

Юрій Кусков¹, Володимир Лебедев², Володимир Жданов³

¹доктор технічних наук, провідний науковий співробітник
Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України (Київ, Україна)
E-mail: kuskov.yuriy@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8091-2274>

²доктор технічних наук, головний конструктор
Державне підприємство «Дослідне конструкторсько-технологічне бюро
Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України» (Київ, Україна)
E-mail: valpaton@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0391-6113>

³молодший науковий співробітник
Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України (м. Київ, Україна)
E-mail: vovik1982@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7988-2752>

УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ ХРОМИСТИХ ЧАВУНІВ

Показано, що електрошлакове наплавлення хромистих чавунів дозволяє значно покращити їхні механічні властивості й отримувати бездефектний якісний наплавлений метал і виріб загалом. Запропоновані нові технічні рішення щодо обладнання зі струмопідвідним кристалізатором. Така техніка та технологія є досить перспективною і ефективною. Вона може бути запропонована для більш широкого впровадження в певних галузях виробництва завдяки порівняно простій реалізації способу наплавлення хромистих чавунів, який дозволяє в досить широкому діапазоні регулювати структуру та експлуатаційні властивості наплавленого чавуну.

Ключові слова: електрошлакове наплавлення; хромисті чавуни; струмопідвідний кристалізатор.
Рис.: 2. Табл.: 1. Бібл.: 14.

Актуальність теми дослідження Білі чавуни, леговані хромом, мають високу опірність зношування [1-3]. Умовно їх можна поділити на три типи: низько- середньо- і високохромисті, що відрізняються не тільки вмістом хрому, а і структурою, що формується при їх кристалізації. При вмісті хрому в кількості менше ніж 12 % у структурі утворюється карбід цементитного типу $(Fe,Cr)3C$ мікротвердістю HV 8000-10 000 МПа та ледебурит [2]. Найбільше відомих марок хромистих чавунів містить 12-20 % Cr з мікротвердістю спеціальних карбідів хрому $(Cr,Fe)7C3$ - HV 13700-24400 МПа і хромисто-карбідну евтектику [2]. При вмісті хрому в чавуні 20 % і більше у структурі з'являється евтектика на основі карбиду $Cr23C6$, який поступається твердістю карбиду $Cr7C3$ (HV 12250-22800 МПа) [2; 4].

У білих зносостійких чавунах ледебурит із погляду правила Шарпі [4] має несприятливу морфологію його структурних складових. Соти евтектичного аустеніту (перліту) ізольовані один від одного твердою та тендітною цементитною матрицею і не надають практично позитивного впливу на загальну пластичність матеріалу. Легування Fe-Cr-C сплавів досить високою кількістю хрому змінює характер кристалізації з утворенням більш пластичної хромисто-карбідної евтектики $(Cr,Fe)7C3-\gamma$.

Таким чином, хромисті чавуни з підвищеним вмістом хрому (≥ 12 % Cr) мають структуру не тільки з високотвердими карбідами, але й відносно пластичною евтектикою. Таке поєднання властивостей дозволяє широко їх використовувати не тільки в умовах суто абразивного зношування, але й у тих випадках, коли експлуатація додатково супроводжується ударними навантаженнями.

Постановка проблеми. Незважаючи на таке поєднання позитивних властивостей хромисті чавуни мають обмеження щодо їх застосування при електродуговому наплавленні. Це пов'язано з особливостями термічного циклу цього способу та практично неможливістю наплавлення навіть щодо невеликих шарів (менше як 10-12 мм) без утворення в металі тріщин. Існує потреба у вирішенні цієї проблеми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оптимальним способом нанесення на зношуються поверхні шарів з хромистих чавунів є електрошлакове наплавлення (ЕШН). Більш «м'який» термічний цикл порівняно з дуговим наплавленням відносно рівномірні

теплові умови при кристалізації наплавленого металу дозволяє забезпечувати при наплавленні отримання бездефектного наплавленого металу навіть при товщинах, що становлять десятки сантиметрів, що зазначено у вищезгаданих роботах [1-3; 5; 6].

