

## РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ НАПЛАВЛЕННЯ РОБОЧОГО ШАРУ ЗМІННОГО СКЛАДУ НА ОБТИСКНІ ПРОКАТНІ ВАЛКИ

Л.К. Лещинський, В.П. Іванов, В.М. Матвієнко, К.К. Степнов, Є.І. Воз'янов

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» МОН України. 87555, м. Маріуполь, вул. Університетська, 7.  
E-mail: [ivanov\\_v\\_p@pstu.edu](mailto:ivanov_v_p@pstu.edu)

Показано, що розробка технології наплавлення на обтискні валки робочого шару змінного по довжині бочки складу і механічних властивостей дозволяє звести до мінімуму нерівномірність зносу, особливо на ділянці з його найбільшою глибиною. Застосування цієї технології передбачає використання системи управління, що забезпечує роздільне регулювання приводом подачі кожного з електродів. Показано, що при напавленні обтискних валків шаром змінного складу системи легування С–Cr–Mo–V зміст елементів доцільно обмежити межами 15Х3ГСМФ – 24Х4МФБС. Показано, що реалізація технології наплавлення робочого шару змінного складу на обтискні валки здійснюється шляхом подачі в загальну зварювальну ванну двох стрічкових електродів ЛН-15Х3ГСМФ та ЛН-24Х4МФБС. Встановлено, що для отримання необхідного закону зміни складу шару по довжині бочки співвідношення швидкостей подачі стрічкових електродів змінюють відповідно до показника вуглецевого еквівалента металу стрічкових електродів. Показано, що при експлуатації горизонтальних валків стану слябінг, напавлених шаром змінного складу, знижується нерівномірність зносу бочки, а також підвищується напрацювання валків на 1 мм зносу робочого шару. Бібліогр. 9, табл. 3, рис. 2.

*Ключові слова:* напавлення, робочий шар, змінний хімічний склад, вуглецевий еквівалент, стрічкові електроди, обтискний прокатний валок, нерівномірний знос, закон змінення твердості

Удосконалення технології наплавлення обтискних прокатних валків викликано необхідністю зниження інтенсивності і нерівномірності зносу робочого шару, підвищення його стійкості до зношування і циклічних теплових змін [1, 2]. Глибина зносу нерівномірна по довжині бочки горизонтального валка слябінга [3] і зростає з віддаленням від краю бочки, досягаючи максимальної величини в зоні розташування кромки сляба (30...450 мм від його країв), після чого дещо знижується (рис. 1). Нерівномірний знос призводить до зміни форми і розмірів сляба, в зв'язку з чим потрібні часті перевалки і переточки валків. Звести до мінімуму нерівномірність зносу бочки дозволяє застосування технології електродугового наплавлення шару змінного хімічного складу [4]. Це здійснюється шляхом подачі з програмованої швидкістю в загальну зварювальну ванну двох електродів, які відрізняються вмістом легуючих елементів, що оцінюється показниками вуглецевого еквіваленту та твердості. Тим самим забезпечується залежність зміни складу напавленого металу і його властивостей відповідно до профілю зносу валка.

Зміна вмісту легуючих елементів в напавленому робочому шарі, його механічних і експлуатаційних властивостей не тільки зводить до мінімуму нерівномірність зносу, але також супроводжується формуванням на поверхні бочки ділянок, що відрізняються за складом і твердістю від навко-

лишнього металу. Це дозволяє поліпшити умови захоплення заготовки валками. Технологія наплавлення обтискних валків шаром змінного хімічного складу, що якнайповніше відповідає цим вимогам, передбачає створення системи управління [4], яка забезпечує роздільне управління приводами подачі електродів, а отже, необхідне змінення складу та твердості напавленого шару. Система забезпечує також відпрацювання траєкторії переміщення напавочного апарату щодо поверхні валка.

