

Полякова Н.В., Бойко М.М., Чеченев В.А., Іващенко В.П.,
Журавльова С.В., Хричиков В.Є.

Контроль експлуатаційної стійкості валків гарячої прокатки з високохромистих чавунів та швидкорізальних сталей

Polyakova N.V., Boyko M.M., Chechenev V.A., Ivashchenko V.P.,
Zhuravlyova S.V., Hrychikov V.E.

Control of operating resistance of hot rolling rolls from high chromic cast iron and highspeed steel

Мета. Властивістю, що визначає якість матеріалів робочого шару прокатних валків вважається їх зносостійкість. Однак в умовах гарячої прокатки на її стабільність можуть вплинути такі властивості як корозійна стійкість та термостійкість. Поширеними матеріалами для виконання прокатних валків гарячої прокатки є білий високохромистий чавун та швидкорізальна сталь, питанням термостійкості яких у сучасній літературі не приділено достатньо уваги. Метою роботи є контроль якості високохромистого чавуну та швидкорізальної сталі як матеріалів валків гарячої прокатки за рахунок оцінки їх термостійкості. **Методика.** Експериментальні зразки високохромистого чавуну марки ІЧХ16НМФТ та швидкорізальної сталі марок Р5М5 та Р6М5 були піддані термоциклуванню за режимом: 200 циклів нагрівання до 600°C та охолодження до 20°C. Після випробувань оцінювали зміни мікроструктури та мікротвердості структурних. **Результати.** Представлені результати дослідження схильності матеріалів, що застосовуються для виробництва прокатних валків, до руйнування, викликаного термічною втомою. Досліджено умови зародження та зростання тріщин термічної втоми у білому високохромистому чавуні, оцінені структурні зміни, що відбуваються при термоциклуванні. На поверхні зразків білого високохромистого чавуну у процесі випробувань було виявлено утворення макро- та мікротріщин термічної втоми. Мікротріщини проходять по евтектичних карбіді, значною мірою поширюючись на залишковий аустеніт, по межі розділу карбіді з продуктами розпаду аустеніту. На поверхні зразків швидкорізальної сталі в описаних умовах випробувань тріщиноутворення не спостерігалося. Внаслідок термоциклування білого високохромистого чавуну відбувається зниження мікротвердості металевої матриці, а мікротвердість евтектичного карбіді у порівнянні з вихідним литим станом збільшується. Мікротвердість структурних складових швидкорізальної сталі змінюється менш істотно. **Наукова новизна.** Встановлено механізм впливу термоциклування білого високохромистого чавуну та швидкорізальної сталі на зносостійкість робочого шару прокатних валків з цих матеріалів. **Практична значущість.** Відбувається зниження зносостійкості прокатних валків з робочим шаром з високохромистого чавуну в литому стані внаслідок термовтомного руйнування під час експлуатації в умовах гарячої прокатки. Підвищити термостійкість високохромистого чавуну ІЧХ16НМФТ можна, за рахунок застосування спеціальних методів термообробки, спрямованих на отримання бейнітної структури металевої матриці. Рекомендуються враховувати показники термостійкості матеріалів прокатних валків гарячої прокатки як додатковий критерій контролю їх якості.

Ключові слова: високохромистий чугун, швидкорізальна сталь, прокатні валки, термічна втома, термоциклування.

Purpose. High chromium cast iron and high speed steel are used for rolling mill rolls production. In hot rolling processes tool's failure can be result from the combination of thermo-mechanical and chemical damage. A better knowledge of thermal fatigue destruction mechanisms in this material could be useful for a better appreciation of its service behaviour and lifetime. **Methodology.** The experimental specimens of high chromium cast iron and high speed steel were tested by mode: 200 cycles the heating to 600°C and cooling to 20°C. The changes in the microstructure and microhardness of structural components after tests are evaluate. **Findings.** The results of studies of materials used for rolling mill rolls production tendency to the destruction caused by thermal fatigue are presented. The influence thermal cycling on structure and properties high chromium cast iron and high speed steel was investigated. The tendency of white cast iron to thermal fatigue damage was shown. Peculiarities of thermal cracks nucleation and growth were studied. Microhardness of structural components after the tests was measured. The structural changes that occur during thermal cycling were analyzed. **Originality.** The mechanism of influence of thermal cycling of white high chromium cast iron and high speed steel on wear resistance of a working layer of rolled rolls from these materials is established. **Practical value.** It may be recommended to take into account thermal stability of materials hot rolling mill rolls as an additional criterion of quality.