У таблиці представлені результати порівняльного дослідження механічних характеристик наплавленого та литого чавуну. Як видно з таблиці, механічні властивості наплавленого хромистого чавуну значно зростають у порівнянні з чавуном аналогічного хімічного складу.

Таблиця – Механічні властивості та твердість наплавленого та литого хромистого чавуну (~3 %C, 16 %)

Вид чавуну	Механічні властивості				Твердість HRC
	σ_b , МПа	KCU, МДж/м ²	$\sigma_{зг}$, МПа	Стріла прогину, мм	
Наплавлений	600	0,13	1270	2,3	~ 50
Літій	420	-	280	1,7	~ 50

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Без належної уваги зостаються питання, які пов'язані з подальшими напрямками вдосконалення техніки та технології електрошлакового наплавлення хромистих чавунів з метою підвищення їх експлуатаційних якостей. Важливими елементами цього процесу є пошук найбільш сучасних систем кристалізаторів, в тому числі і струмопідвідних конструкцій, які можуть бути застосовані на відповідних виробництвах зі значною ефективністю, яка зумовлюється отриманням наплавленого чавуну при оптимальних витратах. До цього часу нема аналізу роботи нових конструкцій кристалізаторів і технологій на основі їх використання.

Метою статті є визначення та аналіз напрямку суттєвого поліпшення характеристик наплавлення хромистих чавунів для забезпечення міцності отриманого шару без розтріскування з обґрунтованим вибором типу кристалізатора для ефективного здійснення процесу наплавлення.

Виклад основного матеріалу. Найбільш прогресивним способом ЕШН є спосіб наплавлення в струмопідвідному кристалізаторі (ТПК) [7]. Основна його перевага – це виключення жорсткого зв'язку між наплавним матеріалом, що подається у шлакову ванну, і електричними параметрами процесу наплавлення.

Конструктивна відмінність ТПК від звичайних кристалізаторів, що застосовуються при електрошлакових переплавах і наплавленні, полягає в тому, що він є секційним пристроєм, усі секції якого розташовані один над одним і роз'єднані між собою електроізоляційними прокладками. Зазвичай таких секцій три: струмопідвідна, проміжна і формуюча, але іноді використовують і дві секції (рис. 1 і 2). Саме завдяки підведенню напруги від джерела живлення до верхньої струмопідвідної секції, такий кристалізатор дозволяє використовувати його при наплавленні горизонтальних і вертикальних поверхонь не тільки наплавні матеріали, що зазвичай застосовуються (дроти, стрічки, електроди великого перерізу), але і дискретні й навіть рідкі присадки різного хімічного складу, у тому числі і хромистого чавуну. У конструкцію також закладена здатність забезпечувати при наплавленні обертання шлакової та металевої ванн.

Особливо перспективно використовувати дискретні присадки. Частинки присадки, розплавляючись у шлаковій ванні й очищаючись у ній від шкідливих домішок, надходять в оплавленому чи розплавленому вигляді в металеву ванну, яка потім кристалізується в наплавлений метал. При правильному виборі розмірів частинок і масової швидкості їх подачі в шлакову ванну можна забезпечити формування в рідкому металі, що кристалізується, великої кількості центрів кристалізації. Ці центри дозволяють модифікувати наплавлений метал, унаслідок чого структура виходить рівномірною та дрібнозернистою. Така змінена структура сприяє підвищенню механічних та спеціальних (зносостійкість, стійкість проти термічної втоми) властивостей металу.

Ці уявлення про процеси, що протікають при кристалізації рідкого наплавленого металу, були підтверджені при ЕШН дискретною присадкою (дробом) з хромистого чавуну різного фрикційного складу [8]. Крім того, було встановлено, що обертання шлакової ванни навіть із порівняно невеликими кутковими швидкостями також впливає на покращення дисперсності структури наплавленого чавуну.