Виходячи з умов експлуатації, робочий шар обтискних валків зі сталі типу 60ХН характеризується твердістю  $HV\ 270\ \dots\ 290$ , міцністю  $\sigma_{0,2} = 520\ \dots\ 540$  МПа, пластичністю  $\psi = 30\ \dots\ 35\ \%$ , ударною в'язкістю  $0,20\ \dots\ 0,25$  МПа [5]. Більш високі вимоги до властивостей напавленого шару передбачають поєднання оптимальних значень твердості ( $HV \leq 400$ ), технологічної міцності

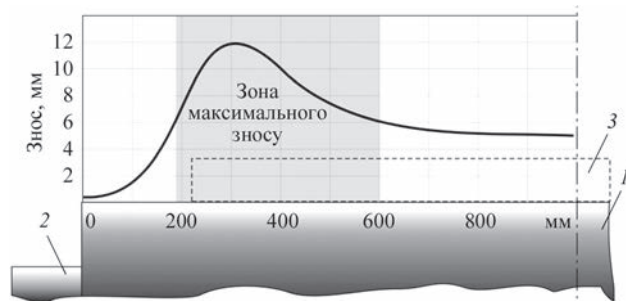


Рис. 1. Характер зносу горизонтального валка слябінга: 1 – бочка валка; 2 – шийка; 3 – сляб

Лещинський Л.К. – <https://orcid.org/0000-0002-7473-7510>, Іванов В.П. – <https://orcid.org/0000-0003-3339-7633>, Матвієнко В.М. – <https://orcid.org/0000-0002-8713-1630>, Воз'янов Є.І. – <http://orcid.org/0000-0002-2034-1270>  
© Л.К. Лещинський, В.П. Іванов, В.М. Матвієнко, К.К. Степнов, Є.І. Воз'янов, 2021

( $A_{кр} \geq 10 \dots 12$  мм/хв), пластичності ( $\psi \geq 40 \dots 45$  %), динамічної тріщиностійкості (ударної в'язкості  $KC \geq 0, 30 \dots 0,33$  МДж/м<sup>2</sup> і коефіцієнта інтенсивності напружень  $K_{ID} \geq 26,0 \dots 28,0$  МПа·м<sup>1/2</sup>). Цими властивостями характеризуються сталі 15X3M1Ф, 20X2M2ФН, 25X5ФМС, які наплавлені відповідними електродними матеріалами [6]. Разом з тим, при отриманні шару змінного хімічного складу з безперервним змінням вмісту легуючих елементів доцільно використовувати наплавні матеріали системи легування С–Cr–Mo–V, обмеживши вміст хрому (2,5...5,0 %), вуглецю (0,15...0,25 %), молібдену (0,6...1,3 %), ванадію (0,15...0,40 %), ніобію (0,15...0,25 %). В роботі [7] в якості нижньої межі даної області пропонується склад 16X4ГМФС (еквівалент вуглецю  $C_e = 1,273^*$ , твердість  $HV$  345). Разом з тим, верхньою межею є склад 25X5ФМС ( $C_e = 1,707$ ;  $HV$  420), який характеризується високим опором зносу в поєднанні з достатньою пластичністю.

Однак, з огляду на змінні термосилові навантаження високої інтенсивності, що впливають на обтискний валок, для наплавлення робочого шару доцільно використовувати матеріали з більш високою пластичністю і тріщиностійкістю. Тому для нижньої межі області легування обрано наплавлений метал 15X3ГМФС ( $C_e = 1,066$ , твердість  $HV$  305). У той же час для верхньої межі використовується наплавлений метал 24X4МФБС ( $C_e = 1,45$ ,  $HV$  400), в якому в порівнянні з наплавним металом 25X5ФМС зменшений вміст хрому і вуглецю, а також введений ніобій. При цьому зміна вуглецевого еквівалента  $C_e$  в межах 1,07...1,45 супроводжується зростанням твердості металу  $HV$  від 305 до 400, але в меншій мірі – зниженням ударної в'язкості (табл. 1). Останнє пояснюється присутністю в структурі пакетного мартенситу, що впливає на енергоємний механізм руйнування – транскристалітний скол і мікров'язке ямкове.

