

Електрохімічні характеристики високохромистого чавуну в різних структурних станах як фактор оцінювання його якості

Н. В. Полякова¹⁾

¹⁾ Національна металургійна академія України, проспект Гагаріна, 4, м. Дніпропетровськ, Україна, 49600

Article info:

Paper received:

27 October 2015

The final version of the paper received:

18 November 2015

Paper accepted online:

10 December 2015

Correspondent Author's Address:

¹⁾ lijanat@mail.ru

Розглянуто вплив структурного стану білого високохромистого чавуну на його здатність до електрохімічної корозії. Встановлено, що попередній високотемпературний вплив, який включав високотемпературну витримку та термоцикування, негативно позначається на корозійній стійкості високохромистого чавуну як у вихідному, так і у зношеному стані. Найбільша активізація процесу анодного розчинення, характерна для зразків, підданих термоцикуванню, пов'язана з утворенням на їх поверхні макро- та мікротріщин термічної втоми, що підтверджується дослідженнями її шорсткості. Зношена поверхня зразків демонструє інтенсифікацію анодного розчинення порівняно з вихідним станом після деякого його уповільнення на початку поляризації. Рекомендовано враховувати здатність високохромистого чавуну до електрохімічної корозії як додатковий чинник оцінювання якості робочого шару прокатних валків гарячої прокатки з огляду на складні умови їх експлуатації.

Ключові слова: високохромистий чавун, високотемпературний вплив, структурний стан, експлуатаційні властивості, прокатні валки, зносостійкість, електрохімічна корозія.

СТАН ПИТАННЯ

Істотний вплив на якість продукції, яку виготовляють методами гарячої прокатки, має обладнання, що використовується в технологічному процесі, зокрема - прокатні валки. Вимоги, що ставляться до цього відповідального інструмента прокатних станів, дуже різноманітні і стосуються, переважно, процесу їх виготовлення. На цьому етапі велике значення має раціональний вибір матеріалу робочого шару і створення умов для формування його оптимальної структури, здатної продемонструвати найкращі показники твердості і зносостійкості [1, 2, 3]. Білий високохромистий чавун завдяки високим показниками міцності широко застосовується для виготовлення двошарових валків гарячої прокатки [1]. Однак те, що виконується стосовно матеріалу, може істотно змінюватися щодо виробу, що обумовлено формою, розмірами та умовами експлуатації останнього. Оскільки знос валків у процесі експлуатації неминучий, має сенс цілеспрямоване зменшення його величини і збільшення рівномірності. При цьому відомо, що на величину і характер зносу можуть вплинути багато чинників. При комплексному їх впливі динаміка й характер зміни рельєфу поверхні в результаті зносу можуть істотно змінитися. Виходячи з цього, необхідно враховувати, що прокатні валки використовуються в умовах одночасного впливу високих температур на ділянці деформації, механічних та термоциклічних навантажень, а також - корозійно-активних середовищ [2].

Вплив зазначених факторів розширює коло вла-

стивостей, актуальних для забезпечення та/або збереження раціональних показників зносостійкості в процесі експлуатації прокатних валків із робочим шаром з високохромистого чавуну. Тому важливим є урахування здатності досліджуваного сплаву до кожного з можливих у таких умовах видів руйнування, для визначення домінуючого фактора зниження експлуатаційної стійкості прокатних валків та пошуку резервів її підвищення. У попередніх роботах [4, 5] було оцінено вплив газового середовища, високих температур і термоцикування на особливості зміни морфології поверхні, структури і фазового складу, а також зносостійкості високохромистого чавуну марки ГЧХ16НМФТ.

З урахуванням вищезазначеного нерозкритим залишається питання щодо можливості перебігу в описаних умовах корозійних процесів за електрохімічним механізмом.