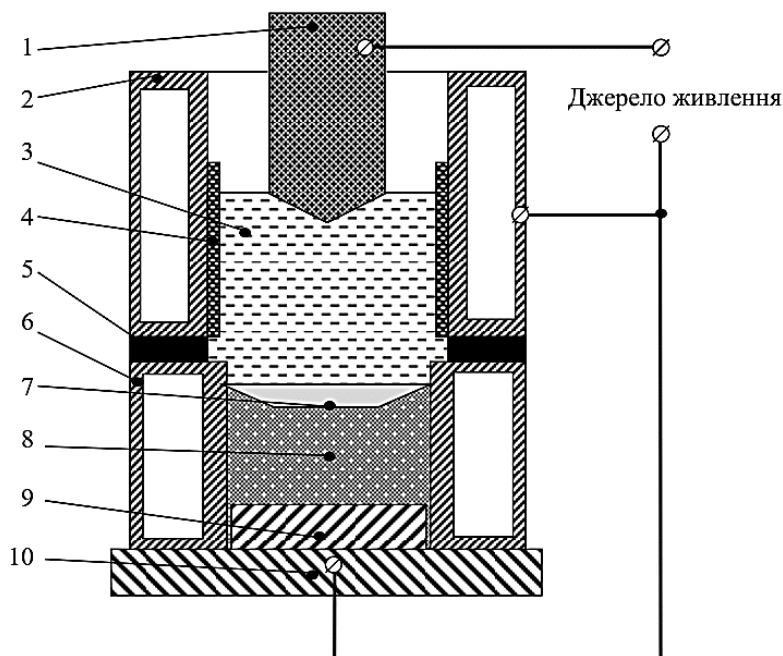


Рис. 1. Схема електрошлакового наплавлення у двосекційному струмопідвідному кристалізаторі з використанням електрода великого перерізу:

- 1 – електрод; 2, 6 – струмопідвідна і формуюча секції; 3 – шлакова ванна; 4 – захисна футеровка; 5 – електроізоляційна прокладка; 7 – металева ванна; 8 – наплавлений метал; 9 – наплавлюваний виріб; 10 – піддон

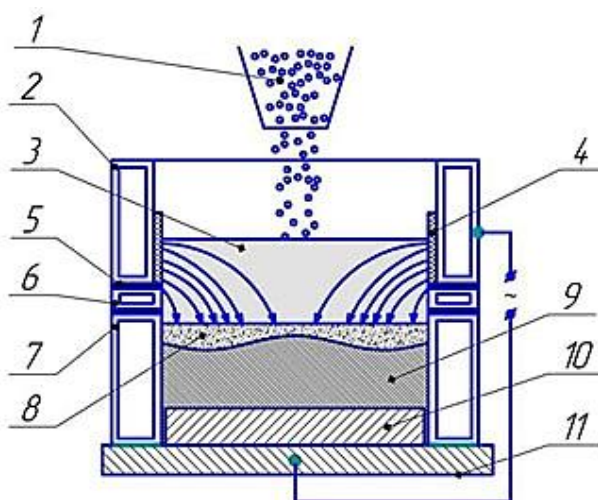


Рис. 2. Схема електрошлакового наплавлення у трисекційному струмопідвідному кристалізаторі з використанням дискретної наплавної присадки*:

- 1 – дискретна присадка; 2, 6, 7 – струмопідвідна, проміжна і формуюча секції; 3 – шлакова ванна; 4 – захисна футеровка; 5 – електроізоляційна прокладка; 8 – металева ванна; 9 – наплавлений метал; 10 – наплавлюваний виріб; 11 – піддон

* – стрілки показують розподіл струму у шлаковій ванні.

Найбільший досвід ЕШН дробом хромистого чавуну та експлуатації наплавлених виробів отримано при відновленні робочих поверхонь бочок сталевих і чавунних валків прокатних станів різного призначення [9; 10 та ін.].

Товщина наплавленого шару становила 25-50 мм. Стійкість сталевих валків стану 300, наплавлених дробом хромистого чавуну (16 ... 20 % Cr), в 1,5-2,0 раза вище за стійкість литих валків із хромистого чавуну.

Відновлення наплавленням дробом хромистого чавуну (до 25 % Cr) прокатні чавунні валки діаметром до 520 мм штрипсових і дрібносортих станів показали стійкість литих двошарових валків, які зазвичай встановлюються в цих станах [9].