У сталі 15X3ГМФС, що містить (мас. %) 0,15 С; 3,2 Cr; 0,3 Мо; 0,08 V; 1,2 Mn; 0,5 Si ( $C_e = 1,066$ ), після наплавлення та термоциклічної відпустки утворюється феритно-цементитна структура, в якій ~ 10 % вільного фериту, а карбідна фаза представлена великими пластинами цементиту [7]. Така структура відрізняється низькою твердістю  $HV$  305 ( $HSD$  46), високою пластичністю, ударною в'язкістю та стійкістю до розтріскування при циклічних теплозмінах (див. табл. 1). Механізм руйнування такої структури – в основному мікров'язкий ямковий. Разом з тим, у зв'язку з обмеженим опором зносу тертям при підвищеній температурі, склад 15X3ГМФС доцільно використовувати для наплавлення краю бочки (рис. 2). У міру віддалення від краю змінюють склад і твердість наплавленого шару за законом, поданим на рис. 2, таким чином, щоб максимальне значення еквівалента вуглецю і твердості металу досягти на ділянці найбільш інтенсивного зносу. Ця ділянка на бочці валка знаходиться в зоні розташування кромки сляба (для горизонтального валка слябінга ~ 400 мм від країв бочки) (рис. 2). Такому значенню  $C_e$  відповідає склад 24X4МФБС, що містить (мас. %) 0,24 С; 4,2 Cr; 0,8 Мо; 0,40 V; 0,25 Nb; 0,8 Mn; 0,5 Si, який забезпечує твердість  $HV$  400 ( $HSD$  57) і високий опір зношуванню. Ці характеристики зберігають незмінними на ділянці бочки (рис. 2), після чого, зменшуючи вміст вуглецю до 0,20 %, забезпечують зміну складу наплавленого шару (20X4ГФМБ). При цьому  $C_e$  знижується до 1,297, а твердість металу – до  $HV$  365 ( $HSD$  53), в його структурі мартенситна матриця з відносно великими первинними і дисперсними вторинними карбідами хрому, ніобію і ванадію.

Відповідно до розроблених матеріалів, на металургійному комбінаті «ММК ім. Ілліча» освоєно промислове виробництво холоднокатаної легуваної стрічки товщиною 1,0<sup>-0.2</sup> мм і шириною 30 мм і отримання стрічкових електродів для наплавлення прокатних валків [8, 9]. При зміцненні горизонтального валка слябінга наплавлення шару змінного хімічного складу забезпечується подачею в загальну зварювальну ванну з регульованою швидкістю двох стрічкових електродів

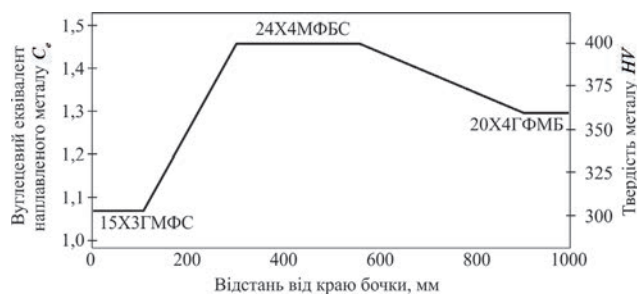


Рис. 2. Зміна вуглецевого еквівалента  $C_e$  і твердості наплавленого металу

Таблиця 1. Експлуатаційні властивості наплавленого металу

Склад металу	$A_{кр}$ , мм/мин	$KC^*$ , МДж/м <sup>2</sup>	$K_{ID}$ , МПа·м <sup>1/2</sup>	Число циклів нагрів-охолодження до появи тріщини	Відносна зносостійкість при 600 °С
15X3ГМФС	11,9	0,46	29,5	1930	1,0
20X4ГФМБ	11,3	0,40	28,6	1800	1,3
24X4МФБС	11,0	0,37	28,5	1670	1,5

\*Випробування для визначення  $KC$  і  $K_{ID}$  проводилися при 20 °С.

