

DOI: 10.31319/2519-2884.41.2022.8

УДК 621.771.074

**В.М. Самохвал**, к.т.н., доцент, volsamokhval@gmail.com

**Р.О. Басак**, здобувач освіти 2-го рівня

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

## АНАЛІЗ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВАЛКІВ СТАНІВ ДОВГОМІРНОГО ПРОКАТУ

*Проаналізовано сучасні матеріали для виготовлення валків станів довгомірного прокату та механічні властивості валків за пропозиціями виробників. Встановлено, що за останні десятиріччя значно розширилась номенклатура валкових матеріалів, суттєво зросли показники механічних та експлуатаційних властивостей за рахунок удосконалення технологій виготовлення та легування, а також збільшилась кількість контрольованих показників властивостей готових валків. Доведено, що виконання умов міцності валків слід перевіряти за допустимими напруженнями, визначеними за актуальними значеннями границі міцності на згинання, як показника властивостей, що у більшій мірі відповідає умовам навантаження валків.*

**Ключові слова:** чавунні валки; литі сталеві валки; механічні властивості; твердість; границя міцності; міцність на згинання; допустимі напруження.

*Modern materials for the production of rolls of long products mills and mechanical properties of rolls according to the proposals of manufacturers are analyzed. It is established that in the last decades the nomenclature of rolling materials has significantly expanded, the indicators of mechanical and operational properties have significantly increased due to the improvement of manufacturing and alloying technologies, and the number of controlled properties of rolls has increased. It is proved that the implementation of the conditions of roll strength should be checked by the allowable stresses determined by the actual values of the bending strength limit, as an indicator of properties that is more consistent with the load conditions of the rolls.*

**Keywords:** cast iron rolls; cast steel rolls; mechanical properties; hardness; ultimate tensile strength; flexural strength; allowable stresses.

### Постановка проблеми

Валки є основним робочим інструментом будь-якого прокатного стану. Особливістю валків станів довгомірного прокату є наявність кільцевих врізів, суміщення яких на двох опозитно розташованих валках, утворює калібри для формування відповідного перерізу розкату. Параметри валків, як витратного робочого інструменту, визначають можливості виготовлення прокату заданої якості та техніко-економічні показники виробничого процесу. Можливість прокатування визначається здатністю валків забезпечувати певні технологічні параметри (кут захвату, сила та момент прокатування). Якість прокату значною мірою визначається стійкістю валків до зношення та інших пошкоджень. Техніко-економічні показники виробничих процесів суттєво залежать від вартості валків, рівня їх витрат, тривалості простоїв, пов'язаних з заміною зношених валків та від супутніх витрат на валкове господарство. У загальних виробничих витратах станів довгомірного прокату частка, що припадає на валки та їх утримання, становить від 5 до 15% [1]. Тому дослідження, пов'язані з підвищенням ефективності використання валків, завжди були актуальними. В сучасних умовах актуальність таких досліджень лише зростає, що обумовлено прагненням зменшення витрат на одиницю продукції. Основними напрямками досліджень є поліпшення властивостей існуючих та розробка нових валкових матеріалів, удосконалення технологій використання та відновлення валків.

Валки прокатних станів є унікальним виробом, в якому зосереджено найкращі технічні рішення металургії, матеріалознавства, ливарного виробництва, термічної та різних видів механічної обробки. Унікальність валків прокатних станів обумовлена необхідністю забезпечення оптимального, для певних умов застосування, комплексу параметрів, які часто є взаємно протилежними. Наприклад:

- високі показники міцності та здатність до пружних деформацій;
- висока твердість та можливість механічної обробки;
- мінімізація сил тертя для забезпечення зносостійкості, енергоефективності та підтримання певного рівня сил тертя для стабільності процесу.

Крім цього, забезпечення таких властивостей як зносостійкість, термічна стійкість, теж є досить складними технічними задачами.

Враховуючи такі суперечливі вимоги до валків, виникає потреба забезпечувати певний комплекс властивостей, який буде оптимальним для конкретних умов застосування. Тому задача аналізу наявних матеріалів валків та їх властивостей стає досить актуальною, особливо в умовах сучасних станів довгомірного прокату.

#### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Для об'єктивної оцінки існуючого рівня показників валкових матеріалів розглянемо їх розвиток у ретроспективі.

Перший задокументований приклад застосування валків з врізами відноситься до 1728 року [2]. Англійська «машина для прокатування листів з свинцю» мала чавунні валки «5 футів (1,5 м) у довжину та 12 дюймів (305 мм) у діаметрі». Замість таких циліндричних валків в кліті могли розміщуватись валки з напівкруглими врізами, які утворювали калібри для прокатування труб з свинцю. Чавунні валки з врізами мали діаметр 16 дюймів (406 мм) і забезпечували прокатування семи профілерозмірів труб.

