначена прямим вимірюванням, а стан ОПК контролюється за величиною осьового зазору.

Мета. Метою даної роботи є розробка високопродуктивного способу ремонту ОПК автоматичним наплавленням з нанесенням шарів градієнтної структури, що дозволить відновити зношений вузол і знизити ймовірність появи тріщин на робочих поверхнях.

Методи дослідження.

У процесі проведення досліджень використовувалися такі методи: метод критичного аналізу (при виборі та аналізі літературних джерел, науково-технічної інформації), інструментальний метод та візуально-оптичний (при технічній діагностиці баштових кранів), метод металографічних досліджень (при дослідженні мікроструктури наплавленого металу).

### Аналіз публікацій по темі дослідження.

Для ремонту деталей опорно-поворотного круга, виготовленого з вуглецевої сталі марки Ст.40, відомі два способи. Перший спосіб [2] полягає в проточці роз'єму між верхнім і нижнім кільцем (рис.1 поз.1). З допомогою цього способу вдається забезпечити нормативне значення осьового зазору. Однак він не дозволяє усунути дефекти доріжок кочення, що з'явилися. Це призводить до подальшого розвитку дефектів та руйнування вузла. Другий спосіб передбачає усунення дефектів за допомогою механічної обробки поверхні кочення кілець (рис.1 поз. 2). Обидва способи припускають використання подальшої експлуатації наявних тіл кочення.

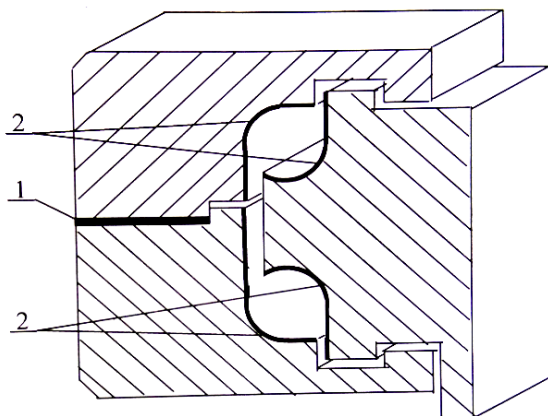


Рисунок 1 – Поперечний переріз ОПК із зазначенням місць механічної обробки деталей: 1– роз'єм кілець; 2 – доріжки кочення; — місце механічної обробки [2]

Інший спосіб ремонту [3] полягає в розточуванні поверхні кочення і видалення дефектних ділянок опорно-поворотного круга (рис. 2). Під отриманий розмір підбирають тіла кочення більшого розміру (кульки, ролики). Після розточування поверхні кочення здійснюється обкатка їх кулькою або роликом.

Зазначені способи мають ряд недоліків: знижується жорсткість опорно-поворотного круга і міцність вузлів, порушується взаємозамінність деталей і не вдається проточкою повністю усунути дефекти кілець, що йдуть вглиб.

Електродугове зносостійке наплавлення є високопродуктивним способом відновлення зношених деталей, цей спосіб дозволяє відновлювати і зміцнювати робочу поверхню, причому вартість відновлених деталей становить 30-50% від вартості нових деталей [2, 6, 7, 8]. Однак при цьому способі не забезпечується сприятливий термічний цикл, а в зоні сплавлення наплавленого шару з основним металом кільця можливі появи тріщини в зоні шва [8].