Подача дробу в шлакову ванну при ЕШН валків такого типу здійснюється за допомогою пристрою ОБ-1960 (конструкція ІЕЗ ім. Є. О. Патона), що являє собою шестерню, концентрично розташовану щодо наплавленої поверхні бочки валка, по якій зворотньо-обертально переміщається дозатор-живильник з бункером для дробу ємністю ~20 кг. Під час наплавлення бункер постійно поповнюється наплавним матеріалом.

Для наплавлення валків більшого діаметра і довжини бочки (до 2 м і більше) використовується електромагнітні дозатори з бункерами, обсяг яких забезпечує необхідну кількість дробу, що вводиться у шлакову ванну.

Промислове застосування при наплавленні прокатних валків також знайшов спосіб ЕШН в ТПК з використанням як присадка рідкого металу (швидкорізальної сталі та хромистого чавуну) [11]. Подачу рідкої присадки, отриманої в дуговій печі, здійснюється за допомогою міксерів-дозаторів [12]. Наплавлений шар із хромистого чавуну, що містить 2,6...3,6 % С і 20...22 % легуючих елементів, дозволяє забезпечити сумарний і питомий рівень напрацювання робочої поверхні бочки у 2,0...2,2 раза вищий, ніж у традиційних хромонікелевих валків для комплектування відповідних станів [13].

Новим напрямом розвитку ЕШН в ТПК є наплавлення шару хромистого чавуну на горизонтально розташовані поверхні деталей. Така технологія дозволяє, наприклад, отримувати біметалічні армуючі елементи для зміцнення швидкозношуваних робочих поверхонь обладнання гірничо-металургійного комплексу [14]. Присадним матеріалом може бути дріб або електроди великого перерізу. Другий тип наплавочних матеріалів можна застосовувати в разі наплавлення відносно великих (діаметром більше за 200 мм) поверхонь для досягнення оптимального нагрівання центральної частини заготівлі та якісного з'єднання основи та наплавленого шару по всій поверхні, що з'єднується. Їх застосування може також визначатися оцінкою техніко-економічної доцільності використання при наплавленні того чи іншого типу наплавного матеріалу.

Висновки.

1. Хромисті чавуни з підвищеним вмістом хрому є оптимальним наплавним матеріалом для електрошлакового наплавлення шарів поверхонь обладнання, що опираються як абразивному, так і ударно-абразивному зношуванню.

2. Найбільш перспективним способом ЕШН хромистого чавуну є наплавлення в ТПК, що дозволяє в широких межах регулювати структуру та експлуатаційні властивості наплавленого чавуну.

3. Великий практичний досвід, отриманий при ЕШН у ТПК валків прокатних станів, дозволив розробити нові технологічні рішення, зокрема, отримання плоских біметалічних армуючих елементів.

Список використаних джерел

1. Гарбер М. Е. Отливки из белых износостойких чугунов / М. Е. Гарбер. – М. : Машиностроение. 1972. – 112 с.
2. Цыпин И. И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства / И. И. Цыпин. – М. : Металлургия 1983. – 176 с.

