

УДК 519.21

DOI: 10.30838/P.CMM.2415.200418.77.11

## МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ТВЕРДОСТІ ЛИСТОПРОКАТНИХ ВАЛКІВ

БОЛЬШАКОВ В. І.<sup>1</sup>, *д.т.н., проф.*,РОЖКО І. І.<sup>2</sup>, *магістр.*

<sup>1</sup> Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: [bolshakov@mail.pgasa.dp.ua](mailto:bolshakov@mail.pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

<sup>2</sup> Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: [mom@mail.pgasa.dp.ua](mailto:mom@mail.pgasa.dp.ua)

**Анотація.** *Постановка задачі.* Прогноз критеріїв якості чавунних прокатних валків, зокрема показників твердості, в процесі їх виробництва являє собою актуальну задачу сучасного матеріалознавства. Ця задача пов'язана з розробкою неруйнівних методів контролю якості листопрокатних чавунних валків шляхом застосування методів математичного моделювання. У роботі пропонується оцінювати твердість валків на основі аналізу впливу їх хімічного складу. *Об'єкт дослідження.* Процес оцінки критеріїв якості чавунних валків шляхом математичного моделювання. *Матеріали і методи досліджень.* Оптична мікроскопія, твердомір Шора, математичне моделювання. *Результати та їх обговорення.* Встановлено вплив хімічного складу листопрокатних валків виконання ЛПХ17НМдц-63 на їх твердість. Отримано рівняння регресії, яке описує співвідношення між хімічним складом робочого шару валків (~ 90 мм) та їх твердістю до термічної обробки (відпалу). Відзначається підвищений вміст хрому (до 17%), що впливає на утворення стійких карбідів. Це призводить до підвищення твердості робочого шару валків, однак при цьому знижується їх термічна стійкість. Похибка прогнозу показників твердості становить до 7%. *Висновки.* Отримана математична модель прогнозу твердості листопрокатних чавунних валків, що дозволяє оперативно оцінювати їх твердість в процесі виробництва з мінімальними витратами.

*Ключові слова:* хімічний склад; чавунні валки; твердість; прогноз; математична модель

## МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ТВЕРДОСТИ ЛИСТОПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

БОЛЬШАКОВ В. И.<sup>1</sup>, *д.т.н., проф.*,РОЖКО И. И.<sup>2</sup>, *магистр.*

<sup>1</sup> Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: [bolshakov@mail.pgasa.dp.ua](mailto:bolshakov@mail.pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

<sup>2</sup> Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: [mom@mail.pgasa.dp.ua](mailto:mom@mail.pgasa.dp.ua)

**Аннотация.** *Постановка задачи.* Установление взаимосвязи между структурой и свойствами материалов является одной из главных задач современного материаловедения. Эта проблема связана, в основном, с неполнотой формальной аксиоматики при идентификации структуры материалов. В работе предлагается для частичной компенсации неполноты формальной аксиоматики структуры использовать фрактальный анализ для прогноза механических характеристик трубных сталей. Актуальность выбора данного подхода обусловлена необходимостью проведения неразрушающего контроля данных характеристик труб в процессе их эксплуатации. *Объект исследования.* Процесс оценки критериев качества чугунных валков путем математического моделирования. *Материалы и методики исследований.* Оптическая микроскопия, твердомер Шора, математическое моделирование. *Результаты и их обсуждение.* Установлено влияние химического состава листопрокатных валков исполнения ЛПХ17НМдц-63 на их твердость. Получено уравнение регрессии, описывающее соотношения химическим составом рабочего слоя валков (~ 90 мм) и их твердостью до термической обработки (отжига). Отмечается повышенное содержание хрома (до 17%), влияющее на образование стойких карбидов. Это приводит к повышению твердости рабочего слоя валков, однако при этом снижается их термическая стойкость. Погрешность прогноза показателей твердости составляет до 7%. *Выводы.* Получена математическая модель прогноза твердости листопрокатных чугунных валков, позволяющая оперативно оценивать их твердость в процессе производства с минимальными затратами.