Прокатування сталевих профілів започаткував Генрі Корт (HenryCort), який у 1783 році отримав патент на прокатний стан, валки якого мали врізи для утворення калібрів [3]. Це технічне рішення, разом з пудлінговим процесом виготовлення сталі, було реалізовано Кортом у 1790 році, що дозволило виготовляти сталеві профілі у промислових обсягах. На прокатному стані Корта використовувались чавунні валки діаметром 152 мм з довжиною бочки 457 мм [4]. Незважаючи на порівняно недосконалу конструкцію робочої кліті, такий стан забезпечував виготовлення профілів простої форми з продуктивністю, яка суттєво перевищувала ковальські молоти.

По мірі розвитку прокатних станів удосконалювались і матеріали прокатних валків.

В середині минулого сторіччя, за даними [4], на сортових станах використовували чавунні та сталеві валки. Росс Бейнон (R.E. Veupon), у роботі, що вийшла друком у 1956 році (перекладена 1960), зазначав: «Спочатку валки сортових станів виготовлялись з сірого чавуну або з сталі звичайної якості. Загартовані чавунні валки застосовувались на ранній стадії розвитку сортових станів ... в передчистових і чистових проходах при прокатуванні круга, квадрата та стрічки. ... Леговані сталі застосовують для валків з врізами для утворення чорнових та підготовчих калібрів» [4].

Аналогічні відомості наводяться і в навчальному посібнику Королева А. А. від 1969 року. Зазначається [5, с. 103], що «на рейкобалкових і сортових станах застосовують валки, виготовлені з твердого легованого чавуну, які відливають в металеві форми, що забезпечує твердість по Шору на рівні HSD 50—75. ... При прокатуванні на сортових станах профілів з твердих сталей застосовують валки з вуглецевих сталей зі збільшеним вмістом хрому та марганцю (50X, 60XГ)».

Більш детальний ретроспективний огляд матеріалів валків наведено в роботі Шредера (K.H. Schröder)[6]. За його даними номенклатура матеріалів валків станів довгомірного прокату, починаючи з звичайного сірого чавуну, поступово доповнювалась у такій послідовності:

- 1850 — напівтверді валки з сірого чавуну;
- 1870 — доевтектичні сталі (вміст вуглецю 0,5 — 0,7 %);
- 1920 — адаміт (заевтектична сталь з вмістом вуглецю понад 0,8 %);
- 1950 — графітізовані сталі (вміст вуглецю від 1,0 до 2,2 %);
- 1960 — чавун з шароподібним графітом (nodularcastiron);
- 1970 — синтетичні карбіди або тверді сплави;
- 1990 — інструментальні сталі (high speed steel – HSS);
- 1995 — індефінітні чавунні валки підсилені карбідами (carbideenhanced);
- 2000 — композитні валки (castin carbide).

Усі перелічені валкові матеріали знаходять застосування на різних сучасних станах довгомірного прокату простої форми та фасонних профілів. Для окремих станів характерно застосування валків одного або декількох видів.

Для кожного з наведених матеріалів спостерігається досить значна різноманітність властивостей, в залежності від технологічних потреб, технологій виробників валків та особливостей технології конкретного стану. Наприклад, в 70-ті роки минулого століття на стані 350 Дніпровського металургійного комбінату в першій чорновій клітці використовували сталеві валки (55X), у всіх інших — чавунні [7]. При цьому в клітках з другої по одинадцяту використовували чавунні валки марки СШХН-50, а в чистових клітках 12 та 14 — СШХН-42. Тобто, для того періоду вибір валкових матеріалів був досить обмеженим. Використовували переважно чавунні валки, а застосування сталевих валків в першій клітці пов'язане лише з необхідністю забезпечення умов захвату.

У сучасних умовах виробники валків пропонують широкий спектр валкових матеріалів, відповідно до наведеного переліку, і споживачі цієї продукції мають можливість обирати з них найбільш ефективні. Наприклад, відомий виробник валків XT Mill Rolls [8] пропонує застосувати:

- в клітках чорнових груп валки з адаміту, графітизованих сталей або чавунні з шароподібним графітом (твердість HS 35—55);
- в клітках проміжних груп такі самі валки але з дещо збільшеною твердістю (HS 45—65);
- в чистових клітках: адаміт, графітизовані сталі, інструментальні сталі (HSS) або чавунні з бейнітною структурою з рівнем твердості від 45 до 90.

Можливий і інший підхід, наприклад відомий виробник прокатних станів — італійська фірма Danieli, рекомендує застосовувати на станах прокатування простих профілів (barmill) чавунні валки з шароподібним графітом [9]. Але при цьому експлуатаційні властивості валків забезпечуються підбором відповідної структури: в перших клітках застосовують валки з ферітною структурою; в проміжних — перлітною; в чистових — бейнітною.

За способом виготовлення на станах довгомірного прокату використовуються переважно литі валки. Способи виготовлення литих валків є досить різноманітними. Наприклад, найдешевші валки виготовляють статичним відливанням в пісчано-земляних формах. Відбілені чавунні валки виготовляють статичним відливанням застосовуючи металеві форми для робочої ділянки (бочки). Для легованих сталевих та чавунних валків розроблено агрегати для здійснення відцентрового лиття, яке застосовують і для виготовлення двошарових валків [10].