Стан поверхні та особливості її рельєфу мають визначальний вплив на інтенсивність перебігу корозійних процесів. Велике значення має і те, що електрохімічна корозія - це гетерогенний процес, що супроводжується появою в системі електричного струму. Гетерогенність поверхні найчастіше викликається наявністю домішок інших металів, а також наявністю структурних складових сплавів [6]. Ділянки поверхні металу з більш негативним потенціалом складають аноди мікроелементів, ділянки з більш позитивним потенціалом - катоди. Тому високохромистий чавун належить до сплавів із яскраво вираженою гетерогенністю структури, що експлуатуються

в умовах впливу рідких корозійних середовищ, а також інших зазначених чинників, інтерес становить вивчення його здатності до корозійного руйнування, що відбувається за електрохімічним механізмом.

МЕТА РОБОТИ

Визначення здатності високохромистого чавуну марки ГЧХ16НМФТ у різних структурних станах до електрохімічного розчинення в корозійно-активному середовищі як чинника оцінювання якості робочого шару прокатних валків.

МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження були зразки білого високохромистого чавуну марки ГЧХ16НМФТ, вирізані з поверхневої частини двошарового експериментального вилітка, одержаного методом відцентрового лиття, що моделював прокатний валок.

Хімічний склад зразків, %: С - 2,65; Cr - 17,5; Ni - 1,3; Mo - 1,14; Ti - 0,022; V - 0,38; Mn - 0,04; Si - 0,7; Cu - 0,15.

Випробуванням були піддані такі зразки:

- у литому стані (тип 1);
- після високотемпературної обробки за режимами: 10 циклів нагрівання до 600 °С та різкого охолодження до 20 °С,

(тип 2), витримка при 600 °С упродовж 10 год. (тип 3);

- після випробувань зазначених трьох типів зразків на ударно-абразивний знос;

Особливості структуроутворення та фазових і структурних змін у досліджуваних зразках докладно описані в [4,5,7].

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Поляризаційні дослідження проводилися потенціодинамічним методом, тобто досліджуваному електроду задавався потенціал при певній швидкості його розгортки в часі, і фіксувалася зміна сили струму [6]. У результаті були одержані анодні криві залежності густини струму розчинення від електродного потенціалу в координатах: потенціал, В - густина струму, А / м². Дослідження проводили за допомогою потенціостата ПІ-50-1 і програматора ПР-8. Як робочий використовували електрод із високохромистого чавуну марки ГЧХ16НМФТ у різних структурних станах. Площа поверхні робочого електрода - 0,5 см². Як електрод порівняння використовували хлорсрібний електрод. Допоміжним був платиновий електрод. Вимірювання сили струму проводили за допомогою міліамперметра типу М244. Робочий розчин - 5 % NaCl.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У першій серії дослідів одержані результати оцінювання попереднього високотемпературного впливу на корозійну поведінку високохромистого чавуну (рисунок 1 а). Аналізуючи їх, можна зазначити, що зі збільшенням анодної поляризації найбільш інтенсивне зростання густини струму розчинення характерне для зразків, підданих попередньому високотемпературному впливу (типи 2,3). Проведення дослі-

джень дозволило встановити різний характер перебігу електрохімічного розчинення, обумовленого різницею потенціалів двох основних структурних складових високохромистого чавуну. Отже, впливи, що викликають зміни в структурі, призводять також до змін електрохімічних характеристик структурних складових досліджуваного сплаву. Так, ймовірно, металева матриця стає більш електронегативною. Це може бути пов'язано з процесами перерозподілу легувальних елементів у матриці, що відбуваються в результаті високотемпературного нагріву [4], які призводять до зміни її потенціалу та зменшення корозійної стійкості.