*Ключевые слова:* химический состав; чугунные валки; твердость; прогноз; математическая модель

## MODEL OF ASSESSMENT OF SILICONE ROLLERS

BOL'SHAKOV V. I.<sup>1</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
ROGKO I. I.<sup>2</sup>, *Master of Engineering.*

<sup>1</sup> Department of Materials Science, State Higher Educational Establishment "Pridneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernishevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: [bolshakov@mail.pgasa.dp.ua](mailto:bolshakov@mail.pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

<sup>2</sup> Department of Materials Science, State Higher Educational Establishment "Pridneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernishevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: [mom@mail.pgasa.dp.ua](mailto:mom@mail.pgasa.dp.ua)

**Summary. Formulation of the problem.** Establishing the relationship between the structure and properties of materials is one of the main tasks of modern materials science. This problem is mainly due to the incompleteness of formal axiomatics in the identification of the structure of materials. In this paper, it is proposed to use fractal analysis to predict the mechanical characteristics of tubular steels to partially compensate for the incompleteness of the formal structure axiomatics. The urgency of the choice of this approach is due to the need for non-destructive testing of these pipe characteristics during their operation. **Object of study.** The process of assessing the quality criteria for cast iron rolls by mathematical modeling. **Materials and methods of research.** Optical microscopy, Shore hardness tester, mathematical modeling. **Results and its discussion.** The influence of the chemical composition of sheet rolling rolls of the performance ЛПХ17НМдц-63 on their hardness is established. The regression equation describing the relationship between the chemical composition of the working layer of rolls (~ 90 mm) and their hardness before thermal treatment (annealing) is obtained. There is an increased content of chromium (up to 17%), which affects the formation of persistent carbides. This leads to an increase in the hardness of the working layer of the rolls, but at the same time their thermal stability decreases. The error in predicting hardness is up to 7%. **Conclusions.** A mathematical model of the hardness prediction of sheet-rolled cast-iron rolls is obtained, which makes it possible to quickly evaluate their hardness in the production process with minimal costs.

*Key words: chemical composition; cast-iron felling; hardness; forecast; mathematical model*

**Постановка задачі.** Чавуни на сьогоднішній день являються одним із базових матеріалів металургійного комплексу України [1]. Вони використовуються для виготовлення багатьох деталей та виробів відповідального призначення. Зокрема з них виготовляють прокатні валки для металургійних підприємств. Від якості прокатних валків напряму залежить якість металопродукції, що випускається, тому контролю їх механічних характеристик приділяється особлива увага.

Для вирішення задачі контролю якості металопродукції зі сталі та чавуну та інших матеріалів [2-5], зокрема критеріїв якості прокатних валків, застосовуються різні методики як натурних іспитів, так і математичних методів моделювання [6-12]. Математичні методи в матеріалознавстві застосовуються у випадках оперативної оцінки тих чи інших показників якості, або коли неможливо провести прямі іспити на самому виробі з металу.

Оскільки технологія виробництва валків являється багатопараметричною та багатокритеріальною [8, 13], вирішено для оцінки показників їх твердості застосувати математичне моделювання.

**Об'єктом дослідження** являвся процес оцінки критеріїв якості чавунних листопрокатних валків виконання ЛПХ17НМдц-63 шляхом математичного моделювання.

**Матеріали і методики досліджень.** Валки виконання ЛПХ17НМдц-63 відносяться по призначенню до листопрокатних (Л), по формі графітних включень в структурі є пластинчатий графіт (П), поверхня робочого шару легована хромом (Х) до 17 %, нікелем (Н) та молібденом (М), двошаровий валок (д), виготовлений методом центробіжного лиття (ц) [4, 5].

В таблиці 1 наведено хімічний склад робочого шару та сірої зони листопрокатного валку без термічної обробки.

Таблиця 1

Хімічний склад валка, % від маси

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Mg
2,75	1,08	0,94	0,039	0,033	16,5	1,32	1,24	0,058	0,049	-
3,35	1,92	0,50	0,056	0,012	0,40	0,44	0,036	0,053	0,014	0,043

Розмір чавунних валків марки ЛПХ17НМдц-63 становить: діаметр бочки 550 довжиною 1500 мм (550×1500 мм).