Крім цього, для окремих видів валків знаходять застосування комбіновані способи виготовлення. Наприклад, фірма SINOPAC пропонує «гібридні» валки з інструментальних сталей (HSS) виготовлені методом відцентрового литва і з застосуванням у робочій поверхні порошок карбиду вольфраму [11]. Такі валки забезпечують стійкість калібрів (тривалість роботи) у 3—4 рази більше, ніж валки з відбіленого чавуну з шароподібним графітом, більше, ніж валки з звичайних інструментальних сталей з високим вмістом вуглецю, але дещо меншу за твердосплавні валки, виготовлені методами порошкової металургії [11].

Крім хімічного складу, структури та способів виготовлення, властивості прокатних валків значною мірою забезпечують відповідною термічною обробкою. Обов'язкова термообробка, пов'язана з зняттям залишкових напружень, може доповнюватись відпалом, нормалізацією, сфероїдуючим відпалом або загартуванням та відпуском [12].

Різноманітність матеріалів валків та технологій їх виготовлення обумовлена прагненням забезпечити максимальну ефективність застосування валків відповідно до технологічних потреб певних станів. При виборі валків за їх властивостями використовують загальновідомі показники механічних властивостей та специфічні експлуатаційні показники, які набули поширення з практики застосування валків.

До основних технологічних або експлуатаційних показників валків відносять:

- міцність;
- термічну стійкість;
- зносостійкість.

Крім цих показників властивості валків додатково оцінюють за захоплюючою здатністю, стійкістю до динамічних навантажень, циклічній міцності, стійкістю до корозії [13].

Міцність валків оцінюють за показниками механічних властивостей, які отримують з випробувань на розрив, ударну в'язкість, згинання. Найбільш поширеними показниками є: границя міцності на розрив  $R_t$ ; границя міцності на згинання  $R_f$ ; відносне видовження  $A$ , %; модуль пружності  $E$ ; ударна в'язкість  $KCU$ .

Термічну стійкість валків оцінюють за здатністю сприйняття термічних напружень, тобто за рівнем допустимих пружних деформацій, та стійкістю до термічних тріщин (firecrackresistance).

Зносостійкість оцінюють показником витрати валків на одиницю продукції (кг/т) або кількістю прокату на величину зносу робочої поверхні (т/мм). Але це експлуатаційні показники, тобто їх визначають за результатами роботи валків після їх утилізації. При виборі валків за критерієм зносостійкості керуються переважно показниками твердості. Найпоширенішим показником твердості валків є градуси Шора, завдяки простоті визначення. Але виробники валків для підвищення інформованості споживачів використовують також показники Бринеля, Вікерса, Роквела [13].

Зважаючи на високу вартість валків, їх вирішальне значення в забезпеченні якості продукції і ефективності виробничих процесів, важливо мати об'єктивну інформацію про нові валкові матеріали, їх властивості та нові технічні рішення в їх застосуванні.

#### **Формулювання мети дослідження**

Метою даної роботи є огляд валкових матеріалів та аналіз властивостей валків, які застосовують на сучасних станах довгомірного прокату.

Аналіз властивостей валків виконано для сталевих та чавунних валків, переважно для станів з виготовлення простих профілів у вигляді прутів.

#### **Виклад основного матеріалу**

З наведеного ретроспективного огляду матеріалів валків можемо зробити висновок, що для перших прокатних станів з прокатування профілів застосовували виключно чавунні валки. По мірі розширення сортаменту профілів та спеціалізації прокатних станів, почали застосовувати литі сталеві валки для забезпечення механічної міцності та захоплюючої здатності. Для сучасних станів довгомірного прокату характерно застосування трьох видів матеріалів: чавуну, литої сталі та твердих сплавів.

Для чавунних валків на основі класифікації за хімічним складом та структурою, наведених в роботах [1, 6], виділимо такі основні види валкових матеріалів:

- звичайний сірий чавун з легуючими елементами (alloy gray iron);
- відбілений чавун (white iron, chilled cast iron rolls, clear chill);
- чавун з шароподібним графітом (nodular cast iron);
- індефінітний чавун (indefinite chill roll);

Така класифікація чавунних валків є досить умовною і відображає основні відмінності визначені переважно формою графіту у структурі. Зокрема, підгрупа чавунів з шароподібним графітом включає матеріали з різною структурою основної фази: феритною, перлітною, бейнітною, аустенізованою. Саме структура чавуну та форма графіту, яка формується в процесі термічної обробки, значною мірою визначає механічні та експлуатаційні властивості чавунних валків.

Розглянемо основні показники механічних властивостей чавунних валків деяких виробників. З даних, зведених у табл. 1, слідє, що показники механічних властивостей чавунних валків змінюються в порівняно широких межах. Зокрема, твердість по Шору може змінюватись від 30 до 85, що повністю перебиває діапазон визначений технологічним потребами станів довгомірного прокату.