Keywords: high chrome cast iron, high speed steel, rolling mill rolls, thermal fatigue, thermal cycling.

Вступ

Гаряча прокатка листа здійснюється з використанням у технологічному процесі двошарових прокатних валків. Для досягнення необхідних технологічних властивостей часто робочу частину (боч-

ку валка) виготовляють із зносостійких матеріалів, а вісь валка – з конструкційної сталі з необхідними характеристиками міцності. Матеріалами для виготовлення робочої поверхні валків можуть бути білий високохромистий чавун та швидкорізальна сталь.

Полякова Наталія Володимирівна – к.т.н., доц. УДУНТ,
Бойко Максим Миколайович – к.т.н., доц. УДУНТ,
Чеченев Володимир Андрійович – д.т.н., проф. УДУНТ,
Іващенко Валерій Петрович – д.т.н., проф. УДУНТ,
Журавльова Світлана Валеріївна – к.т.н., доц. УДУНТ,
Хричиков Валерій Євгенович – д.т.н., проф. УДУНТ.

Nataliya Polyakova - c.t.s., associate professor. USUST,
Maksym Boyko – c.t.s., associate professor. USUST,
Chechenev Volodymyr – d.t.s., Prof. USUST,
Ivashchenko Valery - d.t.s., Prof. USUST,
Zhuravlyova Svitlana - c.t.s., associate professor. USUST
Valery Khrychikov - d.t.s., Prof. USUST,

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Критерієм якості матеріалів, що застосовуються для формування робочого шару прокатних валків, є високі показники їх зносостійкості [1], яким повною мірою відповідають швидкорізальні сталі та білі високохромисті чавуни. Це зумовлено, насамперед наявністю у їх хімічному складі карбидоутворюючих елементів, зокрема – хрому. Раніше дослідження були спрямовані головним чином на досягнення показників зносостійкості цих матеріалів шляхом отримання раціональної структури, що їх забезпечує [2,3]. Нині є тенденція до розширення кола досліджуваних якостей матеріалів, з урахуванням конкретних умов їх експлуатації через те, що останні прямо чи опосередковано впливають на формування та/або зміну їх структури і, відповідно, збереження високих показників зносостійкості готових виробів [4-6].

Так, прокатні валки гарячої прокатки працюють у складних експлуатаційних умовах, що включають, окрім механічних навантажень, нагрівання тонкого поверхневого шару валка під час його контакту з металом до температур 600 °C і вище, та подальшого різкого охолодження водою до 50-150 °C [7]. Часто при цьому спостерігається високотемпературне окиснення поверхні валків, що може супроводжуватися погіршенням низки їх технологічних характеристик, зокрема зносостійкості. Деформація, викликана температурними полями може призводити до появи внутрішніх напруг у сплавах [8]. При змінному, циклічно повторюваному впливі високих температур, що чергується з різкими охолодженнями, сплави можуть піддаватися термічній втомі руйнуванню, пов'язаному з накопиченням залишкових термічних напруг в їх структурі. Кінцевим етапом цього виду руйнування є утворення термовтомних тріщин, яке може призводити до поступового погіршення опору зносу або навіть різкого виходу виробів з ладу [9]. У зв'язку з цим важливою технологічною характеристикою матеріалів робочого шару прокатних валків є здатність протистояти руйнуванню в наслідок термічної втоми, тобто. їх термостійкість. Відомо, що прокатні валки з високохромистого чавуну схильні до тендітного руйнування, причому більшою мірою, ніж валки, виготовлені з швидкорізальної сталі [10]. Значною мірою це пов'язано із сильною текстурованістю структури та високим вмістом міцних, але малопластичних карбідів.