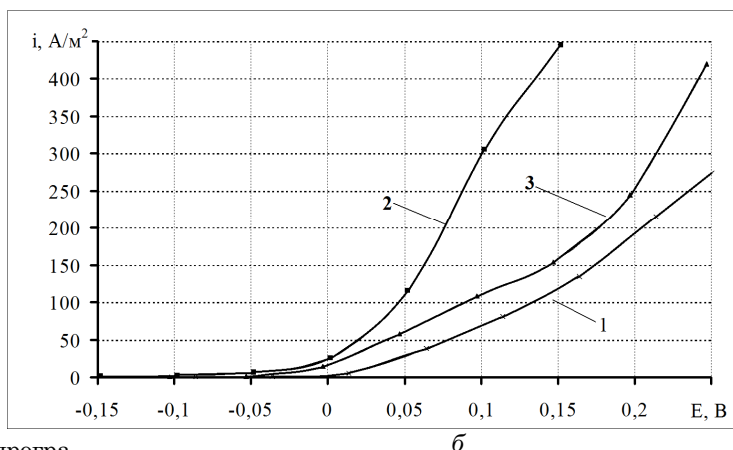
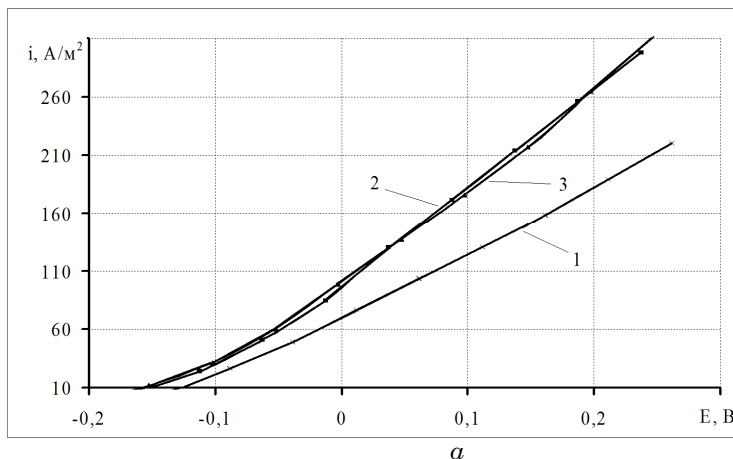


Рисунок 1 - Анодні поляризаційні криві високохромистого чавуну в 5 % NaCl в литому стані і після високотемпературної обробки до (а) та після (б) випробувань зносостійкості:
1 - литий стан; 2 – термоциклування;
3 - високотемпературна витримка.

Здатність до корозійного руйнування зразків, що були піддані термоциклуванню (тип 2), додатково збільшується завдяки утворенню термовтомних тріщин, виникнення яких доведене і обґрунтоване в [5], що збільшують площу поверхні, що контактує з електролітом, і створюють додаткові локальні мікрогальванічні елементи типу вершина тріщини - стінки тріщини [6]. Цим можуть пояснюватися максимальні

значення густини струму розчинення для зразка чавуну типу 2.

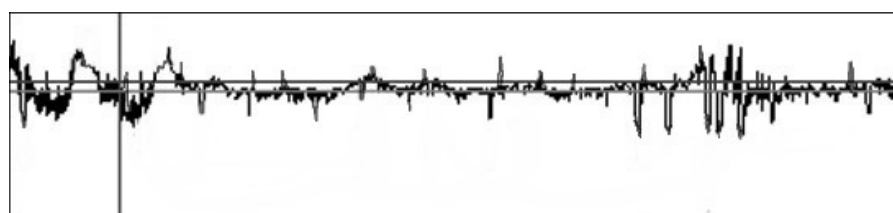
Зміну рельєфу поверхні зразків високохромистого чавуну після різних видів високотемпературних впливів демонструють результати дослідження її шорсткості, наведені на рис. 2. Ці дані свідчать про збільшення площі контакту з електролітом поверхні зразків, що зазнали попереднього температурного впливу, що відбивається на їх корозійній стійкості.