Границя міцності, що визначається з випробувань на розрив, змінюється у межах від 200 до 750 Н/мм<sup>2</sup>. Причому найменші значення характерні для сірого чавуну (200—250 Н/мм<sup>2</sup>), максимальні значення характерні для чавунів з шароподібним графітом і бейнітною структурою (500—750 Н/мм<sup>2</sup>). Відбілений чавун, включно з індефінітним, у більшості випадків має значення границі міцності у межах 400—500 Н/мм<sup>2</sup>.

Таблиця 1. Параметри чавунних валків станів довгомірного прокату

Матеріал	Різновид матеріалу валків	Показники властивостей валків різних виробників				
		Union Electric Acers [16]	XT Rolls [17]	TSRoll [18]	Hisar [19]	Danieli [9]
Сірий чавун	Сірий чавун (Gray Iron (Flake))	HSC= 30–40 $R_t = 200 \text{ Н/мм}^2$ $R_f = 400 \text{ Н/мм}^2$	35–50 > 190 350	д. в.	д. в.	д. в.
	Легований сірий чавун (High Strength Flake Iron)	30–40 250 600	60–85 350–450 450–650	д. в.	д. в.	д. в.
Відбілений чавун		д. в.	д. в.	38–55 400–500 700–1000	д. в.	67–73 500–600 1050–1150
Чавун з шароподібним графітом	З феритною структурою (Spheroidal Graphite Iron)	35–45 400 850	д. в.	д. в.	47–63 550–700 1000–1300	45–50 750–800 1500–1600
	З перлітною структурою (Nodular Pearlitic)	45–67 400–600 800–1100	35–50 > 350 550	45–80 > 350 д.в.	47–67 400 850	53–58 450–500 800–900
	З бейнітною структурою (SG Bainitic – Nodular Acicular)	38–48 500–750 900–1300	д. в.	45–80 > 350 д.в.	55–77 570 1000	60–65 550–650 1200–1300
		51–67 400–600 750–1000	д. в.	д. в.	д. в.	д. в.
Індефінітний чавун	З шароподібним графітом і перлітною структурою (SG Pearlitic Chill – Indefinite Nodular Pearlitic)	40–48 400 785	55–72 > 400 700–1000	38–55 400–500 700–1000	50–63 200 320	65–70 200–270 450–550
		55–60 400 785	65–78 > 400 700–1000	35–50 400–500 700–1000	60–73 200 320	д. в.
		77–85 400 785	70–83 > 400 700–1000	40–50 400–500 700–1000	70–80 200 320	д. в.
	Покращені індефінітні валки з бейнітно-мартенситною структурою (Enhanced indefinite Chill Double Poured)	77–85 400 785	д. в.	д. в.	д. в.	д. в.

Примітки: HSC — твердість по Шору;  $R_t$  — границя міцності на розтягування;  $R_f$  — границя міцності на згинання; д. в. — дані відсутні.

Такий широкий діапазон зміни цього показника властивостей матеріалів валків вимагає обов'язкового контролю та врахування в технологічних розрахунках. Зокрема, у всіх підручниках, починаючи з А.А. Корольова [5], стверджується, що для чавунних валків границя міцності становить 350–400 Н/мм<sup>2</sup>. Відповідно, у розрахунках валків, виходячи з п'ятикратного запасу

міцності, рекомендовано приймати допустимі напруження в межах 70—80 Н/мм<sup>2</sup>. Саме такі значення допустимих напружень наводяться і в сучасних підручниках, наприклад [14].

Але за методикою розрахунків на міцність в небезпечних перерізах валків визначають нормальні напруження від дії згинаючого моменту. Тому оцінювати інтенсивність внутрішніх сил в перерізах валків слід не за напруженнями розтягування, а за напруженнями згинання. Саме тому виробники валків і наводять відповідний показник властивостей валків – границю міцності на згинання. Випробування на згинання проводять за стандартними методиками для крихких матеріалів, застосовуючи переважно триточкові випробувальні машини [15].

За даними табл. 1, границя міцності на згинання змінюється в межах від 400 до 1600 Н/мм<sup>2</sup>. Тобто цей параметр в 1,7—2,1 рази перевищує границю міцності при розтягуванні.

Отже, використання у розрахунках валків такого показника механічних властивостей валкових матеріалів, як границя міцності на згинання, є більш обґрунтованим. Зважаючи на широкий діапазон можливих значень показників міцності на згинання для різних валкових матеріалів, у розрахунках слід використовувати актуальні значення. Це означає, що висновки за результатами розрахунків на міцність будуть об'єктивними лише за умови використання показників міцності на згинання для конкретного матеріалу валків, а не рекомендованих в літературі значень. Використання цього показника механічних властивостей не тільки забезпечує більш точну оцінку міцності валків, але й дозволяє точніше визначати допустимі технологічні параметри.

Для сталевих валків, на основі поділу, запропонованого в роботах [1, 6], виділимо такі основні групи:

- литі вуглецеві сталі (в тому числі леговані);
- адаміт (напівсталь, steel base);
- графітизована сталь (grafitic steel);
- інструментальні сталі (high speed steel – HSS).