Великий вміст дорогих легуючих елементів зумовлює високу вартість швидкорізальної сталі, у зв'язку з чим застосування високохромистого чавуну може бути більш економічним за досить тривалого терміну експлуатації прокатного валка.

Мета і завдання досліджень

Метою цього дослідження було контроль якості матеріалів з урахуванням експериментального

вивчення термостійкості білих високохромистих чавунів марки ІЧХ16НМФТ і швидкорізальних сталей марок Р6М5 і Р5М5, тобто. здатність цих сплавів протистояти термічній втомі та руйнуванню під впливом циклічних термічних навантажень.

Матеріали та методи дослідження

Для випробувань на термостійкість були виготовлені металеві зразки з високохромистого чавуну марки ІЧХ16НМФТ і сталі швидкорізальної марок Р6М5 і Р5М5.

Чавунні зразки були з поверхневої частини експериментальної виливки, що моделює прокатний валок, отриманої методом відцентрового лиття. Зовнішній шар виливка – білий високохромистий чавун, внутрішній шар – сірий нелегований чавун.

Зразки швидкорізальної сталі були вирізані з експериментальних заготовок, отриманих: литтям з подальшою деформацією, а також електрошлаковою наплавкою швидкорізальної сталі на стрижень сталі марки 40Х.

Форма металевих зразків – паралелепіпед з розмірами сторін 15х10х5 мм. Хімічний та фазовий склад зразків чавуну та сталі у вихідному стані характеризують дані, наведені відповідно в [11,12,13].

Металеві зразки випробовували протягом 200 циклів послідовного нагрівання та охолодження. На кожному з циклів зразки піддавали нагрівання до 600°C попередньо розігрітої муфельної лабораторної печі марки СНОЛ 2.4.2 /12,5/2 протягом 3 хв і подальшому охолодженню в проточній воді протягом 30-45 сек.

Мікроструктуру зразків до і після випробувань вивчали за допомогою мікроскопа «Neophot-21» у кілька етапів – безпосередньо після термоцикування, потім після легкої механічної обробки, що проводиться для зняття продуктів корозії, і, нарешті, після травлення зразків у 5% спиртовому азотному розчині. Етапність вивчення мікроструктурних показників зроблено у зв'язку з тим, що під час ретельної механічної обробки поверхні або при надмірному травленні міг бути знятий шар металу з мікротріщинами. Мікротвердість фаз та структурних складових визначали за допомогою мікротвердоміра PMT-3.

Результати дослідження

Детальні результати випробувань термостійкості зразків із високохромистого чавуну марки ІЧХ16НМФТ наведено у попередніх роботах [14, 15].

Так, при візуальному огляді поверхні зразків білого високохромистого чавуну у процесі випробувань було виявлено утворення макротріщин. Перші видимі неозброєним оком тріщини з'явилися після 25-30 циклів теплових змін. Виходячи з умов

утворення, вони були ідентифіковані тріщини термічної втоми.

Після 100 циклів тепловтоми при збільшеннях від $\times 60$ до $\times 200$ було вивчено морфологію термовтомних тріщин. Після 200 циклів тепловтоми при збільшеннях $\times 400$ – $\times 1000$ була спроба визначення місць зародження тріщин, напрямки та швидкості їх поширення на поверхні та вглиб зразків.

Після перших 100 циклів тепловтоми подальшого утворення нових тріщин не спостерігалось. Мали місце лише зростання, поглиблення та поширення тріщин. Це узгоджується з теорією [9], згідно з якою зародження всіх термоусталостних тріщин, що утворюються, відбувається вже під час першої тепловтоми, а подальшому, при продовженні термоцикування, відбувається лише зростання, поглиблення і поширення тріщин.