3. Липницкий А. М. Плавка чугуна и сплавов цветных металлов / А. М. Липницкий. – М. : Машиностроение. 1973. – 192 с.
4. Жуков А. А. Износостойкие отливки из комплексно-легированных белых чугунов / А. А. Жуков, Г. И. Сильман, М. С. Фрольцов. – М. : Машиностроение. 1984. – 104 с.
5. Метлицкий В. А. Дуговая наплавка слоя износостойкого высокохромистого чугуна / В. А. Метлицкий, В. В. Осин // Сварочное производство. – 2008. – № 4. – С. 25-30.
6. Рябцев И. А. Износостойкий и коррозионноустойчивый биметалл / И. А. Рябцев, Ю. В. Демченко, А. И. Панфилов. – К. : ИЭС им. Е.О Патона НАН Украины, 2020. – 224 с.
7. Кусков Ю. М. Наплавка в токоподводящем кристаллизаторе – перспективное направление развития электрошлаковой технологии / Ю. М. Кусков // Автоматическая сварка. – 1999. – № 9. – С. 76-80.
8. Кусков Ю. М. Влияние размера наплавочной дроби и технологических параметров электрошлаковой наплавки на структурообразование наплавленного высокохромистого чугуна / Ю. М. Кусков, И. Л. Богайчук, М. А. Фесенко // Электрометаллургия. – 2021. – № 7. – С. 12-18.
9. Электрошлаковые технологии наплавки и рециклинга металлических и металлосодержащих отходов / Ю. М. Кусков, И. А. Рябцев, О. Г. Кузьменко, И. П. Лентюгов. – К. : Интерсервис, 2020. – 288 с.
10. Кусков Ю.М., Сарычев И.С. Восстановительная электрошлаковая наплавка чугунных валков стана 2000 / Ю. М. Кусков // Сварочное производство. – 2004. – № 2. – С. 39-43.
11. Создание комплекса ЭШН жидким присадочным металлом рабочих валков горячей прокатки для непрерывных широкополосных станов / В. Б. Шабанов, О. В. Свиридов, Ю. Н. Белобров и др. // Автоматическая сварка. – 1999. – № 9. – С. 51-54.
12. Современное литейные технологии и оборудование для внепечной обработки и разлива сплавов цветных и черных металлов с применением МГД – техники / В. И. Дубоделов, В. Н. Фиксен, В. К. Погорский, М. С. Горюк // Процессы литья. – 2007. – № 1-2. – С. 54-61.
13. Ковалев Ю. М. Разработка и исследование высокохромистой стали для рабочего слоя композитных валков, производимых в условиях ЗАО НКМЗ / Ю. М. Ковалев, А. С. Волков, В. Е. Фельдман // Технология металлов. – 2005. – № 3. – С. 46-47.
14. Получение электрошлаковой наплавкой биметаллических армирующих элементов для упрочнения изделий горно-металлургического комплекса / Ю. М. Кусков, В. А. Жданов, В. Н. Проскудин, А. В. Нетяга // Сталь. – 2021. – № 4. – С. 15-17.

References

1. Garber, M.E. (1972). *Otlivki iz belykh iznosostoikikh chugunov [Castings from white wear-resistant cast irons]*. Mashinostroenie.
2. Cypin, I.I. (1983). *Belye iznosostoikie chuguny. Struktura i svoystva [White wear-resistant cast irons. Structure and properties. Structure and properties]*. Metallurgiya.
3. Lipnickii, A.M. (1973). *Plavka chuguna i spлавov cvetnyh metallov [Smelting of cast iron and non-ferrous metal alloys]*. Mashinostroenie.
4. Zhukov, A.A., Silman, G.I., & Frolcov, M.S. (1984). *Iznosostoikie otlivki iz kompleksno-legirovannykh belykh chugunov [Wear-resistant castings from complex-alloyed white cast irons]*. Mashinostroenie.
5. Metlickii, V.A., & Osin, V.V. (2008). *Dugovaia naplavka sloia iznosostoikogo vysokokhromistogo chuguna [Arc surfacing of a layer of wear-resistant high-chromium cast iron]*. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, (4), 25-30.
6. Ryabcev, I.A., Demchenko, Yu.V., & Panfilov, A.I. (2020). *Iznosostoikii i korrozionnostoikii bimetal [Wear-resistant and corrosion-resistant bimetal]*. IES im. E.O Patona NAN Ukrainy.
7. Kuskov, Yu.M. (1999). *Naplavka v tokopodvodyashem kristallizatore – perspektivnoe napravlenie razvitiya elektroshlakovoy tehnologii [Surfacing in a current-carrying mold is a promising direction in the development of electroslag technology]*. *Avtomaticheskaiя svarka – Automatic welding*, (9), 76-80.
8. Kuskov, Yu.M., Bogajchuk, I.L., & Fesenko, M.A. (2021). *Vliyanie razmera naplavochnoj drobi i tehnologicheskikh parametrov elektroshlakovoy naplavki na strukturoobrazovanie naplavlennogo vysokokhromistogo chuguna [Influence of the size of surfacing shot and technological parameters of electroslag surfacing on the structure formation of deposited high-chromium cast iron]*. *Elektrometallurgiya – Electrometallurgy*, (7), 12-18.