У другій серії дослідів були одержані результати оцінки впливу структурних змін, що спричинені ударно-абразивним зношенням, на схильність високохромистого чавуну до корозійного руйнування, яке проходить за електрохімічним механізмом (рис. 1 б). З нього бачимо, що характер впливу структурних змін, які спричинені попередньою високотемпературною обробкою, справедливий як для зразків у вихідному стані, так і для зношених. Тобто піддані попередній високотемпературній обробці зразки чавуну після випробувань зношення зберігають тенденцію до більш інтенсивного розчинення, ніж зразки в литому стані. Аналіз і зіставлення даних, поданих на рисунках 1 а та 1 б свідчать про те, що на початкових стадіях поляризації густина струму розчинення у зразків у вихідному стані змінюється швидше, ніж у зношених. Можливо, це пов'язано з поверхневим деформаційним зміцненням, що відбуваються в результаті випробувань на ударно-абразивне зношення, що, як відомо, сповільнює проходження коро-

зійних процесів у початковий період випробувань, але прискорює корозійне руйнування підповерхневої зони, що перебуває в напруженому стані [6]. Це підтверджується результатами досліджень, поданих на рисунку 1 б, які демонструють істотну інтенсифікацію розчинення вже після нульового потенціалу.

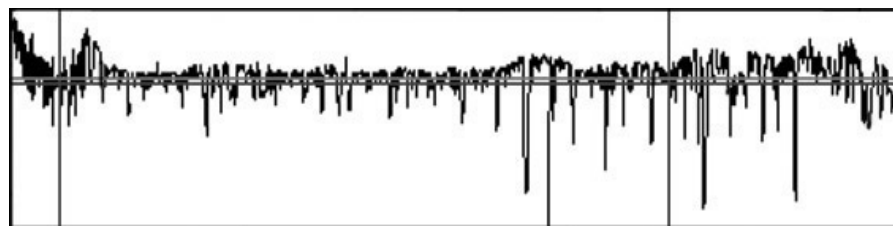
Зовнішній вигляд ділянок зразків, що були піддані електрохімічним випробуванням, свідчить про їх вибіркове розчинення. Так, відбувається значне розчинення металевої матриці й оголення карбідів (на поверхні всіх зразків виявляється рельєф карбідної сітки).

Аналіз одержаних даних та попередніх публікацій свідчить про те, що позитивний вплив на електрохімічні характеристики високохромистого чавуну марки ІЧХ16НМФТ може спричинити термічна обробка, спрямована на одержання бейнітної структури матриці. Попередні дослідження таких важливих для експлуатації прокатних валків властивостей, як зносостійкість, жаростійкість та термостійкість також свідчать про позитивний досвід випробувань чавунів з бейнітною структурою матриці [4, 5, 7]. З урахуванням цього можна очікувати, що використання термічної обробки прокатних валків із високохромистого чавуну за режимами, які стабілізують структуру і збільшують її стійкість до впливу експлуатаційних чинників, може сприяти поліпшенню їх якості та подовженню терміну безвідмовної служби.



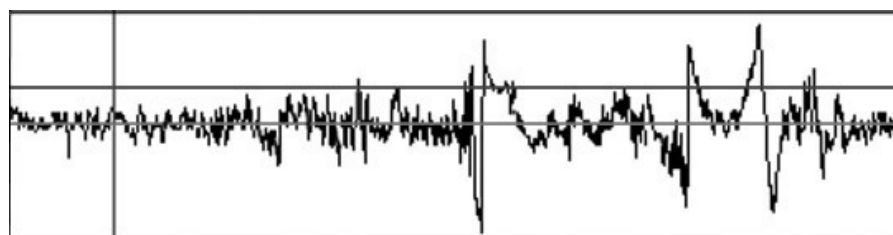
$R_a - 0,32; R_z - 4,22; R_{max} - 5,57; R_p - 2,10; R_v - 3,47; S_m - 24,4;$
Клас шорсткості – 8в

а



$R_a - 0,65; R_z - 7,91; R_{max} - 10,1; R_p - 3,09; R_v - 7,01; S_m - 31,4;$
Клас шорсткості – 7в

б



$R_a - 0,80; R_z - 7,83; R_{max} - 11,10; R_p - 5,41; R_v - 5,66; S_m - 51,80;$
Клас шорсткості – 7б