В таблиці 2 наведені значення твердості бочки валка, визначені за методом Шора (ГОСТ 23273-78)

на Дніпропетровському заводі прокатних валків (ДЗПВ). При визначенні твердості валків за методом Шора контрольні заміри здійснювалися в трьох точках, що рівномірно розташовані по довжині низа бочки валка.

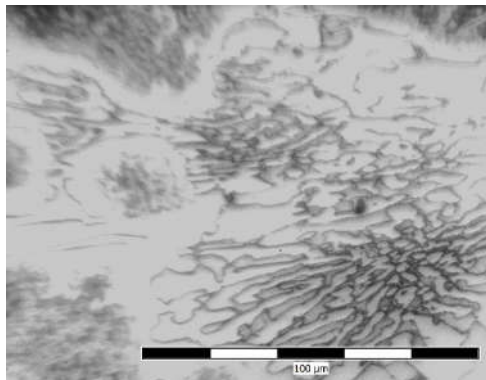
Таблиця 2

**Твердість низа бочки валка, HSD (від чистового діаметру)**

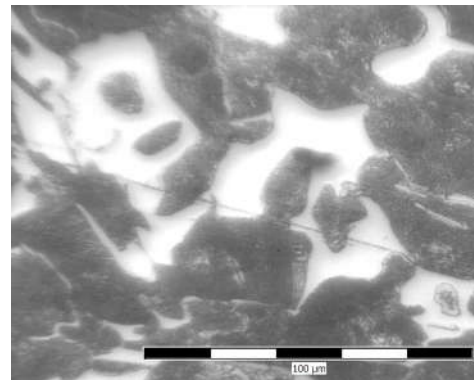
ЛПХ17НМдц-63	
1	76/5-35мм, 74/45мм, 68/50мм, 58/55мм, 49/60мм, 47/65-75мм
2	76/5-35мм, 73/45мм, 69/50мм, 58/55мм, 51/60мм, 48/65-75мм
3	75/5-35мм, 74/45мм, 68/50мм, 57/55мм, 50/60мм, 47/65-75мм

На рис. 1 представлена мікроструктура чавуну. Матриця білої поверхневої зони складається з зони складається з перліту та цементиту (б).

аустеніту з включеннями карбідів (цементиту), подекуди зустрічається перліт (а). Матриця сірої



а



б

Рис. 1. Структура низу бочки валка: металева матриця білої зони (а), металева матриця сірої зони (б)

**Результати та їх обговорення.** Робочу зону листопрокатних чавунних валків виконання ЛПХ17НМдц-63 легують хромом. Хром є одним з активних карбідотворюючих елементів. У валкових розплавах хром утворить стійкі карбіди, підвищує твердість і глибину вибіленого шару, але при цьому також інтенсивно збільшує глибину перехідної зони, знижуючи механічну міцність і термічну стійкість валка.

Відповідно до проведеного аналізу літературних джерел і штатної технології виробництва валків основними характеристиками, що впливають на якість литих валків, є: хімічний склад, структура і впливають на неї технологічні параметри, включаючи, в першу чергу, умови охолодження та термічну обробку [4, 5, 13].

Незважаючи на те, що існує багато моделей оцінки характеристик якості листопрокатних чавунних валків, однак всі воно мають певні розбіжності, що інколи не задовольняють потребам замовника. Відхилення показників прогнозу від даних експерименту можна пояснити з позицій

багатопараметричності технології виробництва валків, коли навіть незначні відхилення, наприклад, по хімічному складу, можуть призвести до значного відхилення механічних властивостей.