Мікроструктурні дослідження виявили утворення як широких, трохи розгалужених магістральних тріщин, видимих неозброєним оком, так і сітки мікротріщин, що ледь помітні на непідготовленій поверхні при невеликих збільшеннях. Зростання магістральних тріщин відбувається за довжиною зразків - від країв до центру граней. Ширина розкриття тріщин залежить від багатьох факторів, у тому числі, від можливості протікання корозійних процесів за хімічним та електрохімічним механізмом. Глибина тріщин залежить, головним чи-

ном, від величини залишкової напруги в металі [9]. Мікротріщини проходять евтектичним карбідом, значною мірою поширюючись на залишковий аустеніт, по межі розділу карбиду з продуктами розпаду аустеніту, іноді перетинаючи продукти розпаду аустеніту. Це узгоджується з теорією про зони пружної та пластичної деформації [9].

На поверхні зразків швидкорізальної сталі в описаних умовах випробувань тріщиноутворення не спостерігалось. Це може бути пов'язано з меншою кількістю карбідів у структурі зразків, на межах та в обсязі яких відбувалося зародження тріщин у високохромистому чавуні, іншою їхньою морфологією та більшою дисперсністю.

В результаті випробувань термічної втоми відбулася зміна структури: суттєва у зразках білого високохромистого чавуну та незначна у зразках швидкорізальної сталі, що було виявлено мікроструктурними дослідженнями та показано на рисунках 1 - 2.

На рисунку 1а представлена ділянка макротріщини, яка розташовується в області продуктів розпаду аустеніту. Її утворення викликане напругою, обумовленою об'ємними змінами при перекристалізації аустеніту. На рисунку 1б чітко видно мікротріщини, що проходять по евтектичному карбиду.

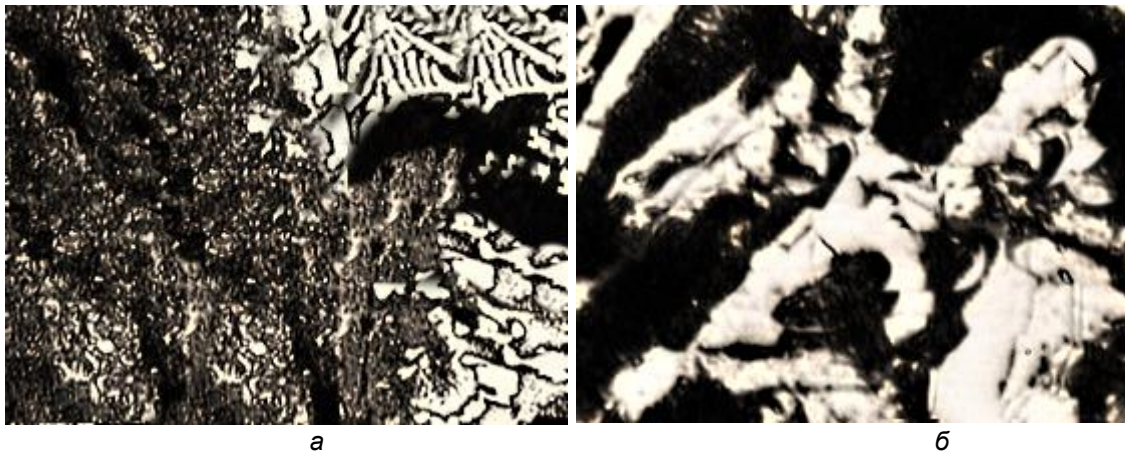


Рис. 1. Мікроструктура термовтомної макротріщини на зразку чавуну, $\times 400$ (а) та мікротріщини (б); $\times 1000$

На рисунку 2 показана структура швидкорізальної сталі після термовтомних випробувань. На відміну від високохромистого чавуну макро- і мікротріщини у структурі були не виявлені. Значної зміни структури зразків під дією термоциклічних навантажень не відбулося.