в

Рисунок 2 - Профіль поверхні та значення параметрів шорсткості зразків чавуну: а – у литому стані (тип 1); б – після термоцикування (тип 2); в – після високотемпературної витримки (тип 3)

ВИСНОВКИ

Білий високохромистий чавун марки ГЧХ16НМФТ виявив істотну схильність до корозійного руйнування за умов анодної поляризації, зумовлену значною гетерогенністю його структури. Це дозволяє рекомендувати врахування корозійної стійкості як додаткового чинника оцінювання якості поверхні матеріалів валків гарячої прокатки. При цьому продукти розпаду аустеніту визначені як анодні ділянки, а катодними є евтектичні карбіді.

Попередня високотемпературна обробка негативно вплинула на корозійну стійкість високохромистого чавуну. Максимальні значення густини струму спостерігалися при випробуванні зразків попередньо підданих термоциклованню, що може бути пов'язано з утворенням тріщин термічної втоми, які збільшують площу контакту поверхні металу з електролітом, а також сприяють виникненню додаткових мікрогальванічних елементів.

Анодне розчинення зразків чавуну, що були піддані випробуванням ударно-абразивного зноення, проходить уповільнено на початкових етапах поляризації та істотно інтенсифікується надалі, що може бути пов'язано з утворенням зони поверхневого деформційного зміцнення.

Візуальний контроль поверхні зразків високохромистого чавуну після електрохімічних досліджень дозволив спостерігати значне руйнування металевої матриці й оголення евтектичних карбідів.

Перспективним напрямом подальших досліджень може бути оцінювання сумісного впливу експлуатаційних чинників на забезпечення та (або) збереження високої зносостійкості матеріалів робочого шару прокатних валків.

Electrochemical Characteristics of High Chromium Cast Iron in Different Structural States as a Factor of Quality Estimation of the Hot Rolling Mill Rolls Working Layer

N. V. Poliakova¹⁾

¹⁾ National Metallurgical Academy of Ukraine, 4, Gagarina avenue, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600.

High-chromium cast iron is used for rolling mill rolls production. A better knowledge of electrochemical corrosion destruction mechanisms of this material could be useful for a better appreciation of its service behavior and lifetime. The experimental specimens of high-chromium cast iron in different structural states were tested by potentiodynamic method. Propensity of investigated alloy to the destruction caused by corrosion active environments was shown. Peculiarities of electrochemical dissolution of investigated iron were studied. The influence of structural changes of high chromium iron that occur during preliminary high temperature exposure was analyzed. It may be recommended to take into account electrochemical properties of materials hot rolling mill rolls as an additional criterion of quality.

Keywords: high chromium cast iron, high temperature exposure, structural state, rolling mill rolls, wear resistance, electrochemical corrosion.

Электрохимические характеристики высокохромистого чугуна в различных структурных состояниях как фактор оценки его качества

Н. В. Полякова¹⁾

¹⁾ Национальная металлургическая академия Украины, проспект Гагарина, 4, г. Днепропетровск, Украина, 49600

Рассмотрено влияние структурного состояния белого высокохромистого чугуна на его склонность к электрохимической коррозии. Установлено, что предыдущее высокотемпературное влияние, включающее высокотемпературную выдержку и термоциклирование, негативно сказывается на коррозионной стойкости высокохромистого чугуна, как в исходном, так и в изношенном состоянии. Наибольшая активизация процесса анодного растворения, характерная для образцов, подвергнутых термоциклированию, связана с образованием на их поверхности макро- и микротрещин термической усталости, что подтверждается исследованиями ее шероховатости. Изношенная поверхность образцов демонстрирует интенсификацию анодного растворения по сравнению с исходным состоянием, после некоторого его замедления в начале поляризации. Рекомендовано учитывать склонность высокохромистого чугуна к электрохимической коррозии, как дополнительный фактор оценки качества рабочего слоя прокатных валков горячей прокатки, исходя из сложных условий их эксплуатации.