Для оцінки показників твердості робочого шару листопрокатних чавунних валків виконання ЛПХ17НМдц-63 отримане рівняння регресії:

$$\text{HSD} = 9,180 \cdot \text{C} + 1,037 \cdot \text{Si} - 0,680 \cdot \text{Mn} - 2,060 \cdot \text{P} - 3,769 \cdot \text{S} - 2,135 \cdot \text{Ni} + 2,235 \cdot \text{Cr} - 1,654 \cdot \text{Mn} \cdot \text{P} - 1,938 \cdot \text{P} \cdot \text{Ni} - 2,526 \cdot \text{S} \cdot \text{Ni} + 3,984 \cdot \text{C} \cdot \text{Si} \cdot \text{Mn}$$

Похибка при порівнянні експериментальних та розрахункових значень показників твердості не перевищує 7%, що свідчить адекватність отриманої моделі.

**Висновки.** Отримане рівняння дозволяє прогнозувати показники твердості за Шором чавунних валків виконання ЛПХ17НМдц-63, що дає можливість коригувати хімічний склад в процесі їх виробництва.

#### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Большаков Вад. И. Теория и практика загрузки доменных печей / Вад. И. Большаков. – Москва : Metallurgiya, 1990. – 256 с.
2. Гуляев А. П. Металловедение / А.П. Гуляев. – Москва : Metallurgiya, 1977. – 650 с.
3. Бунин К. П. Основы металлографии чугуна / К. П. Бунин, Я. Н. Малиночка, Ю. Н. Таран. – Москва : Metallurgiya, 1969. – 416 с.
4. Кривошеев А. Е. Литые валки / А. Е. Кривошеев. – Москва : Metallurgizdat, 1957. – 360 с.

5. Скобло Т. С. Прокатные валки из высокоуглеродистых сталей / Т. С. Скобло, Н. М. Воронцов, Н. А. Будагьянц и др. – Москва : Metallurgiya, 1994. – 336 с.
6. Mishutn A. Modified expanded clay lightweight concretes for thin-walled reinforced concrete floating structures / A. Mishutn, S. Kroviakov, O. Pishev, B. Soldo // Technical Journal. – 2017. – Vol. 11, № 3. – P. 121–124. – Режим доступа: <https://hrcak.srce.hr/186657>
7. Кровяков С. О. Порівняння ефективності застосування зерен пониженої пружності і дисперсного армування при керуванні властивостями дрібнозернистого бетону / С. О. Кровяков // Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ, 2010. – № 14. – С. 163–168.
8. Большаков В. И. Этапы идентификации многопараметрических технологий та шляхи їх реалізації / В. И. Большаков, В. М. Волчук, Ю. И. Дубров // Вісник Національної академії наук України. – Київ, 2013. – № 8. – С. 66–72. – Режим доступа: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/67873>
9. Большаков В. И. Особенности применения мультифрактального формализма в материаловедении / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Доповіді Національної академії наук України. – Київ, – 2008. – № 11. – С. 99–107. – Режим доступа : <http://www.dopovidi.nas.gov.ua/2008-11/08-11-17.pdf>
10. Большаков В. И. О прогнозировании качества целевого продукта в периодических технологиях / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Доповіді Національної академії наук України. – Київ, – 2014. – № 11. – С. 77–81. – Режим доступа <https://doi.org/10.15407/dopovidi2014.11.077>
11. Большаков Вад. И. Системный анализ технологии производства массивного металлического лиття / Вад. И. Большаков, В. И. Большаков, В. М. Волчук, Ю. И. Дубров // Вісник Національної академії наук України. – Київ, 2015. – № 9. – С. 69–73. – Режим доступа: <http://doi:10.15407/visn2015.09.069>
12. Большаков В. И. Топологические и фрактальные инварианты структуры для оценки качества металла / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Доповіді Національної академії наук України. – Київ, – 2017. – № 4. – С. 42–48. – Режим доступа <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.04.042>
13. Дубров Ю. Пути индентификации периодических многокритериальных технологий / Ю. Дубров, В. Большаков, В. Волчук. – Саарбрюккен : Palmarium Academic Publishing, 2015. – 236 с.