Механічні характеристики матеріалів, зокрема їх мікротвердість, також зазнають змін при термоцикуванні. Значення мікротвердості структурних складових білого високохромистого чавуну та швидкорізальної сталі до і після випробувань представлені в таблиці 1

Дані таблиці 1 свідчать, що в результаті термоцикування білого високохромистого чавуну відбувається зниження мікротвердості металевої матриці, а мікротвердість евтектичного карбиду в порівнянні з вихідним литим станом збільшується. Це пов'язано, ймовірно, з перерозподілом легуючих елементів між фазами та структурними складовими, обумовленому фазовими перетвореннями та структурними змінами чавуну при термовтомних випробуваннях. Описані процеси, своєю чергою, призводять до зниження зносостійкості чавуну.

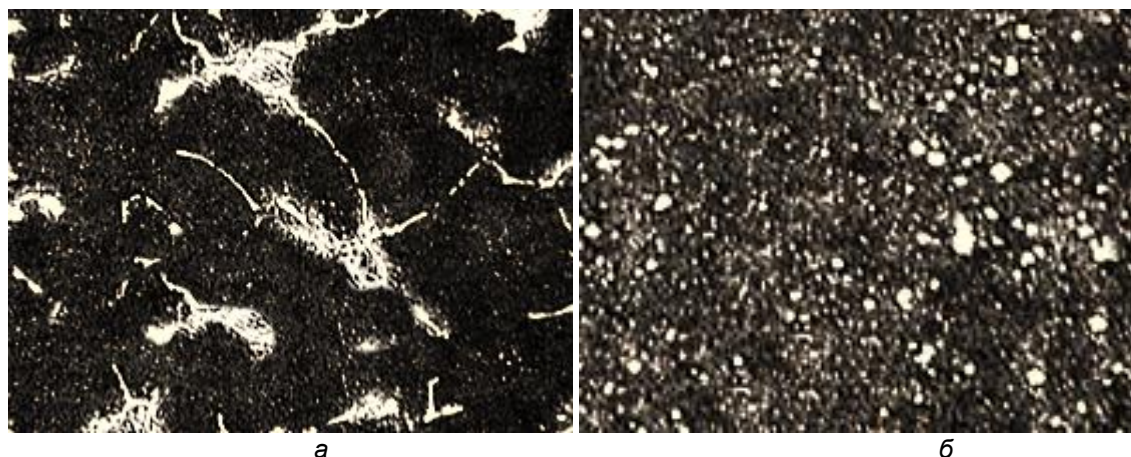


Рис. 2. Мікроструктура зразків швидкорізальних сталей після випробувань: P5M5, ЕШН – а; P6M5 – б; х400

Зразкам швидкорізальної сталі притаманні менш істотні зміни мікротвердості структурних складових: Незважаючи на суттєве зниження мікротвердості металевої матриці, мікротвердість карбідів залишилася практично незмінною. Це дає

підстави припустити більшу стабільність зносостійкості швидкорізальної сталі в порівнянні з високохромистим чавуном під впливом термоциклічного навантаження.

Таблиця 1

Мікротвердість структурних складових зразків чавуну та сталі

Тип зразків	Мікротвердість, МПа			
	металевої матриці*		карбідів	
	до випробувань	після випробувань	до випробувань	після випробувань
Високохромистий чавун	6350 / 6921	4980 / 3512	7251	9125
Швидкорізальна сталь	- / 5874	- / 3798	6854	6745

*Через дріб наведено значення мікротвердості для світлотравних (у чисельнику) і темнотравних (у знаменнику) продуктів розпаду аустеніту.

Обговорення результатів

Грунтуючись на результатах дослідження, можна припустити, що під час експлуатації в умовах гарячої прокатки, прокатні валки, з робочим шаром з високохромистого чавуну в литому стані, демонструватимуть меншу довговічність, ніж валки зі швидкорізальної сталі, що обумовлено можливістю зниження їхньої зносостійкості в результаті руйнування через термічну втоми.