Такий поділ литих сталевих валків ґрунтується переважно на відмінностях хімічного складу, зокрема за вмістом вуглецю. При цьому спостерігається певне розмиття границь між сталевими та чавунними валками. Наприклад, адаміт, як заевтектоїдна сталь, може містити від 1,3 % до 2,1 % вуглецю і 0,3—0,8 % кремнію, що характерно для сталі [18]. Але його називають напівсталь або матеріал на основі сталі (steelbase). Графітизовані сталі мають приблизно такий самий вміст вуглецю, але збільшений вміст кремнію, який наближений до значень характерних для чавунних валків [16]. Валки з інструментальної сталі, наприклад марки RAR-W [20], можуть мати вміст вуглецю 1,5—2,7 %, а в якості легуючих елементів, крім хрому, нікелю, молібдену, містять вольфрам, ванадій, ніобій, титан. При цьому такі валки виготовляють двошаровими, використовуючи відцентрове лиття, з серцевиною з чавуну з шароподібним графітом.

Характерні значення властивостей для виділених груп сталевих валків, за даними деяких виробників, зведені до табл. 2.

Твердість литих сталевих валків з вуглецевих сталей змінюється у межах 28—55 одиниць по Шору, що відповідає загальноприйнятим значенням. Для інших груп литих сталевих валків відзначається широкий діапазон зміни твердості, від звичайних 38—50, для напівсталей, до 65—95, для інструментальних сталей.

Границя міцності на розрив для сталевих валків суттєво залежить від вмісту вуглецю, легуючих елементів та структури. Для звичайних вуглецевих сталей цей показник становить 550—800 Н/мм<sup>2</sup>. Допустимі напруження для таких валків відповідають рекомендованим Корольовим значенням у 100—120 Н/мм<sup>2</sup> [5]. Але по мірі збільшення вуглецю в заевтектоїдних та графітизованих сталях, показники міцності на розрив зменшуються і становлять від 350 до 700 Н/мм<sup>2</sup>. Для валків з інструментальних сталей виробники декларують діапазон від 350 до 900 Н/мм<sup>2</sup>, що обумовлено особливостями технології виготовлення валків.

Це підтверджує висновок, про необхідність використання в розрахунках валків на міцність не рекомендованих в літературі діапазонів допустимих напружень, а актуальних значень для відповідних валків за даними виробника.

Таблиця 2. Параметри сталевих валків станів довгомірного прокату

Матеріал	Union Electric Acers [16]	XT Rolls [17]	TSRoll [18]	Hisar [19]	Danieli [20]
Лита вуглецева сталь	38–45 750 1300	28–43 ≥600 д. в.	35–45 ≥650 д. в.	28–40 650–800 1100–1400	д. в.
	40–46 550 1000	45–65 ≥800 д. в.	35–50 ≥700 д. в.	40–55 650–800 1100–1400	д. в.
Адаміт	40–49 460 650	35–50 ≥350 д. в.	38–55 ≥590 д. в.	д. в.	38–46 ≥ 550 д. в. [21]
	50–54 395 540	50–65 ≥350 д. в.	50–65 ≥490 д. в.	д. в.	50–65 ≥ 400 д. в. [21]
Графітізовані	40–47 460 650	36–44 385–750 585–920	36–46 ≥450 650–1000	38–53 550–700 1000–1200	43–48 700–750 1500–1600
	44–59 395 540	44–52 385–750 585–920	55–65 ≥450 650–1000	50–65 550–700 1000–1200	
Інструментальні сталі (HSS)	д. в.	70–95 ≥750 д. в.	75–95 ≥350 д. в.	д. в.	70–85 900 2500

Згідно даним табл. 2, окремі виробники не визначають границю міцності матеріалу сталевих валків на згинання. Це пояснюється уявленнями про сталь, як пластичний матеріал. Але литі сталеві валки мають показники відносного видовження до 5 % [18]. Це звичайно більше ніж для чавунних валків (< 2 %), але дозволяє стверджувати, що литі сталеві валки є крихким матеріалом і для них потрібно проводити випробування на згинання.

Показники міцності на згинання для сталевих валків, представлених у табл. 2, змінюються від 540 до 1600 Н/мм<sup>2</sup>. Ці значення приблизно відповідають показникам чавунних валків. При цьому, через дещо більші значення границі міцності на розтягування, співвідношення  $R_f/R_t$  становить від 1,4 до 1,7.

Зважаючи на широкий діапазон зміни показників міцності на згинання, в розрахунках сталевих валків, так само як для чавунних, слід використовувати актуальні значення, надані виробником валків, а не рекомендовані в літературі діапазони допустимих напружень.

Висновки, отримані з проведеного аналізу основних показників механічних властивостей чавунних та сталевих валків, дозволять більш обґрунтовано обирати валки для станів довгомірного прокату за показниками міцності. Саме за такими показниками визначається технічна можливість виготовлення профілів та допустимі технологічні параметри. Але показники міцності валків є важливою, але лише однією з складових комплексу параметрів валків, включно з початковою вартістю, ефективністю використання та рівнем експлуатаційних витрат.

