

УДК: 65.03 + 621.771.07

*Биткін С.В., к.т.н., заступник директора з маркетингу та ЗЕД –
начальник відділу маркетингу ВАТ «Запоріжсталь»,
Бобраков О.В., ведучий спеціаліст-аналітик з вивчення товарного ринку
відділу маркетингу ВАТ «Запоріжсталь»,
Литвин В.М., к.е.н., директор з маркетингу та ЗЕД ВАТ «Запоріжсталь»*

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ «ЦІНА-ЯКІСТЬ» ДЛЯ ВИСОКОХРОМИСТИХ І ІНДЕФІНІТНИХ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ У РІЗНИХ КРАЇНАХ СВІТУ

З метою визначення оптимального постачальника і технології виготовлення чавунних прокатних валків запропонована практична методика розрахунку порівняльної ефективності використання високохромистих і індефінітних чавунних робочих валків для клітей №3-10 стана гарячого прокату 1680, виготовлених у різних країнах світу. Зроблені висновок про те, що аналіз експлуатаційної стійкості прокатних валків (напрацювання) у зв'язку з ціною валків дозволяє визначити економічну доцільність їх застосування і виявити, оптимального постачальника чавунних робочих валків для експлуатації на стані гарячого прокату в умовах комбінату.

In order to determine the optimal supplier and production technology of cast-iron rolls, a practical method for calculating the comparative effectiveness of using the high-chromium and indefinite cast-iron rolls produced in different countries, for stands № 3-10 of hot-strip mill 1680 is offered. It is concluded that the analysis of the rolls' service durability in connection with the price of rolls makes it possible to determine the economic practicability of their applying and to determine the optimal supplier of cast-iron work rolls for operating on hot-strip mill of Iron & Steel Works Zaporizhstal.

Постановка проблеми. У прокатному виробництві [1] валки є основним технологічним інструментом і виконують пластичну деформацію заготовки для придання їй необхідних розмірів, форми і якості поверхні.

Найбільш складними умовами експлуатації характеризуються стани гарячої прокатки, в яких валки, у процесі прокатки, піддаються дії згинальних і крутних моментів, що викликає значні напруги в їхньому матеріалі. Робоча поверхня одночасно зазнає значної дії контактної тертя, динамічних і знакозмінних температурних навантажень, що призводить до механічного стирання поверхні валків, відриву частинок металу від них і сколюванню. Крім цього, під впливом багаторазових нагрівань і охолоджень, що швидко чергуються, робоча частина піддається знакозмінній нарузі, внаслідок чого утворюється дрібна сітка розпалу, що сприяє зносу. У зв'язку з цим валки повинні характеризуватися стійкістю до зносу, дії ударних і температурних навантажень, згинаючих і крутних моментів [2].

Аналіз досліджень та публікацій. У світовій практиці [3] виробництво прокатних валків розвивається шляхом застосування відцентрового лиття, що розширює використання для робочого шару зносостійких, але складних з технологічної точки зору сплавів, наприклад, високохромистих чавунів. В Україні також розроблений [4, 5] технологічний процес виробництва валків листових станів гарячої прокатки з робочим шаром із спеціального чавуну.

Аналіз зарубіжних інформаційних джерел, проведений в [6], показав, що при виробництві валків чистових клітей листових станів гарячої прокатки для підвищення експлуатаційних властивостей (зносостійкості, зменшення схильності до окислення, термостійкості) для робочого шару за кордоном застосовують високохромисті сплави, що містять у своєму складі: 12–20% Cr, 0,4–0,6% Si, 0,8–1,2% Mn, 0,8–3,0% Ni, а також у невеликих кількостях додають ванадій, титан, ніобій або бор. Проте в роботі [7] на основі даних мікроаналізу хромистих білих чавунів встановлено межі впливу хрому на формування в них карбідів різного типу; виявлено, що вже при вмісті 10% хрому в білих зносостійких чавунах утворюються карбіди Me₇C₃ і Me₂₃C₆, подальше збільшення вмісту хрому збільшує вміст карбіду Me₂₃C₆, але не дає значного збільшення зносостійкості чавунів, тому для отримання зносостійких білих чавунів вміст хрому досить утримувати на рівні 10–12%.