Підвищити якість робочого шару валків гарячої прокатки з високохромистого чавуну ИЧХ16НМФТ за критерієм його термостійкості можна, ймовірно, рахунок застосування спеціальних методів термообробки, спрямованих отримання бейнітної структури металевої матриці [16].

Виходячи з отриманих результатів, можна рекомендувати враховувати показники термостійкості матеріалів прокатних валків гарячої прокатки як додатковий критерій їх якості.

Висновки

1. Білий високохромистий чавун марки ИЧХ16НМФТ має схильність до утворення тер-

мовтомних тріщин більшою мірою ніж швидкорізальна сталь марок P6M5 і P5M5.

2. За перерізом зразків білого високохромистого чавуну за 20-30 циклів теплосмін утворюються макротріщини термічної втоми, видимі неозброєним оком. При тій же кількості циклів теплосмін макротріщини на зразках зі швидкорізальної сталі не утворюються.

3. У процесі термовтомних випробувань на поверхні зразків із високохромистого чавуну утворюються мікротріщини як по межі поділу продуктів розпаду аустеніту з евтектичними колоніями, так і в об'ємі первинних дендритів перетвореного аустеніту. У зразках із швидкорізальної сталі зміни мікроструктури не супроводжуються утворенням мікротріщин.

Таким чином, тривалість експлуатації прокатних валків, виготовлених з високохромистого чавуну, буде меншою, ніж валків із швидкорізальної сталі. Продовжити термін експлуатації валків із високохромистого чавуну можна за рахунок застосування спеціальних методів термообробки.

Бібліографічний опис

1. Медовар Л. Б. Проблемы и перспективы производства современных прокатных валков / Л. Б. Медовар, В. К. Грановский // Проблемы специальной электрометаллургии. – 2001. – № 4. – С. 22-24.