#### Висновки

Для сучасних станів довгомірного прокату виробники валків пропонують широкий спектр матеріалів, які відповідають зростаючим вимогам виробничників. При цьому, по мірі ускладнення технологій їх виготовлення, вартість валкових матеріалів зростає, але ефективність застосування нових матеріалів виправдовує такі витрати завдяки зменшенню простоїв та отримання додаткової продукції.

Основними валковими матеріалами для станів довгомірного прокату є чавун, лита сталь та тверді сплави. Спостерігається певна конкуренція між цими матеріалами. Домінування чавунних валків, обумовлене порівняно невисокою вартістю їх виготовлення та експлуатації, було порушене твердосплавними валками, які забезпечують збільшення зносостійкості приблизно у чотири рази. Але сучасні литі сталеві валки за експлуатаційними показниками наближаються до твердосплавних, але мають значно меншу вартість.

Сучасні валкові матеріали відрізняються суттєвим поліпшенням механічних і експлуатаційних властивостей. Це досягається за рахунок удосконалення технологій їх виготовлення, зокрема, за рахунок легування молібденом, вольфрамом, титаном, ванадієм, ніобієм та ін., а також спеціалізованих видів термічної обробки, спрямованих на формування певної структури та властивостей.

Спостерігається умовне розмиття границь між чавунними та сталевими валками. Наприклад, в чорнових клітях можливе застосування чавунних валків з феритною структурою і шароподібним графітом або графітованих сталевих валків. Обидва такі матеріали забезпечують приблизно однакову механічну міцність, захоплюючи здатність та зносостійкість.

Виявлено значні відмінності властивостей валків одного й того ж виду у різних виробників, що обумовлено їх різними технологічними можливостями.

Для сучасних валкових матеріалів характерно розширення контрольованих показників властивостей. Це стосується як складових хімічного складу так і показників механічних властивостей. Зокрема, провідні виробники прокатних валків до обов'язкових показників включають границю міцності на згинання, яка у 1,5—2 рази перевищує границю міцності з випробувань на розтягування.

В розрахунках валків виконання умов їх міцності слід перевіряти за допустимими напруженнями, визначеними за границею міцності на згинання, як показника властивостей, що у більшій мірі відповідає умовам навантаження валків.

Об'єктивна оцінка працездатності валків за умовами міцності може бути отримана лише при визначенні допустимих напружень за актуальними значеннями властивостей, наданих виробником валків, а не за рекомендованим в літературі діапазоном значень.

### Список використаної літератури

1. Spuzik S., Strafford K. N., Subramanian C., Savage G. Wear of hot rolling mill rolls: an overview. *Wear*. Vol. 176 (1994). P. 261–271. URL: [https://www.researchgate.net/publication/223768316\\_Wear\\_of\\_hot\\_rolling\\_mill\\_rolls\\_an\\_overview](https://www.researchgate.net/publication/223768316_Wear_of_hot_rolling_mill_rolls_an_overview).
2. Durfee W. F. The Early Use of Rolls in the Manufacture of Metals. *Cassier's Magazine*, 1899. URL: [http://www.wkfinetools.com/hus/steel\\_yReading/1899-rollingMetals/1899-rollingMetals-01.asp](http://www.wkfinetools.com/hus/steel_yReading/1899-rollingMetals/1899-rollingMetals-01.asp)
3. Henry Cort. English manufacturer. URL: Henry Cort | English manufacturer | Britannica
4. Бейнон Р. Калибровка валков и расположение прокатных станов. М.: Металлургиздат. 1960. 204 с.
5. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. Учебное пособие. М.: Металлургия. 1969. 464 с.
6. Schröder K.H. A basic understanding of the mechanics of rolling mill rolls. Eisenwerk Sulzau-Werfen, Tenneck. 2003. 111 p.
7. Прокатные станы : В 3-х т. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Металлургия, 1992. Т. 1: Обжимные, заготовочные и сортопрокатные. М. : Металлургия, 1992. 430 с.
8. XT Mill Rolls North America. URL: [http://www.xtmillrolls.com/castrolls\\_overview.html](http://www.xtmillrolls.com/castrolls_overview.html)
9. Cast Iron Rolls. DR-CI Rolling Mill Roll Series. DANIELI SERVICE. 2020. URL: [img\\_4896.pdf](img_4896.pdf) (danieli.com)
10. Centrifugal Casting. Changzhou Kaida Heavy Industry Technology Co., Ltd. 2014. URL: [Centrifugal Casting-Changzhou Kaida Heavy Industry Technology Co., Ltd \(kaidaroll.com\)](Centrifugal Casting-Changzhou Kaida Heavy Industry Technology Co., Ltd (kaidaroll.com))
11. Kerwin T. HSS Rolls for rolling Long Products. SINOPAC. 2020. URL: [HSS Rolls for rolling Long Products \(linkedin.com\)](HSS Rolls for rolling Long Products (linkedin.com))