9. Kuskov, Yu.M., Ryabtsev, I.A., Kuzmenko, O.G., & Lentyugov, I.P. (2020). *Elektroshlakovye tehnologii naplavki i reciklinga metallicheskikh i metalloso-derzhashih othodov [Electroslag technologies for surfacing and recycling of metal and metal-containing waste]*. Interservis.
10. Kuskov, Yu.M., & Sarychev, I.S. (2004). Vosstanovitel'naya elektroshlakovaya naplavka chugun-nyh valkov stana 2000 [Restorative electroslag surfacing of cast-iron rolls of the mill 2000]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, (2), 39-43.
11. Shabanov, V.B., Sviridov, O.V., Belobrov, Yu.N. (1999). Sozdanie kompleksa EShN zhidkim prisadochnym metallom rabochih valkov goriachei prokatki dlia nepreryvnykh shirokopolosnykh stanov [Creation of an ESP complex with liquid filler metal of hot rolling work rolls for continuous broadband mills]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic welding*, (9), 51-54.
12. Dubodelov, V.I., Fikssen, V.N., Pogorskii, V.K., & Goryuk, M.S. (2007). Sovremennoe liteinye tehnologii i oborudovanie dlia vnepechnoi obrabotki i razlivki splavov cvetnyh i chernykh metallov s primeneniem MGD – tehniki [Modern foundry technologies and equipment for out-of-furnace treatment and pouring of non-ferrous and ferrous alloys using MHD technology]. *Processy litia – Casting processes*, (1-2), 54-61.
13. Kovalev, Yu.M., Volkov, A.S., & Feldman, V.E. (2005). Razrabotka i issledovanie vysokhromi-stoj stali dlya rabocheho sloya kompozitnykh valkov, proizvodimyh v usloviyah ZAO NKMZ [Development and research of high-chromium steel for the working layer of composite rolls produced in the conditions of ZAO NKMZ]. *Tehnologiya metallor – Technology of metals*, (3), 46-47.
14. Kuskov, Yu.M., Zhdanov, V.A., Proskudin, V.N., Netiaga, A.V. (2021). Poluchenie elektroshlakovoy naplavkoj bimetallicheskih armiruyushih elementov dlia uprochneniya izdelij gorno-metallurgicheskogo kompleksa [Obtaining by electroslag welding of bimetallic reinforcing elements for hardening of products of the mining and metallurgical complex]. *Stal – Steel*, (4), 15-17.

Отримано 01.06.2022

UDC 621.781.92

Yuriy Kuskov¹, Volodymyr Lebedev,² Volodymyr Zhdanov³

¹Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher

E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: kuskov.yuriy@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8091-2274>

²Doctor of Technical Sciences, Chief designer

SF “Experimental Design-Technological Office of the E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: vapaton@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0391-6113>

³Junior researcher, E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, (Kyiv, Ukraine)

E-mail: vovik1982@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7988-2752>

IMPROVEMENT OF ELECTROSLAG SURFACE OF CHROME CAST IRON

The main disadvantages of the existing methods of improving the strength of coatings, including the use of electroslag surfacing, on existing equipment structures to implement this process are considered. The task is to significantly improve the process of electroslag surfacing to ensure the desired operational strength of the coating and thus ensure the absence of cracks in the metal.

It is shown that electroslag surfacing of chromium cast irons allows to significantly improve their mechanical properties, in particular strength and to obtain defect-free high-quality welded metal for operational requirements. The use of current-carrying crystallizer expands the possibilities of use in the surfacing of different types of surfacing materials and regulating the structure and properties of the weld metal. The industrial experience of electroslag surfacing in the current-carrying crystallizer of rolled rolls with the use of chromium cast iron in the form of fractions and liquid additives, including chromium cast iron, is presented. A new direction in the development of surfacing works is shown - obtaining flat bimetallic blanks designed to strengthen fast-wearing surfaces.

It is emphasized that a significant advantage of the current-carrying mold is its sectional design.

Various schemes of realization of electroshack surfacing process both two-section and three-section with their features and definition with definition of the basic advantages and lacks are presented.

This technology is quite promising and effective and can be proposed for wider implementation, due to the fact that there are relatively simple ways to implement surfacing.

Key words: electroslag surfacing, chromium cast irons, current supply crystallizer.

Fig.: 2. Table: 1. References: 14.