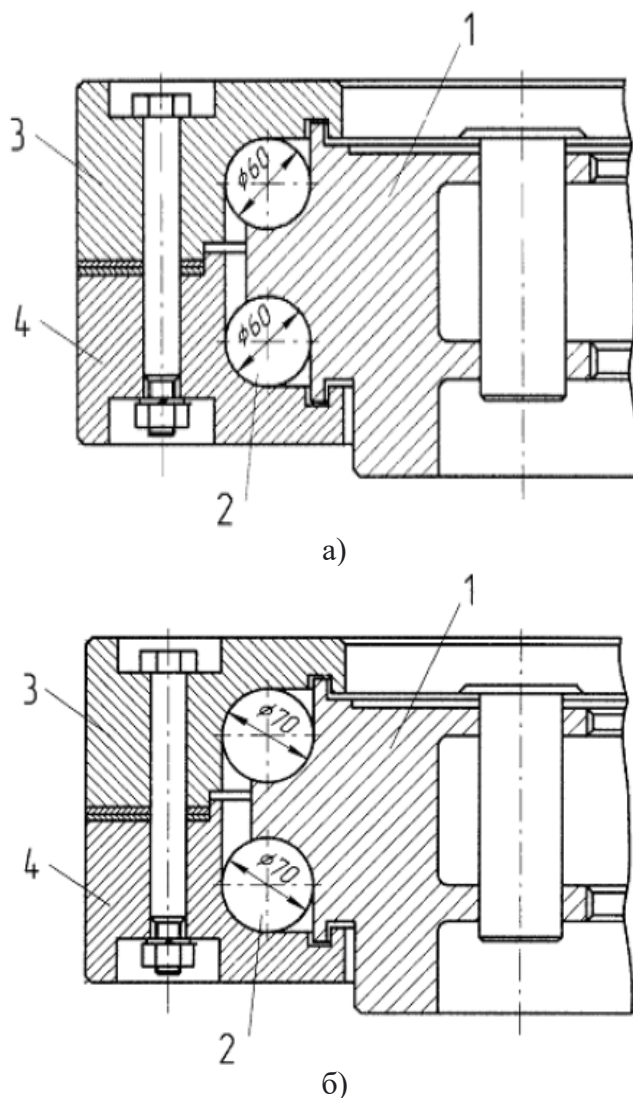


Рисунок 2 – Поперечний переріз ОПК до ремонту (а) та після ремонту (б) [2]

#### Виклад основного змісту дослідження.

Відновлення конструктивних параметрів деталей опорно-поворотного круга, (виготовлених зі сталі марки 55Л), способом автоматичного наплавлення проволокою СВ-18ХГС під флюсом АН-348А, на думку ряду авторів [2, 8] призводить до появи тріщини у зоні сплавлення наплавленого шару із основним металом. Цей дефект пояснюється несприятливим термічним циклом, підвищенням твердості та зниженням пластичності в наплавленому шарі через збільшення вмісту в ньому вуглецю та легуючих елементів. Перспективним напрямом відновлення та зміцнення деталей ОПК є застосування

автоматичного наплавлення шарами градієнтної структури з використанням попереднього рівномірного підігріву по колу.

Для реалізації поставленої мети, як базовий тип наплавленого металу, застосовується сталь Cr-Mo-V наплавлений метал, що отримується наплавленням дротом Св-08А під керамічним флюсом ЖСН-5. Використання керамічного флюсу в поєднанні з дротом різного складу дозволяє в певному ступені змінювати хімічний склад наплавленого металу. Регулювання складу Cr-Mo-V наплавленого металу шляхом зміни поєднання «флюс ЖСН-5 - дріт» обмежено вузькою номенклатурою низьковуглецевих і низьколегованих зварювальних і наплавочних дротів, що серійно випускаються. Особливо слід зазначити, що при цьому можна лише в певних межах змінювати вміст вуглецю і незначно збільшувати вміст хрому, марганцю, кремнію. Розширити цю можливість дозволяє або розробка нових керамічних флюсів, або, що економічно більш ефективно, використання сумішей флюсів - плавленого висококремнистого марганцевого АН-348А або АН-60 і керамічного ЖСН-5 [9]. В роботі досліджено властивості Cr-Mo-V сталей, отриманих наплавленням дротом Св-08А під сумішами флюсів АН-348А + ЖСН-5 при вмісті керамічного флюсу в суміші 40,60,80 та 100% (відповідно 12Х2МФ, 15Х3ГМФ, 15Х3ГМФ, 15Х3ГМФ). Хімічний склад досліджених сталей наведено у табл. 1, а твердість наплавленого шару показана на рис.3.

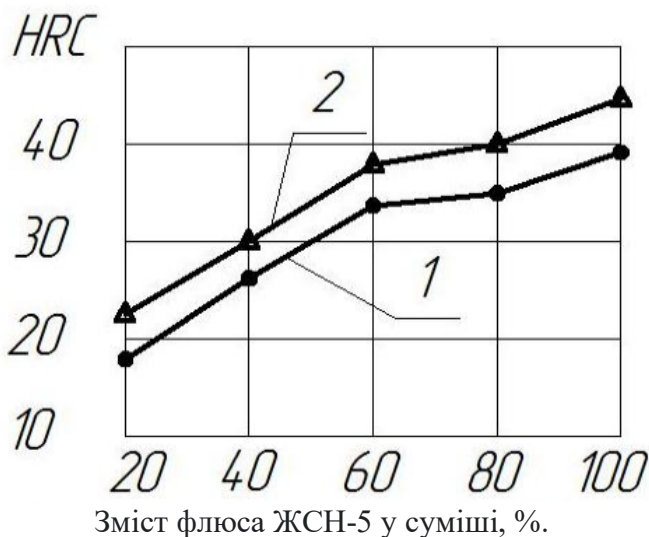


Рисунок 3 – Залежність твердості наплавленого шару від складу суміші флюсу: 1 – у першому шарі; 2 – у другому шарі

Отримані дані показали, що використання суміші флюсів з різним співвідношенням складових дозволяє регулювати хімічний склад наплавленого металу і його твердість в широких межах.