У таких сплавах концентрація вуглецю змінюється в межах 2,4–3,4%. Для прокатних валків з робочим шаром із спеціального чавуну і серцевиною з високоміцного або сірого показано, що їх надійна робота визначається фазовим складом сплаву [8]. Підвищення стійкості валків з такого матеріалу визначається стабільністю матриці.

Особливість робочого шару високохромистих валків пов'язана з утворенням як звичайних карбідів [Fe, Cr]₃C, так і спеціальних – [Cr, Fe]₇C₃, [Cr, Fe]₂₃C₆, причому підвищення експлуатаційних властивостей в першу чергу пов'язують з утворенням [Cr, Fe]₇C₃.

Нарівні з хімічним складом на процес структуроутворення впливають і технологічні параметри лиття. Проте відсутність інформації щодо обладнання, яке застосовується і технологічних параметрах відцентрового лиття зарубіжних фірм, не дозволяє оцінити відомі технічні рішення [9, 10, 11] з точки зору підвищення службових властивостей прокатних валків, які б задовольняли вимогам по твердості, глибини робочого шару і напрацювання. Необхідно оптимальне поєднання цих параметрів для отримання максимального напрацювання валків.

У процесі затвердіння масивної виливки формується підвищений рівень залишкових напружень, особливо в валках з робочим шаром із спеціального чавуну, порівняно з іншими типами валків. Повністю усунути залишкові напруження не представляється можливим, але виробникам валків необхідно забезпечити поєднання певних механічних властивостей і рівня залишкових напружень, які гарантують високі експлуатаційні характеристики валків.

На стабільність фази карбиду і матриці чавуну, зниження рівня залишкових напружень істотно впливає термічна обробка [12].

У світовій практиці для зниження залишкових напружень набув поширення низькотемпературний отжиг, проте в інформаційних матеріалах потенційних зарубіжних постачальників відсутні докладні відомості про параметри термічної обробки високохромистих прокатних валків, що визначають властивості валків кожного конкретного призначення при експлуатації.