Ключевые слова: высокохромистый чугун, высокотемпературное влияние, структурное состояние, эксплуатационные свойства, прокатные валки, износостойкость, электрохимическая коррозия.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Hot friction and wear behaviour of high speed steel and high chromium iron for rolls / M. Pellizzari, D. Cescato, M. G. De Flora // 17th International Conference on Wear of Materials (15 June 2009, Las Vegas, USA) // *Wear*. - 2009. - Volume 267, Issues 1-4, p. 467 - 475
2. Improvement of the work roll performance on 2050 mm hot strip mill at ISCOR VANDERBIJLPARK / R. J. Skoczynski, G. Walmag, J. P. Breyer // International ATS Steelmaking Conference. - Paris (France), 2000. - p. 105 - 112.
3. Microstructural, mechanical and tribological characterisation of roll materials for the finishing stands of the hot strip mill for steel rolling / M. Nilssona, B. M. Olssona, // *Wear*. - 2013. - Volume 307, Issues 1-2. p. 209 - 217
4. Пинчук С. И. Влияние высокотемпературного воздействия на структуру и фазовый состав белого высокохромистого чугуна / С. И. Пинчук, Н. В. Полякова // *Металозна-*

REFERENCES

1. Pellizzari, M., Cescato, D., & De Flora, M. G. (2009). Hot friction and wear behaviour of high speed steel and high chromium iron for rolls. *Wear*, Vol. 267, 1-4, 467 - 475
2. Skoczynski, R. J., Walmag, G., & Breyer, J. P. (2000) Improvement of the work roll performance on 2050 mm hot strip mill at ISCOR VANDERBIJLPARK: International ATS Steelmaking Conference. (pp. 105 - 112). Paris.
3. Nilssona, M., & Olssona, M. (2013) Microstructural, mechanical and tribological characterisation of roll materials for the finishing stands of the hot strip mill for steel rolling. *Wear*, Vol. 307, 1-2, 209 - 217.
4. Pinchuk, S. I., & Poliakova, N. V. (2008). Vliyanie vysokotemperaturnogo vozdeystviya na strukturu i fazovyy sostav belogo vysokohromistogo chuguna [Effect of high temperature effects on the structure and phase composition of white high chrome cast iron]. *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv – Metallurgy and heat treatment of metals*, 3, 32 - 39 [in Russian].
5. Pinchuk, S. I., & Poliakova, N. V. (2008). Struktura i

ство та термічна обробка металів. – 2008. – № 3. – С.32 – 39.

5. Пинчук С. И. Структура и свойства высокохромистого чугуна как материала для производства прокатных валков / С. И. Пинчук, Н. В. Полякова // *Металознавство та термічна обробка металів*. – 2008. – № 1. – С.24 – 34.
6. Stansbury E. E. Fundamentals of electrochemical corrosion / E. E. Stansbury, R. A. Buchanan. – ASM International, Materials Park, Ohio, 2000. – 487 pp.
7. Кравченко А. В. Особенности структурообразования и разработка способов повышения механических свойств и износостойкости высокохромистых чугунов: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. Наук : спец. 05.02.01 «Материаловедение» / А. В. Кравченко. – Днепропетровск. 2008. – 20 с.

svojstva vysokohromistogo chuguna kak materiala dlja proizvodstva prokatnyh valkov [The structure and properties of high chrome cast iron as a material for the production of rolls] *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv Metaloznnavstvo ta termichna obrobka metaliv – Metallurgy and heat treatment of metals*, 1, 24 – 34 [in Russian].

6. Stansbury E. E., Buchanan R. A. (2000) Fundamentals of electrochemical corrosion – Ohio: ASM International, Materials Park.
7. Kravchenko A. V. (2008) Osobennosti strukturo-obrazovaniia i razrabotka sposobov povysheniia mehanicheskikh svojstv i iznosostojkosti vysokohromistykh chugunov. [Features of structure forming and development of ways to improve the mechanical properties and wear resistance of high chromium cast iron]. Extended abstract of candidate's thesis. Dnepropetrovsk. [in Russian].