\* Розрахунок значень еквівалента вуглецю  $C_e$  здійснювався за запропонованою Міжнародним інститутом зварювання залежністю.

**Таблиця 2.** Вплив співвідношення швидкостей подачі стрічкових електродів ЛН-15Х3ГМФС та ЛН-24Х4МФБС на показник  $C_e$  і властивості металу

Співвідношення швидкостей	$C_e$	HV (HSD)	$\psi$ , %	$\sigma_{0,2}$ , МПа
100/0	1,066	305 (46)	57,0	680
40/60	1,297	365 (53)	53,0	740
0/100	1,453	400 (57)	48,0	780

**Таблиця 3.** Результати експлуатації наплавлених обтискових валків

Горизонтальні валки стану слябінг 1150	Обсяг прокатаного металу, тис. т	Напрацювання на 1 мм зносу, т/мм
Валки зі сталі 60ХН	825,0	22,0
Валки, наплавлені шаром постійного складу	927,0	38,4
Валки, наплавлені шаром змінного складу	1050,0	43,5

ЛН-15Х3ГМФС і ЛН-24Х4МФБС. Співвідношення масової швидкості їх подачі (при постійній сумарній швидкості) вибирається, виходячи з показника вуглецевого еквівалента таким чином, щоб отримати на краю бочки склад з мінімальним значенням  $C_e$  (чому відповідає сталь 15Х3ГМФС). Далі, змінюючи співвідношення швидкостей подачі, забезпечують збільшення  $C_e$  до його максимального значення (чому відповідає сталь 24Х4МФБС). Режим наплавлення двома стрічковими електродами загальним перетином 60 мм<sup>2</sup>: струм постійний зворотньої полярності  $I_{\text{н}} = 700...740$  А,  $U = 34...36$  В,  $v_{\text{н}} = 10,5$  м/год; сумарна об'ємна швидкість подачі двох стрічок 0,9 см<sup>3</sup>/с.

Промислова експлуатація наплавлених горизонтальних валків слябінгу 1150 з робочим шаром змінного хімічного складу показала, що зменшилася нерівномірність зносу бочки, а також підвищилося напрацювання на 1 мм зносу робочого шару (табл. 3).

Таким чином, застосування технології наплавлення робочого шару змінного хімічного складу і твердості для зміцнення горизонтальних валків слябінгу забезпечує стабілізацію вихідного профілювання за рахунок більш рівномірного зносу бочки. Це покращує геометрію слябів, що дозволяє при подальшій прокатці на широкосмуговому стані знизити витрату металу, пов'язану з припуском на ширину смуги.

**Висновки**

При виконанні досліджень встановлено:

1. Розробку технології наплавлення прокатних валків шарами змінного складу при заданій системі легування доцільно здійснювати, вибираючи співвідношення швидкостей подачі стрічкових електродів з найменшим і найбільшим показни-

ком вуглецевого еквівалента, що визначає властивості наплавленого металу.

2. Застосування технології наплавлення горизонтальних валків слябінга робочим шаром змінного хімічного складу і властивостей призводить не тільки до усунення нерівномірного зносу, але також до підвищення напрацювання валків на 1 мм зносу робочого шару.