2. Hot friction and wear behaviour of high speed steel and high chromium iron for rolls. M. Pellizzari <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164809002208> - cor1, <mailto:Massimo.Pellizzari@ing.unitn.it> D. Cescato, M.G. De Flora. 17th International Conference on Wear of Materials 15 June 2009, Las Vegas, USA // Wear. Volume 267, Issues 1–4, pp. 467-475. <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00431648/267/1>
3. Microstructural, mechanical and tribological characterisation of roll materials for the finishing stands of the hot strip mill for steel rolling M. Nilssona, b, <mailto:mnn@du.se> M. Olssona, Wear Volume 307, Issues 1–2, (30 September 2013), pp. 209-217. <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00431648/307/1-2>
4. Microstructure And Erosion-Corrosion Behaviour Of As-Cast High Chromium White Irons Containing Molybdenum In Aqueous Sulfuric-Acid Slurry. S. Imurai¹, Ch. Thanachayanont, J.T.H. Pearce, T. Chairuangsi¹. Archives of Metallurgy and Materials. , Volume 60, Issue 2 (August 2015), Pages 919-923. <http://www.ache.org.rs/HI/>
5. High Temperature Oxidation Investigation of Hot Roll Material with High-Speed Steel L. Hao, Z. Y. Jiang, Z. X. Chen, D. B. Wei, X. W. Cheng, S.Z. Luo, L. Z. Jiang, M. Luo, L. Ma, Advanced Materials Research, Vol. 1095 (Mar. 2015), pp. 130-134. <http://www.scientific.net/AMR.1095.130>
6. Thermal cracking of multicomponent white cast iron C. R. S. da Silva; M. Boccalini Materials Science and Technology Volume 21, Issue 5 (01 May 2005), pp. 565-573. <http://www.maneyonline.com/doi/abs/10.1179/174328405X21012>
7. 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. <http://www.mkb.be/abstracts/14.htm>
8. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов: В двух частях. Я.Б. Фридман / «Машиностроение». – М., 1974. – Часть вторая: Механические испытания. Конструкционная прочность. – 368 с.
9. Дульнев Р.А. Термическая усталость металлов. Дульнев Р.А., Котов П.И. – М.: Машиностроение, 1980. – 200с.
10. Будагьянц Н.А. Литые прокатные валки., Н.А. Будагьянц, В.Е. Карский– М.: Металлургия. – 1983. – 175 с.
11. Куцова В.З. Закономірності структуроутворення та кінетики фазових перетворень в чавуні ИЧХ16НМФТ / В.З. Куцова, О.В. Швець, А.Ю. Куцов, М.А. Ковзель // МОМ. – 2002. – №1-2. – С.10-17.
12. Кондратенко О.В. Экономические преимущества производства и особенности получения композитной быстрорежущей стали О.В. Кондратенко, А.Н. Головачев, И.О. Горобец, В.М. Кондратенко, А.П. Стовпченко // Теория и практика металлургии – №2-3. –2007.–С. 24-27.
13. Журавель В.М. Исследование возможности получения биметаллической быстрорежущей стали методом ЭШН ЖМ В.М. Журавель, А.Н. Головачев, В.В. Жуков, Л.Б. Медовар, А.П. Стовпченко // Nove Technologie i osiagniecia w metalurgii I inzynierii materialowej: 7 Международная научная конференция. Ченстохова, 2 июня, 2006 г. – Ченстохова, 2006. – С. 606 - 609.
14. 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.
15. Полякова Н. Влияние условий нагрева и охлаждения на структуру и свойства материалов, предназначенных для производства прокатных валков. Н. Полякова, Т. Семенец VIII Міжнародна наукова конференція “Нові технології та досягнення у металургії та інженерному матеріалознавстві”, 25 травня 2007 р. Польща, Ченстохова, 2007. – 738С. – С.478 - 481.
16. Патент 59272 А, Україна, МКВ С21D 5/04. Спосіб термічної обробки високолегованого чавуну / В.З. Куцова, А.Ю. Куцов, М.А. Ковзель, Г.В. Мамченко. – 20021210426. – Заявлено 23.12.2002. – Опубл. 15.08.2003. Бюл. № 8.– С. 1.

References

1. Medovar L.B. Granovskij V.K. Problemy i perspektivy proizvodstva sovremennykh prokatnykh valkov [Problems and perspectives production of modern rolls.] Problemy special'noj elektrometalurgii – Problems of special electrometallurgy. 2001. no. 4., pp. 22-24.
2. Hot friction and wear behaviour of high speed steel and high chromium iron for rolls. M. Pellizzari <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164809002208> - cor1, <mailto:Massimo.Pellizzari@ing.unitn.it> D. Cescato, M.G. De Flora. 17th International Conference on Wear of Materials 15 June 2009, Las Vegas, USA // Wear. Volume 267, Issues 1–4, pp. 467-475. <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00431648/267/1>
3. Microstructural, mechanical and tribological characterisation of roll materials for the finishing stands of the hot strip mill for steel rolling M. Nilssona, b, <mailto:mnn@du.se> M. Olssona, Wear Volume