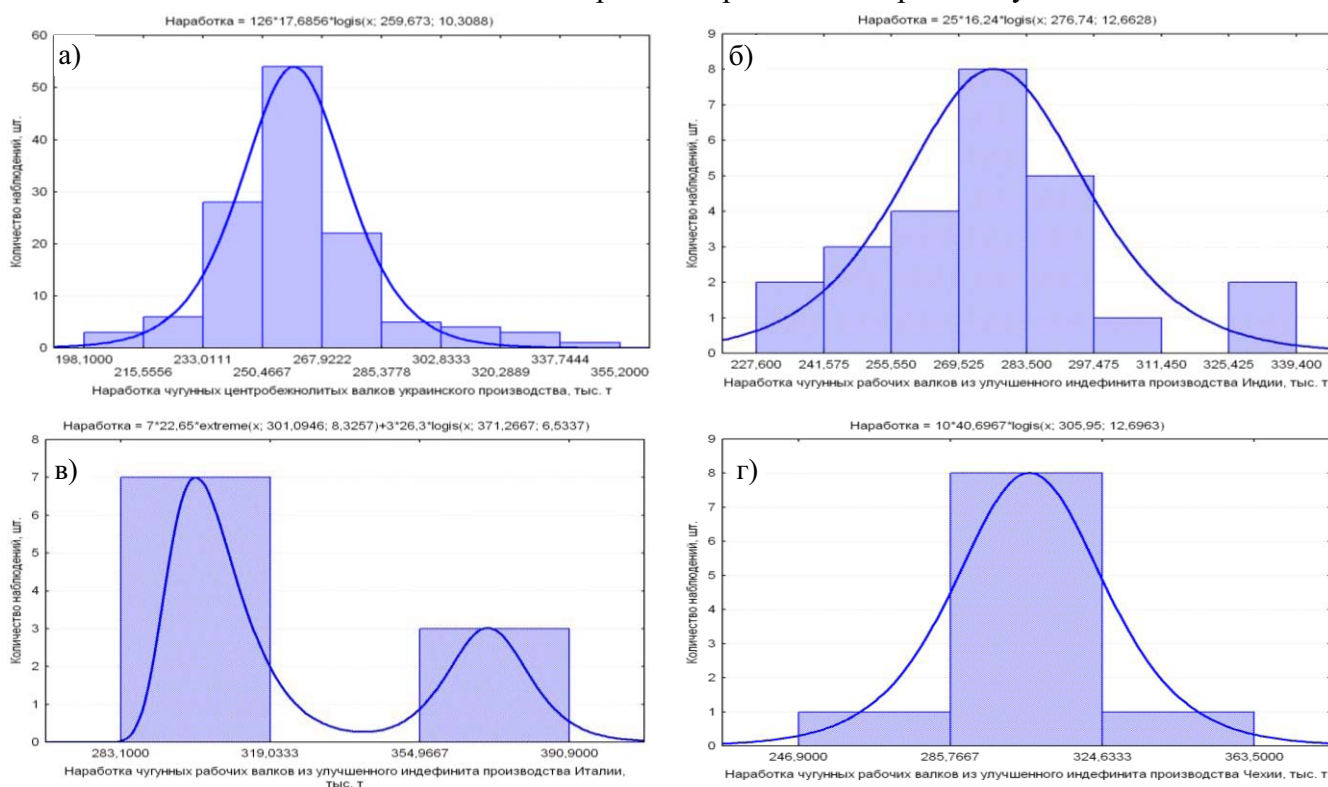


Рис. 1. Найбільш вірогідне напрацювання:

- а) відцентроволитих валків українського виробництва;
- б) індефінітних валків виробництва Індії;
- в) індефінітних валків виробництва Італії (бімодальний розподіл);
- г) індефінітних валків виробництва Чехії.

Для прогнозування експлуатаційної стійкості валків, і, отже, обґрунтованого вибору постачальника, необхідний порівняльний аналіз існуючих технологій виробництва, пропонує до постачання валків різних фірм, оцінка комплексного впливу технологічних параметрів лиття та термообробки на якість металу робочого шару і його зв'язок з фізико-механічними властивостями виробу. Імпортер при закупівлі валків не має можливості отримати цю інформацію, навіть з використанням методів конкурентної розвідки [13, 14]. Більше того, навіть наявність цих даних і їх правильна оцінка не гарантують ефективної експлуатації валків через відсутність теоретичних методів прогнозування впливу особливостей технології прокатки на експлуатаційну стійкість валків у виробничих умовах конкретного стану. Отже, можливі тільки статистичні методи оцінки і прогнозування ймовірності прокатки валками, виготовленими різними підприємствами, певної кількості металу. Фактично, необхідне рішення класичної задачі – вибір постачальника з використанням статистичного аналізу співвідношення «ціна-якість».

Для вирішення поставленого завдання проведено статистичний аналіз експлуатаційної стійкості прокатних відцентроволитих валків, виготовлених із застосуванням різних технологій.

Використовуючи статистичні дані про кількість металу, прокатаного із застосуванням високохромистих і індефінітних чавунних робочих валків кожного з постачальників, за допомогою програми STATISTICA 6.0 побудуємо гістограми розподілу та визначимо найбільш вірогідні напрацювання валків на відмову.

Розподіл напрацювань індефінітних робочих валків виробництва Індії, Італії, Чехії та близьких до них за технічними властивостями відцентроволитих робочих валків виробництва України, виведених з експлуатації в 2010–2011 р., представлено на рис. 1.

Розподіл напрацювання високохромистих робочих валків виробництва Індії та Чехії, виведених з експлуатації в 2010–2011р., представлено на рис. 2.