12. Shama S. Comparison of Mechanical Properties of Austenitic Ductile Cast Iron with Ferritic/Pearlitic Ductile Cast Iron : Dissertation of the degree of Master of technology. Odisha (India): National Institute of Technology Rourkela. 2017. 71 p. URL: [http://ethesis.nitrkl.ac.in/8480/1/2016\\_PhD.\\_SShama\\_613MM3016.pdf](http://ethesis.nitrkl.ac.in/8480/1/2016_PhD._SShama_613MM3016.pdf)
13. Section mill rolls for the production of long products. Walzen IRLE GmbH. 2022. URL: <https://www.walzenirle.com/en/products/rolls/steel-indsutry/section-steel/>
14. Іванченко Ф.К., Гребенник В.М., Ширяєв В.І. Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів: Навчальний посібник. Київ. Вища школа. 1995. 455 с.
15. Noguchi T. Bending Strength of Gray Cast Iron. *Journal of Testing and Evaluation*. Vol.18, N. 1 (1990). P. 70-75. <https://doi.org/10.1520/JTE12453J>
16. Section Mill Rolls, Sleeves and Edgers. A broad product portfolio. Union Electric Akers Corporation. 2020. URL: Section Mill Rolls, Sleeves and Edgers - Union Electric Åkers (uniones.com)
17. XT Mill Rolls North America. URL: [http://www.xtmillrolls.com/castrolls\\_overview.html](http://www.xtmillrolls.com/castrolls_overview.html)
18. Rolls for Long products Mill. Shanghai Tangshan Heavy Machinery International Co., Ltd. URL: Rolls for Long Products Mill – Expert of Mill Rolls (tsroll.com)
19. Rolls & Ring. Hisar. 2015. URL: Hisar Çelik (hisarcelik.com)
20. High-Speed Steel Rolls for rolling mills: the cost-effective solution to improve rolls lifetime. DR-HSS Rolling Mill Roll Series. DANIELI SERVICE. 2019. URL: [https://www.danieli.com/media/download/img\\_4177.pdf](https://www.danieli.com/media/download/img_4177.pdf)
21. Adamite Rolls. Leon Roll China co., LTD. 2022. URL: Adamite Rolls - Leon mill Roll China co.,ltd (lrcroll.com)

## **ANALYSIS OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF LONG PRODUCT ROLLING MILL ROLLS**

**Samokhval V., Basak R.**

### **Abstract**

Rolls of longproduct rolling mills, as an expendable working tool of the rolling technological operation, make up a significant share of redistribution costs and significantly affect the economic efficiency of the manufacturing process. The importance of rolls is manifested in the organization of their production at specialized enterprises, the presence of rolling menage in the workshops of metallurgical enterprises, the development and introduction of new rolling rolls materials. Therefore, the tasks of analyzing the available roll materials and their properties, choosing the optimal set of properties for the conditions of a certain state become quite actual.

The purpose of the work is to review rolled materials and analyze the properties of rolls used in modern long-product mills. Such an analysis was performed for steel and cast-iron rolls, the use of which is most common on mills for the production of simple profiles in the form of bars and rods.

Based on the analysis of the latest research and publications, the stages of the development of rolled materials in retrospect, the main indicators of the mechanical, technological and operational properties of the rolls have been determined. The main types of cast iron and steel rolling materials offered by leading manufacturers of rolling rolls are also established. For these groups of roll materials, an analysis of their mechanical properties, such as hardness, tensile strength, and bending strength, was performed.

Based on the results of the analysis, a significant improvement in the mechanical and operational properties of modern rolled materials was noted. This is achieved due to alloying, improvement of their manufacturing technologies, specialized types of heat treatment aimed at forming a certain structure and properties. Conditional blurring of boundaries between cast iron and steel rolls is also established. For example, iron rolls with a ferrite structure and spheroidal graphite and graphitized steel rolls are used, which provide approximately the same mechanical strength, gripping ability and wear resistance.

Modern rolled materials are characterized by the expansion of controlled property indicators. This applies both to the components of the chemical composition and to indicators of mechanical properties. In particular, the leading manufacturers of rolled rolls include the bending strength limit, which is 1.5 to 2 times higher than the strength limit from tensile tests, among the mandatory indicators.

In the calculations of the rolls, the fulfillment of their strength conditions should be checked by the allowable stresses determined beyond the bending strength limit, as an indicator of the properties, which to a greater extent corresponds to the load conditions of the rolls.

An objective assessment of the performance of the rolls according to the strength conditions can be obtained only when determining the allowable stresses based on the actual values of the properties provided by the manufacturer of the rolls, and not according to the range of values recommended in the literature.

The results of the conducted analysis can be used for the justified selection of rolling materials, improving the control of their properties, obtaining objective assessments of their performance, increasing the efficiency of the rolling farm and technical and economic indicators of production processes.