Таблиця 1 – Хімічний склад наплавленого металу

| Сталь    | Вміст, % |      |     |     |     |     |
|----------|----------|------|-----|-----|-----|-----|
|          | C        | Cr   | Mn  | Si  | V   | Mo  |
| 12X2МФ   | 0,12     | 2,14 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,5 |
| 15X3ГМФС | 0,14     | 3,2  | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 0,6 |
| 16X4ГМФС | 0,16     | 4,4  | 0,6 | 0,4 | 0,4 | 0,8 |
| 18X6ГМФС | 0,18     | 6,2  | 0,8 | 0,5 | 0,4 | 0,9 |

На рисунку 4 представлена схема послідовного нанесення наплавлених шарів на доріжки кочення верхньої напівобойми ОПК. Як перший шар при наплавленні зношеної поверхні кілець ОПК обраний склад 12X2МФ, що має мінімальну твердість і більш високу пластичність. Потім наплавляється шар складу 15X3ГМФС та зовнішній робочий шар складу 16X4ГМФС.

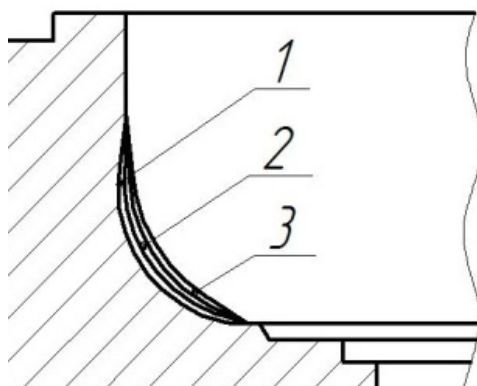


Рисунок 4 – Схема розташування наплавлених шарів змінної твердості:  
1 – 12X2МФ, 2 – 15X3ГМФС, 3 – 16X4ГМФС

Металографічними дослідженнями, виконаними на зразках наплавленого металу досліджених складів з використанням оптичного мікроскопа Неофот-21, встановлено, що мікроструктура наплавленого металу всіх трьох складів являє собою дисперсну ферито-карбідну суміш (рис. 5). Однак, за даними рентгено-структурного аналізу, виконаного на дифрактометрі ДРОН-3.0 в залізному К $\alpha$ -випромінюванні, тип карбідів і характер їх розподілу в залежності від вмісту вуглецю і легуючих елементів може істотно змінюватися.