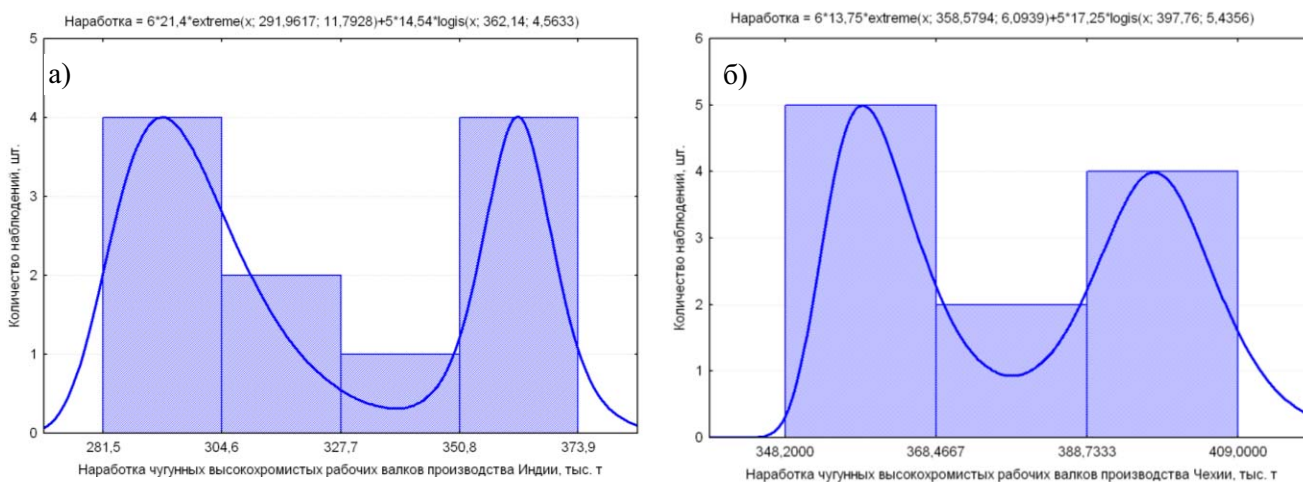


Рис. 2. Найбільш вірогідне напрацювання:

- а) високохромистих валків виробництва Індії (бімодальний розподіл);
- б) високохромистих валків виробництва Чехії (бімодальний розподіл).

В результаті природного зносу робочого шару з експлуатації виведено два високохромистих валка виробництва Італії. При кількості значень менше трьох недоцільна побудова гістограми щільності розподілу, у зв'язку з чим для зіставлення напрацювання високохромистих валків виробництва Італії з напрацюванням інших виробників застосовується значення середнього напрацювання: 408400 т.

Середньозважені значення напрацювання прокатних валків, виведених з експлуатації, визначаються за формулою (1):

$$\int_{n1}^{n2} f(x) \cdot x dx \quad (1)$$

де: n1 і n2 межі інтегрування: n1 = 0 - мінімально можливе напрацювання прокатного валка, і n2 = 500 - оскільки напрацювання 500 тис. т/валок не досягнуто валками жодного з розглянутих постачальників;

f(x) – функція щільності розподілу:

$$f(x) = \left[\frac{1}{b} \cdot e^{-\frac{(x-a)}{b}} \cdot e^{-e^{-\frac{(x-a)}{b}}} \right] \quad \text{- функція екстремального розподілу;}$$

$$f(x) = \left(\frac{1}{b} \right) \cdot e^{-\frac{(x-a)}{b}} \cdot \left[1 + e^{-\frac{(x-a)}{b}} \right]^{-2} \quad \text{- функція логістичного розподілу.}$$

Розраховані середньозважені значення напрацювань відцентроволитих валків виробництва України та індефінітних робочих валків виробництва Індії, Італії, Чехії представлені в табл. 1.

Таблиця 1.