### References

- [1] Spuzik S., Stafford K. N., Subramanian C., Savage G. (1994). *Wear of hot rolling mill rolls: an overview*. *Wear*. Vol. 176 P. 261 – 271. URL: [https://www.researchgate.net/publication/223768316\\_Wear\\_of\\_hot\\_rolling\\_mill\\_rolls\\_an\\_overview](https://www.researchgate.net/publication/223768316_Wear_of_hot_rolling_mill_rolls_an_overview).
- [2] Durfee W. F. (1899) *The Early Use of Rolls in the Manufacture of Metals*. - *Cassier's Magazine*, URL: [http://www.wkfinetools.com/hus/steel\\_yReading/1899-rollingMetals/1899-rollingMetals-01.asp](http://www.wkfinetools.com/hus/steel_yReading/1899-rollingMetals/1899-rollingMetals-01.asp).
- [3] Henry Cort. *English manufacturer*. URL: [Henry Cort | English manufacturer | Britannica](#).
- [4] Beynon R.E. (1960) *Kalybrovka valkov y raspolozhenye prokatnykh stanov [Roll Design and Mill Layout]*. M.: Metallurhyzdat.. 204 p. [in Russian].
- [5] Korolev A.A. (1969) *Konstruksyia y raschet mashyn y mekhanyzmov prokatnykh stanov. (Uchebnoe posobyie) [Design and calculation of machines and mechanisms of rolling mills. Tutorial]*. M: Metalurhyia, 464 p. [in Russian].
- [6] Schröder K.H. (2003) *A basic understanding of the mechanics of rolling mill rolls*. Eisenwerk Sulzau-Werfen, Tenneck. 111 p.
- [7] *Prokatnye stany* (1992). V 3-kh t. 2-e yzd., pererab. y dop. [Rolling mills: In 3 volumes, 2nd ed., Revised. and additional] T.1: *Obzhymnye, zahotovochnye y sortoprokatnye [Cogging, billet and section rolling]*. M: Metalurhyia, 430 p. [in Russian].
- [8] *XT Mill Rolls North America*. URL: [http://www.xtmillrolls.com/castrolls\\_overview.html](http://www.xtmillrolls.com/castrolls_overview.html).
- [9] *Cast Iron Rolls. DR-CI Rolling Mill Roll Series* (2020) DANIELI SERVICE. URL: [img\\_4896.pdf](img_4896.pdf) (danieli.com).
- [10] *Centrifugal Casting* (2014) Changzhou Kaida Heavy Industry Technology Co., Ltd. URL: [Centrifugal Casting-Changzhou Kaida Heavy Industry Technology Co., Ltd \(kaidaroll.com\)](#)
- [11] Kerwin T. (2020) *HSS Rolls for rolling Long Products*. SINOPAC. URL: [HSS Rolls for rolling Long Products \(linkedin.com\)](#).
- [12] Shama S. (2017) *Comparison of Mechanical Properties of Austenitic Ductile Cast Iron with Ferritic/Pearlitic Ductile Cast Iron*: Dissertation of the degree of Master of technology. Odisha (India): National Institute of Technology Rourkela. 71 p. URL: [http://ethesis.nitrkl.ac.in/8480/1/2016\\_PhD.\\_SShama\\_613MM3016.pdf](http://ethesis.nitrkl.ac.in/8480/1/2016_PhD._SShama_613MM3016.pdf).
- [13] *Section mill rolls for the production of long products* (2022) Walzen IRLE GmbH. URL: <https://www.walzenirle.com/en/products/rolls/steel-industry/section-steel/>.
- [14] Ivanchenko F.K., Hrebennyk V.M., Shyriaiev V.I. (1995) *Rozrakhunok mashyn i mekhanizmiv prokatnykh tsekhiv: Navchalnyi posibnyk [Rozrahunok of machines and mechanisms of rolling shops: Heading guide]*. Kyiv: Vyshcha shkola. 455 p. [in Ukrainian].

- [15] Noguchi T. (1990) *Bending Strength of Gray Cast Iron*. *Journal of Testing and Evaluation*. Vol.18, N. 1 P. 70-75. <https://doi.org/10.1520/JTE12453J> .
- [16] *Section Mill Rolls, Sleeves and Edgers. A broad product portfolio* (2020) Union Electric Akers Corporation. URL: Section Mill Rolls, Sleeves and Edgers - Union Electric Ekers (uniones.com)
- [17] *XT Mill Rolls North America*. URL: [http://www.xtmillrolls.com/castrolls\\_overview.html](http://www.xtmillrolls.com/castrolls_overview.html)
- [18] *Rolls for Long products Mill*. Shanghai Tangshan Heavy Machinery International Co., Ltd. URL: Rolls for Long Products Mill – Expert of Mill Rolls (tsroll.com) .
- [19] *Rolls & Ring* (2015) Hisar. URL: Hisar 3elik (hisarcelik.com)
- [20] *High-Speed Steel Rolls for rolling mills: the cost-effective solution to improve rolls lifetime*. DR-HSS Rolling Mill Roll Series (2019) DANIELI SERVICE. URL: [https://www.danieli.com/media/download/img\\_4177.pdf](https://www.danieli.com/media/download/img_4177.pdf) .
- [21] *Adamite Rolls* (2022) Leon Roll China co., LTD. URL: Adamite Rolls - Leon mill Roll China co.,ltd (lrcroll.com) .