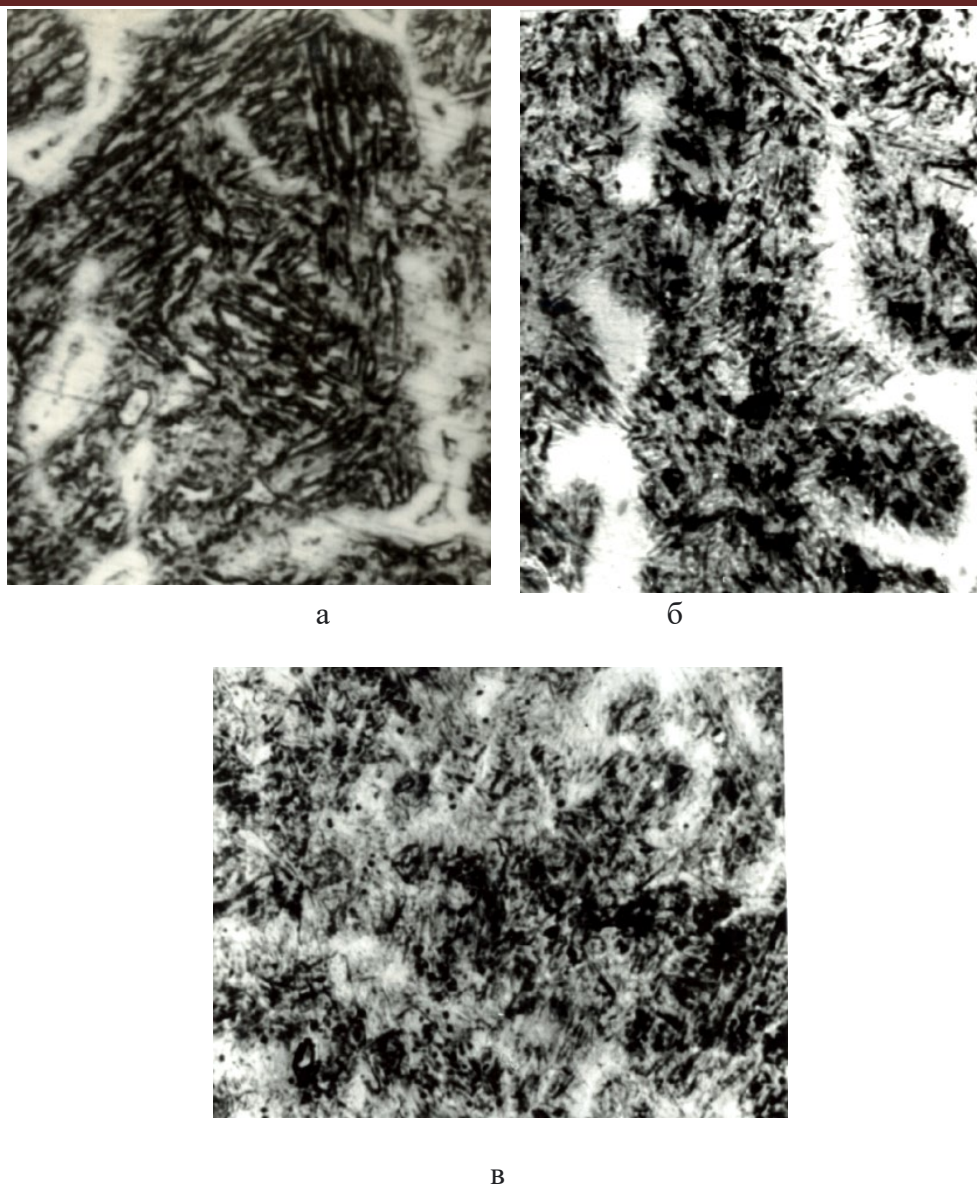


Рисунок 5 – Мікроструктура наплавленого металу:  
а – 12Х2МФ; б – 15Х3ГМФС; в – 16Х4ГМФС; х 1000

У низьковуглецевому наплавленому металі 12Х2МФ у процесі наплавлення формується крупнозерниста ферито-карбідна структура (рис. 5, а) з невисокою твердістю (рис. 3). Карбідна фаза представлена тут переважно великими пластинами  $\text{Fe}_3\text{C}$  (псевдо-перліт) та одиничними округлими частинками  $(\text{Fe}, \text{Cr})_{23}\text{C}_6$ . За даними рентгено-структурного аналізу молібден і ванадій практично повністю розчиняються у твердому розчині та не утворюють дисперсних тугоплавких карбідів. Завдяки значній частці фериту в структурі

наплавленого металу 12Х2МФ (близько 20%), він має високу пластичність. З підвищенням вмісту вуглецю та карбідоутворюючих елементів у наплавленому металі частка структурно-вільного графіту зменшується (у металі 16Х4ГМФС - порядку 3-5 %), а дисперсність карбідних частинок збільшується (рис. 5 б, в). Причому, в металі 16Х4ГМФС карбідна фаза представлена як відносно великими первинними карбідами  $\text{Me}_3\text{C}$  і  $\text{Me}_{23}\text{C}_6$  пластинчастою або глобулярною форми, так і більш дисперсними вторинними карбідами  $\text{Me}_{23}\text{C}_6$ , що виділилися з пересиченого твердого розчину в результаті дисперсій. Наявність дисперсної карбідної фази у структурі наплавленого металу 16Х4ГМФС призводить до підвищення твердості (рис. 3) без зниження пластичності.

Таким чином дослідженнями встановлено ефективність застосування наплавлених шарів градієнтної структури при відновленні деталей опорно-поворотного круга баштового крана.

#### Висновки

1. Технічна діагностика баштових кранів свідчить, що майже половина випадків їх відмов в процесі експлуатації пов'язано із зносом опорно-поворотного круга.