№	Вид чавунних валків, країна виробництва	Середньозважені значення напрацювання валків, тис. т прокату на 1 валок
1.	Відцентроволиті валки виробництва України	$\int_0^{500} f(x) \cdot x dx = 259,673$
2.	Індефінітні валки виробництва Індії	$\int_0^{500} f(x) \cdot x dx = 276,74$
3.	Індефінітні валки виробництва Чехії	$\int_0^{500} f(x) \cdot x dx = 305,95$
4.	Індефінітні валки виробництва Італії	$\frac{\int_0^{500} f1(x) \cdot x dx + \int_0^{500} f2(x) \cdot x dx}{2} = 338,061$

Розраховані середньозважені значення напрацювань високохромистих робочих валків виробництва Індії, Італії, Чехії представлені в табл. 2.

Таблиця 2.

№	Вид чавунних валків, країна виробництва	Середньозважені значення напрацювання валків, тис. т прокату на 1 валок
1.	Високохромисті валки виробництва Індії	$\frac{\int_0^{500} f1(x) \cdot x dx + \int_0^{500} f2(x) \cdot x dx}{2} = 328,368$
2.	Високохромисті валки виробництва Чехії	$\frac{\int_0^{500} f1(x) \cdot x dx + \int_0^{500} f2(x) \cdot x dx}{2} = 379,738$
3.	Високохромисті валки виробництва Італії	408,400 (середнє значення для двох валків)
4.	Високохромисті валки виробництва України	Дані відсутні

Визначимо економічну доцільність застосування валків з урахуванням їх напрацювання. Для оцінки порівняльної економічної ефективності використання чавунних робочих валків розрахуємо орієнтовну частку витрат на виробництво 1 т прокату, які припадають на закупівлю чавунних робочих валків (питома вартість 1 т прокату, що припадає на вартість валка), як відношення вартості одного валка до значення середньозваженого напрацювання.

Порівняння параметрів індефінітних та відцентроволитих робочих валків виробництва Індії, Італії, Чехії та України представлено в табл. 3.

Таблиця 3.

№	Країна виробництва, вид валків	Середньозважене напрацювання, т прокату/валок	Ціна за 1 валок, (DDP, м. Запоріжжя, грн., без ПДВ)	Орієнтовна частка витрат на виробництво 1 т прокату
1.	Україна (відцентроволиті)	259673	197700,00	$\frac{197700}{259673} = 0,761$ грн.
2.	Індія (індефінітні)	276740	197505,00	$\frac{197505}{276740} = 0,713$ грн.
3.	Чехія (індефінітні)	305950	245804,00	$\frac{245804}{305950} = 0,803$ грн.
4.	Італія (індефінітні)	338061	299250,00	$\frac{299250}{338061} = 0,885$ грн.

Порівняння параметрів високохромистих робочих валків виробництва Індії, Чехії та Італії представлено в табл. 4.

Проте ринок виробників чавунних прокатних валків є набагато більшим і на ньому також представлені виробники з Німеччини, Швеції, Бразилії та інші. Бімодальний розподіл цін на індефінітні чавунні валки за країнами виробниками представлений на рис. 3.

Таблиця 4.

№	Країна виробництва, вид валків	Середньозважене на-працювання, т прокату/валок	Ціна за 1 валок, (DDP, м. Запоріжжя, грн., без ПДВ)	Орієнтовна частка витрат на виробництво 1 т прокату
1.	Індія (високохромисті)	328368	209475,00	$\frac{209475,00}{328368} = 0,637$ грн.
2.	Чехія (високохромисті)	379738	248497,20	$\frac{248497,20}{379738} = 0,654$ грн.
3.	Італія (високохромисті)	408400	329175,00	$\frac{329175,00}{408400,00} = 0,806$ грн.