**Список літератури**

1. Рябцев И.А., Кондратьев И.А., Васильев В.Г. и др. (2010) Исследование структуры и эксплуатационных свойств наплавленного металла для восстановления и упрочнения прокатных валков. *Автоматическая сварка*, 7, 14–18.
2. Рябцев И.А., Бабинцев А.А., Гордань Г.Н., Рябцев И.И. и др. (2013) Структура многослойных образцов, имитирующих наплавленные инструменты для горячего деформирования металлов. *Там же*, 9, 43–47.
3. Матвиенков С.А., Шебаниц Э.Н., Мурашкин А.В. и др. (2012) Наплавка рабочих и опорных валков с применением керамического флюса И-КФ-45-65 на ММК им. Ильича. *Металл и литье Украины*, 2-3, 50–54.
4. Иванов В.П., Лещинский Л.К., Щербakov С.В. (2019) Моделирование технологии наплавки износостойкого слоя переменного химического состава. *Автоматическая сварка*, 11, 40–45.
5. Corbett, R. (1990) *Rolls for Metalworking Industries*. Warrendale, Iron & Steel Society.
6. Рябцев И.А., Сенченков И.К. (2013) *Теория и практика наплавочных работ*. Киев, Экотехнология.
7. Самогугин С.С., Лаврик В.П., Лещинский Л.К., Соляник Н.Х. (2001) Плазменная обработка экономнолегированного теплостойкого наплавленного металла. *Проблемы спецелектрометаллургии*, 2, 26–31.
8. Лещинский Л.К., Иванов В.П., Маслов А.А., Краева Л.В. и др. (1997) *Электродная лента для наплавки*. Пат. RU 2087589, C23C 30/00, B23K 020/227.
9. Бойко В.С., Степнов К.К., Шебаниц Е.М. та ін. (2003) *Електродна стрічка для наплавлення*. Пат. UA 62591, B23K 35/00.

**References**

1. Ryabtsev, I.A., Kondratiev, I.A., Vasiliev, V.G. et al. (2010) Investigation of structure and service properties of deposited metal for reconditioning and strengthening of rolling mill rolls. *The Paton Welding J.*, 7, 12-15.
2. Ryabtsev, I.A., Babinets, A.A., Gordan, G.N. et al. (2013) Structure of multilayer samples, simulating surfaced tools for hot deforming of metals. *Ibid.*, 9, 41-45.
3. Matvienkov, S.A., Shebanits, E.N., Murashkin, A.V. et al. (2012) Surfacing of working and backup rolls using the ceramic flux I-KF-45-65 at MMK im. Ilyicha. *Metall i Litio Ukrainy*, 2, 50–54 [in Russian].
4. Ivanov, V.P., Leshchynskiy, L.K., Shcherbakov, S.V. (2019) Modeling the technology of deposition of a layer of variable chemical composition. *The Paton Welding J.*, 11, 33-37.
5. Corbett, R. (1990) *Rolls for Metalworking Industries*. Warrendale, Iron & Steel Society.
6. Ryabtsev, I.A., Senchenkov, I.K. (2013) *Theory and practice of surfacing works*. Kiev, Ekotekhnologiya [in Russian].
7. Samotugin, S.S., Lavrik, V.P., Leshchinskyi, L.K., Solyanik, N.H. (2001) Plasma treatment of sparcely-alloed heat-resistant deposited metal. *Problemy Spets. Elektrometallurgii*, 2, 26–31 [in Russian]. Strip
8. Leshchinskyi, L.K., Ivanov, V.P., Maslov, A.A. at al. (1997) *Electrode strip for surfacing*. Patent 2087589 RU, Int. Cl. B23K020/227 [in Russian].
9. Boiko, V.S., Stepnov, K.K., Shebanits, E.M. et al. (2003) *Electrode strip for surfacing*. Patent 62591 UA, Int. Cl. B23K 35/00 [in Ukrainian].

## DEVELOPMENT OF SURFACING TECHNOLOGY FOR THE WORKING LAYER OF VARIABLE COMPOSITION ON THE BLOOMING ROLLS

L.K. Leshchinskiy, V.P. Ivanov, V.M. Matviyenko, K.K. Stepnov, E.I. Vozyanov

State Higher Education Institute «Pryazovskyi State Technical University», 7 Universitetskaya Str., 87555, Mariupol, Ukraine.