2. Встановлено, що знос і вихід з ладу ОПК обумовлений високими значеннями контактних напружень при взаємодії тіл та поверхні кочення, появі ряду дефектів, що приводить до втрати працездатності баштового крана.

3. Аналіз способів відновлення працездатності шляхом зміни конструктивних елементів ОПК не можна віднести до сучасної технології ремонту, оскільки це викликає порушення взаємозамінності деталей при ремонті та зниження жорсткості вузла.

4. Запропоновано високопродуктивний спосіб ремонту ОПК автоматичним наплавленням з нанесенням шарів градієнтної структури, що дозволяє відновити зношений вузол і запобігти появі тріщини.

#### Список використаних джерел

1. Дунас С. В. Кранопад и лифты-убийцы: кто виноват? Некачественная экспертиза и диагностика - одна из главных причин аварий подъемных сооружений // Подъемные сооружения и специальная техника. - Одесса 2014.- №5-6 (146). - С. 12-14.

2. Киселев М.М. Эксплуатация и ремонт опорно-поворотных устройств башенных кранов. Обзор. // М.М. Киселев, В.Г. Вердников.- М.: ВНИИИС, 1985. -77 с.

3. Пат. 18311 Украина, МПК В66С 23/84 (2006.01) Спосіб ремонту опорно-поворотних кругів баштових кранів //Заяц Г. В., Волчок Л. М., Руднев И. Ю., Револук А. В. / Власник Придніпровська державна

академія будівництва та архітектури. - № и2006 03314: заявл. 27.03.06. опубл. 15.11.2006. Бюл. 11.

4. Колесник Н.П. Восстановление ресурса строительных кранов // Н.П. Колесник, С.И. Козарь, Е.В. Москвяк, А.Ф. Шевченко. - К.: Будівельник, 1989. -1 28 с.

5. Казанский А. М. Восстановление изношенных ОПК башенных кранов // А.М. Казанский, В.П. Кремень, А.И. Цурилин //Механизация строительства. - 1974. - №9. – С. 17-19.

6. Вердников В.Г., Киселев М.М., Ивинский В.И. Повышение наплавкой сроков службы деталей опорно-поворотных кругов строительных башенных кранов //Сварочное производство. -1973. - №5. - С. 47-48.

7. Вердников В.Г., Киселев М.М. Об износостойкости наплавленных опорно-поворотных кругов башенных кранов //Сварочное производство. – 1977 - №4 - С. 22-24.

8. Заяц Г.В. Опыт ремонта опорно-поворотных кругов башенных кранов //Подъемные сооружения. Специальная техника. - 2008. - №1. - С. 14.

9. Лаврик В.П., Лещинский Л.К., Бордюгов В.Н. Повышение работоспособности деталей металлургического оборудования наплавкой двумя ленточными электродами. //Достижения и перспективы развития сварочного производства. - М.: МДНТП, 1988 г. - С. 79-82.

## RESTORATION OF BUFFALO TOWER CRANE SUPPORT ROTARY WHEEL

Lavrik V. P., Suglobov V. V., Shishkin V. V.

State higher educational institution "Priazov State Technical University"

**Abstract.** *It is known that in 45% of cases the reason for decommissioning of tower cranes is the wear of the slewing ring. It was established that the wear and failure of the OPC is due to high values of contact stresses during the interaction of the bodies and the rolling surface. This leads to the loss of operability of the tower crane. The analysis of ways to restore performance by changing the structural elements of military equipment cannot be attributed to modern repair technology, as this leads to a violation of the interchangeability of parts and a decrease in the stiffness of the unit. It is shown that the high-performance method of repairing the OPK by automatic surfacing with the application of layers of a gradient structure allows to restore the worn node and reduce the probability of the appearance of a crack.*

*The use of ceramic flux in combination with wire of different composition allows changing the chemical composition of the deposited metal to a certain extent. Adjusting the composition of the deposited metal by changing the "flux - wire" combination is limited to a narrow range of low-carbon and low-alloy welding and surfacing wires that are produced in series. At the same time, it is possible to change the carbon content and slightly increase the content of chromium, manganese, and silicon only within certain limits. Expanding this possibility allows either the development of new ceramic fluxes, or, which is more economically efficient, the use of mixtures of fluxes - fused, siliceous, manganese and ceramic.*

*The obtained data showed that the use of a mixture of fluxes with different ratios allows to regulate the chemical composition of the deposited metal and its hardness within wide limits.*

**Key words:** *performance of a construction crane, restoration of performance, modern repair technologies, automatic surfacing, layers of a gradient structure*