- 307, Issues 1–2, (30 September 2013), pp. 209-217. <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00431648/307/1-2>
4. Microstructure And Erosion-Corrosion Behaviour Of As-Cast High Chromium White Irons Containing Molybdenum In Aqueous Sulfuric-Acid Slurry. S. Imurai¹, Ch. Thanachayanont, J.T.H. Pearce, T. Chairuangsi¹. Archives of Metallurgy and Materials. , Volume 60, Issue 2 (August 2015), Pages 919-923. <http://www.ache.org.rs/HI/>
 5. High Temperature Oxidation Investigation of Hot Roll Material with High-Speed Steel L. Hao, Z. Y. Jiang, Z. X. Chen, D. B. Wei, X. W. Cheng, S.Z. Luo, L. Z. Jiang, M. Luo, L. Ma, Advanced Materials Research, Vol. 1095 (Mar. 2015), pp. 130-134. <http://www.scientific.net/AMR.1095.130>
 6. Thermal cracking of multicomponent white cast iron C. R. S. da Silva; M. Boccalini Materials Science and Technology Volume 21, Issue 5 (01 May 2005), pp. 565-573. <http://www.maneyonline.com/doi/abs/10.1179/174328405X21012>
 7. 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. <http://www.mkb.be/abstracts/14.htm>
 8. Friedman Ya.B. Mehanicheskie svoystva metallov. v duh chastyah [Mechanical properties of metals: In two parts]. / Moscow, Engineering, 1974. Chast' vtoraya: mehanicheskie ispytaniya. Konstrukcionnaya prochnost'. [Part Two: Mechanical tests. Structural strength.] 368 p.
 9. Dulnev RA, Kotov PI Termicheskaja ustalost' metallov [Thermal fatigue of metals]. – Moskow, Engineering, 1980. 200 p.
 10. Budagyants N.A. Karskij V.E. [The cast mill rolls.], – Moscow, Metallurgy, 1983. 175 p.
 11. Kutsov V.Z. Shwec' O.V. Kutsov A.Y., Kovzel M.A. Zakonomirnosti strukturoutvorenniya ta kinetiki fazovyh peretvoren' v chavuni ICHH16NMFT [Regularities of structure formation and kinetics of phase transformations in iron grade ICHH16NMFT] MOM. – MSTM., 2002, – no.1-2, pp.10-17.
 12. Kondratenko O.V., Golovachev A.N., Gorobetc I.O., Kondratenko V.M., Stovpchenko A.P. Ekonomicheskie preimushhestva proizvodstva i osobennosti polucheniya bystrorezhushhej stali [The economic benefits of production and features high-speed steel producing composite] Teoriya i praktika metalurgii. – Theory and practice of metallurgy. no. 3, 2007, pp. 24-27.
 13. Zhuravel V.M., Golovachev A.N., Zhukov V.V., Medovar L.B., Stovpchenko A.P. Issledovanie vozmozhnosity polucheniya bimetallicheskoj bystrorezhushhej stali metodom ESHN ZH M [Study the possibility of obtaining bimetallic HSS by method ESHN LM]. Nove Technologie i osiagniecia w metalurgii I inzynierii materialowej [New technologies and advances in metallurgy and materials science engineering]: 7 International scientific conference. - Czestochowa, June 2, 2006 - Czestochowa, 2006, pp. 606 - 609.
 14. Pinchuk S.I., Polyakova N.V. Struktura i svoystva vysokohromistogo chuguna kak materiala dlya proizvodstva prokatnyh valkov [Structure and properties of high chrome cast iron as a material for the production of rolling mill rolls]. Metaloznavstvo that termichna obrobka metaliv. – Metal science and heat treatment. 2008, no.1, pp.24-34.
 15. Polyakova N. Semenets T.I. Vlijanie uslovij nagreva I ohlazhdeniya na struktyru i svoystva materialov prednaznachennyh dlya proizvodstva prokatnyh valkov [Influence of conditions of heating and cooling on the structure and properties of materials for the production of rolling mill rolls]. VIII Mizhnarodna Naukova konferentsiya "Novi tehnologii that dosyagnennya v metalurgii ta inzhenernomu materialoznavstvi" – New technologies and advances in metallurgy and materials science engineering. May 2 2007. Poland, Czestochowa, 2007, 738p. pp.478 - 481.
 16. Kutsova V.Z., Kutsov A.Y., Kovzel M.A., Mamchenko G.V. Patent 59272, Ukraine, MAC C21D 5/04. Sposib termichnoi obrobky visokolegovanogo chavunu [Method of heat treating high chrome cast iron] - 20021210426. - Stated 23.12.2002. - Publ. 15.08.2003. Bull. no.8. p. 1.