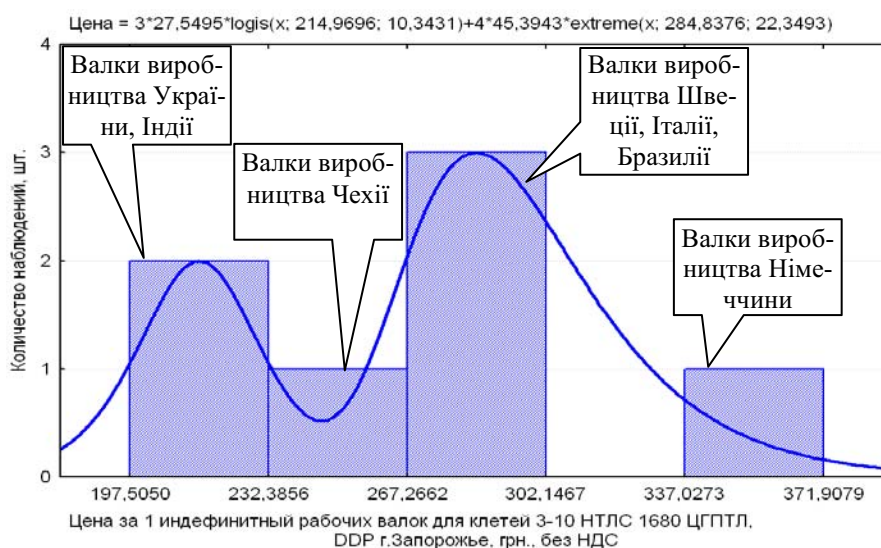


Рис. 3. Бімодальний розподіл цін на чавунні індефінітні робочі валки за країною виробництва.

Бімодальний розподіл цін на високохромисті чавунні валки за країнами виробниками представлений на рис. 4.

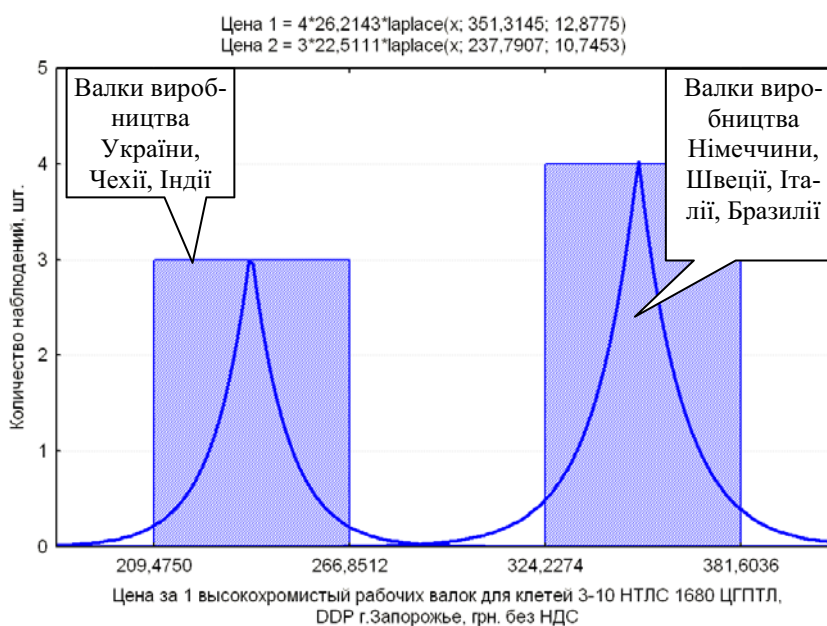


Рис. 4. Бімодальний розподіл цін на чавунні високохромисті робочі валки за країною виробництва.

Висновки.

1. Застосована методика статистичного аналізу експлуатаційної стійкості чавунних прокатних валків (напрацювання) у зв'язку з ціною валків дозволяє визначити економічну доцільність їх застосування і виявити оптимального постачальника.

2. Найбільшу економічну доцільність використання на стані гарячого прокату мають чавунні відцентроволиті валки українського виробництва і високохромисті валки виробництва Чехії, враховуючи, що індефінітні та високохромисті чавунні валки виробництва Індії недостатньо адаптовані до експлуатації в умовах українських металургійних підприємств.

3. Ринок виробників чавунних прокатних валків є великим за обсягом і конкурентним, проте, в залежності від цін, поділяється на наступні групи за країнами-виробниками: до першої групи входять – Україна, Індія, Чехія; до другої – Німеччина, Швеція, Італія, Бразилія.