E-mail: ivanov\_v\_p@pstu.edu

It is shown that development of the technology of surfacing of crimping rolls with a working layer of variable composition and mechanical properties along the barrel length makes it possible to minimize the unevenness of wear, especially in the area with its greatest depth. Application of this technology involves the use of a control system that provides separate control of the feed drive for each of the electrodes. It is shown that when surfacing the crimping rolls with a layer of variable composition of C-Cr-Mo-V alloying system, it is advisable to limit the content of elements within the range of 15Kh3GSMF – 24Kh4MFBS. It is demonstrated that the technology of surfacing of crimping rolls with a working layer of variable composition is realized by feeding two strip electrodes LN-15Kh3GSMF and LN-24Kh4MFBS into the common weld pool. It was found that to obtain the required law of the change of the layer composition along the barrel length, the ratio of feed rates of the strip electrodes is changed in accordance with the carbon equivalent index of the metal of strip electrodes. It is shown that during operation of horizontal rolls of the slabbing mill, surfaced with a layer of variable composition, the unevenness of barrel wear decreases, and the rolls operating time per 1 mm of wear of the working layer also increases. 9 Ref., 3 Tabl., 2 Fig.

*Keywords: surfacing, working layer, variable chemical composition, carbon equivalent, strip electrodes, crimping roll, uneven wear, law of hardness change*

Надійшла до редакції 01.07.2021

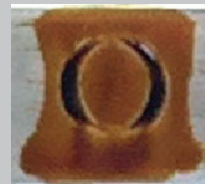
### КОМПОЗИЦІЇ НА ОСНОВІ МАГНІТНИХ НАНОЧАСТИНОК ДЛЯ НЕРУЙНІВНОЇ МАГНІТНОЇ ДЕФЕКТОСКОПІЇ

**Призначення:** проведення неруйнівної дефектоскопії виробів з магнітних матеріалів із використанням композицій на основі магнітних наночастинок, а також одержання стійкого зображення дефекту завдяки створенню репліки при затвердінні композиції.

**Область застосування:** дефектоскопія виробів з магнітних матеріалів – сталі, заліза, чавуну.

**Основні технічні характеристики та переваги:**

Розмір дефектів, які можна виявити	1,2 мкм і більше
Виявлення скритих дефектів, що не виходять на поверхню	до 3 мм під поверхню
Висока контрастність зображення дефекту	Так
Можливість фіксації зображення дефекту при затвердінні репліки	Так
Низька вартість композиції	Так
Відсутність потреби в спеціальному обладнанні	Так



Інститут фізичної хімії  
ім. Л.В. Писаржевського НАН України

### ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ НАЯВНОСТІ ТРІЩИН В НАРІЗНИХ З'ЄДНАННЯХ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ТА ТРАНСПОРТНОГО ОБЛАДНАННЯ

**Призначення:** вихорострумний портативний пристрій індикаторного типу, для виявлення дефектів в металевих виробках.

**Область застосування:** енергетика, машинобудування, транспорт, видобувна промисловість.

Прилади комплектуються датчиками, що забезпечують контроль деталей різної конфігурації, в тому числі пристосуваннями для виявлення дефектів в металевих виробках. Залежно від виду об'єкта та умов контролю (наприклад, виявлення тріщин в деталях нарізних з'єднань або відшарування бабіту у підшипниках ковзання, теплових канавках роторів), пристрій оснащується датчиками відповідної конструкції та чутливості.

**Основні технічні характеристики та переваги:**

- Мінімальна глибина реєстрованого дефекту, мм... 0,5;
- Товщина ізолюючого покриття, мм, не більше ..... 3;
- Виявлення дефектів у різі глибиною до 4 мм для феромагнітних та до 10 мм для неферомагнітних металів.
- Габаритні розміри, мм..... 63 x 83 x 30;
- Вага, кг ..... 0,2;
- Живлення автономне напругою, В..... 1,5.



Інститут проблем машинобудування  
НАН України ім. А.М. Підгорного