## REFERENCES

1. Bolshakov Vad.I. *Teoriya i praktika zagruzki domennykh pechey* [Theory and practice of charging blast furnaces]. Moscow: Metallurgiya, 1990, 256 p. (in Russian).
2. Gulyaev A.P. *Metallovedeniye* [Metallurgy]. Moscow: Metallurgiya, 1977, 650 p. (in Russian).
3. Bunin K.P., Malinochka Ya.N., Taran Yu.N. *Osnovy metallografii chuguna* [Foundations of metallurgy of cast iron]. Moscow: Metallurgiya, 1969, 416 p. (in Russian).
4. Krivosheev A.E. *Lityye valki* [Cast-in-rolls]. Moscow: Metallurgizdat, 1957. 360 p. (in Russian).
5. Skoblo T.S., Vorontsov N.M., Budagyants N.A. and others. *Prokatnyye valki iz vysokouglerodistykh staley* [Rolling rolls made of high-carbon steels]. Moscow: Metallurgiya, 1994, 336 p. (in Russian).
6. Mishutn A., Kroviakov S., Pishev O., Soldo B. Modified expanded clay lightweight concretes for thin-walled reinforced concrete floating structures. *Technical Journal*. 2017. vol. 11. no. 3, pp. 121–124.
7. Kroviakov S.O. *Porivnyannya efektyvnosti zastosuvannya zeren ponyzhenoyi pruzhnosti i dyspersnoho armuvannya pry keruvanni vlastyvostyamy dribnozernystoho betonu* [Comparison of the efficiency of applying grains of reduced elasticity and disperse reinforcement in controlling the properties of fine-grained concrete]. *Naukovyy visnyk Luhans'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky*. [Scientific herald of the Lugansk National Agrarian University. Series: Engineering]. Lugansk, 2010, no. 14, pp. 163–168. (in Ukrainian).
8. Bol'shakov V. I., Volchuk V. N., Dubrov Yu. I. *Etapy identyfikatsiyi bahatoparametrychnykh tekhnolohiy ta shlyakhy yikh realizatsiyi* [Stages multiparameter identification technologies and ways of their implementation]. *Visnyk Natsional'noyi akademiyi nauk Ukrayiny* [Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine]. Kyiv, 2013, no. 8, pp. 66–72. (in Ukrainian).
9. Bolshakov V.I., Volchuk V.N., Dubrov Yu.I. *Osobennosti primeneniya mul'tifraktal'nogo formalizma v materialovedenii* [Features of the multifractal formalism in materials]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine]. Kyiv, 2008, no. 11, pp. 99–107. (in Russian).
10. Bolshakov V.I., Volchuk V.N., Dubrov Yu.I. *O prognozirovanii kachestva tselevogo produkta v periodicheskikh tekhnologiyakh* [Predicting the quality of a desired product in periodic technologies]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine]. Kyiv, 2014, no. 11, pp. 77–81. (in Russian).
11. Bol'shakov Vad.I., Bol'shakov V.I., Volchuk V.N., Dubrov Yu.I. *Systemnyy analiz tekhnolohiyi vyrobnystva masyvnogo metal'evoho lyttya* [System analysis techniques of producing solid metal castings]. *Visnyk Natsional'noyi akademiyi nauk Ukrayiny* [Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine]. Kyiv, 2015, no. 9, pp. 69–73. (in Ukrainian).

12. Bolshakov V.I., Volchuk V.M., Dubrov Yu.I. *Topologicheskiye i fraktal'nyye invarianty struktury dlya otsenki kachestva metalla* [Topological and fractal invariants of a structure to assess the quality of a metal]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine]. Kyiv, 2017, no. 4, pp. 42–48. (in Russian).
13. Dubrov Yu., Bolshakov V., Volchuk V. *Puti identifikatsii periodicheskikh mnogokriterial'nykh tekhnologiy* [Road periodic identification of multi-criteria Technology]. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2015, 236 p. (in Russian).

*Рецензенти: Дубров Ю.І. д-р т. н., проф., Волчук В.М. д-р т. н., доц.*

*Стаття рекомендована до публікації д-ром. техн. наук, проф. Ю.І. Дубровим (Україна), д-ром. техн. наук, доц. В.М. Волчуком (Україна)*