4. Методика статистичного аналізу, запропонована у статті, носить універсальний характер і може бути використана при імпорті будь-яких товарів промислово-технічного призначення.

Література

1. Коновалов Ю.В. Справочник прокатчика. Справочное издание в 2-х книгах. Книга 1. Производство горячекатаных листов и полос. – М.: «Теплотехник», 2008. – 640 с.
2. Жижкина Н.А., Костин В.В. Исследование качества рабочего слоя рабочих валков // Вісник КДПУ імені М. Остроградського. Випуск 4/2009 (57). Частина 2, стор.72–75. [Електронний ресурс]. – Режим доступу / http://www.nbu.gov.ua/portal/Natural/Vkdpu/2009_4_2/PDF_4_2009_ch2/72.pdf.
3. V.Šumšal, V.Vodárek, P. Kawułek. Progressive steels used for working layer of rolls. MeTal 2010, 18 - 20. 05. 2010, Rožnov pod Radhoštěm, Česká Republika. [Електронний ресурс]. Режим доступу / <http://www.nanocon.cz/data/metal2010/sbornik/lists/papers/140.pdf>.
4. Балаклеєв І.А., Долгих П.П., Погорелов В.Я., Филиппов В.С., А.В. Шамрин, Сирота А.А.. Производство и эксплуатация центробежнолитых прокатных валков // Сталь. – №1. – 2008. – С. 45–47 [Електронний ресурс]. – Режим доступу / http://www.nmt.dp.ua/images/files/valki_2.pdf.
5. Балаклеєв І.А., Филиппов В.С., Сирота А.А., Погорелов В.Я., Саушкин В.П. Опыт освоения производства центробежнолитых валков на ЛГНПБК// Литейное производство. – № 6. – 2007. – С. 26–27 [Електронний ресурс]. – Режим доступу / <http://www.nmt.dp.ua/images/files/valki1.pdf>.
6. Жижкина Н.О. Технология производства, якість і властивості відцентроволитих валків з високохромистим чавуном у робочому шарі. Спеціальність 05.16.04 – Ливарне виробництво. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Київ, 2002.
7. Петраков О. В. Исследование и разработка технологии получения биметаллических отливок прокатных валков с высокой эксплуатационной стойкостью рабочего слоя. Специальность 05.02.01. – Материаловедение в машиностроении. Автореферат диссертации... кандидата технических наук. Москва, 2007.
8. Обзор материалов валков [Електронний ресурс] / WALZEN IRLE. – Режим доступу: <http://www.walzenirle.com/en/materials-steel-and-iron-industry/materials-overview-steel-and-iron-industry.html>.
9. Інформаційний сайт компанії Gontermann-Peipers [електронний ресурс] / Gontermann-Peipers. – Режим доступу: http://www.gontermann-peipers.de/uploads/media/GP_Image_russ.pdf.
10. Інтернет сайт компанії BRC [електронний ресурс] / BRC. – Режим доступу: <http://www.brcil.com/en/centrifugalcasting.htm>.
11. Інформаційний сайт ЗАО «Магнитогорский завод прокатных валков» [Електронний ресурс] / МЗПВ. – Режим доступу: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mzpv.ru/>.
12. Кечин В.А., Селихов Г.В., Афонин А.Н. Проектирование и производство литых заготовок: Учеб. пособие / Владим. гос. ун-т. Владимир, 2002. – 228 с. [Електронний ресурс] EDU. – Режим доступу: http://window.edu.ru/window_catalog/files/r36794/kechin_vlsu.pdf.
13. Кохно П.А. Конкурентная разведка в высокотехнологичном промышленном производстве // Военная мысль, 2010. – №9. – С. 28–43. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://victorvoksanaev.narod.ru/3.pdf>.
14. Р-система. Введение в экономический шпионаж. Практикум по экономической разведке в современном российском предпринимательстве. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://tubin.do.am/_ld/1/191_r_sistema_vvede.pdf.