

## УДК 519.21

Діана Глушкова<sup>1</sup>, д.т.н., проф., Володимир Большаков<sup>2</sup>, д.т.н., проф., Сергій Мариненко<sup>3</sup>, к.т.н., доц.

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

<sup>2</sup>Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Україна

<sup>3</sup>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

### ОПТИМІЗАЦІЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Анотація: Технологія виробництва прокатних валків застосовується до багатопараметричних технологій, де дію органів можна підсилити фізичними властивостями металу, як-от твердість і пластичність. Для дослідження використовують сплав Fe-Cr-Ni на валках марки SSHN, з модифікаціями Foundrisil, Elmag-600, Elmag-900, V1 57 (M), Barinoc, Elgraf. Графоаналітичний метод визначив зону найбільш ефективних механічних характеристик для прокатних машин у межах хімічного складу та структурних параметрів.

Ключові слова: робоча зона параметрів, технологічний режим, хімічний склад, сплав Fe-Cr-Ni, механічна потужність

**Diana Hlushkova, Volodymyr Volchuk, Serhii Marynenko**

### OPTIMIZATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF ROLLING ROLLS USING MULTIPARAMETRIC TECHNOLOGIES

Annotation: The technology of roll production is applied to multiparametric technologies, where the action of components can be enhanced by the physical properties of the metal, such as hardness and plasticity. The Fe-Cr-Ni alloy on SSHN rolls with modifications Foundrisil, Elmag-600, Elmag-900, V1 57 (M), Barinoc, Elgraf is used for the research. The graphical-analytical method identified the region of the most effective mechanical characteristics for rolling machines within the chemical composition and structural parameters.

Keywords: working area of parameters, technological mode, chemical composition, Fe-Cr-Ni alloy, mechanical power

Деякі з багатопараметричних технологій, наприклад, технологія прокатки валків, націлені на створення матеріалів із певними властивостями. Важливо зазначити, що деякі з цих властивостей можуть суперечити одна одній за своєю фізичною природою. Наприклад, підвищення твердості чавуну або сталі часто знижує їх пластичність і збільшує крихкість. Через це виникає необхідність визначити область компромісу, де протиріччя між різними критеріями залишаються в допустимих межах, забезпечуючи збалансовані властивості. Реалізація етапу визначення області компромісу за механічними властивостями досліджуваних валків вимагає врахування багатьох факторів. Більшість критеріїв, що характеризують продуктивність і ефективність технології, встановлюються стандартними технологічними процесами і нормативними документами, які підтримують технологічний процес в оптимальній робочій зоні параметрів для досягнення максимальної продуктивності і якості продукції.

У цьому дослідженні використовували чавунні валки версій СШХН (з 280 плавок загальною вагою близько 800 тонн) для покращення їх експлуатаційних характеристик, зокрема, твердості і зносостійкості. Обрані чавунні валки мали кулеподібну форму графіту та були леговані хромом і нікелем. Такі валки, такі як СШН-41, СШХН-45, СШХН-47, СШХН-50, стали популярними у металургійному виробництві, особливо на чорнових і передчистових станах, де потрібна висока міцність. Для виготовлення валків

також використовувалися модифікатори, такі як Foundrisil, Elmag-600, Elmag-900, VI 57 (M), Elgraf. Механічні властивості ( $\sigma_b$ ,  $\sigma_{зг}$ , КС та HSD) визначали для робочої зони бочок чавунних валків виконання СШХН з гладкою бочкою на стандартизованому обладнанні, використовуючи випробувальну машину «INSTRON», маятниковий палеутворювач ПСВ 5, випробувальну машину ЦД-40, твердомір - склероскоп Шора. Аналіз хімічного складу, способів легування, умов термічної обробки та інших параметрів, що впливають на властивості валків, є ключовим аспектом цієї роботи, з використанням даних з різних джерел, включаючи результати лабораторних досліджень і нормативні документи.

Для поліпшення властивостей валків важливо було провести комплексний аналіз взаємозв'язку між складом матеріалу і його механічними властивостями, такими як міцність на розрив ( $\sigma_b$ ), ударна в'язкість (КС), твердість (HSD) і міцність на вигин ( $\sigma_{зг}$ ). Дослідження показали, що зміна вмісту хрому і нікелю значно впливає на ці властивості.

Крім хімічного складу, важливу роль відіграє структура матеріалу, включаючи розподіл і форму графітових включень і карбідів. Встановлення взаємозв'язку між конструктивними елементами і механічними властивостями дозволило розробити рекомендації щодо оптимального поєднання компонентів хімічного складу, що покращує експлуатаційні характеристики валків.

Визначення області компромісу є важливим кроком у розробці та вдосконаленні технологій виготовлення прокатних валків. Це дозволяє визначати пріоритети різних механічних властивостей, прогнозувати можливі зміни в процесі та автоматично коригувати склад сплаву для досягнення найкращих результатів. Такий підхід підвищує якість і довговічність продукції, що є важливим фактором у сучасній металургійній галузі.

Зона допустимих значень механічних властивостей для валків СШХН (рис. 1) враховує широкий спектр умов охолодження.

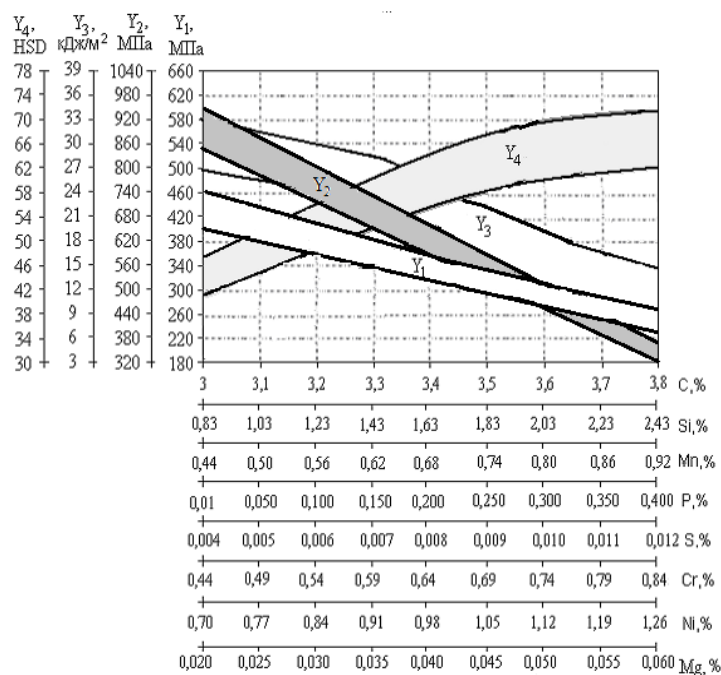
Середні розкиди хімічного складу для цих валків становили  $\pm 0,22\%$  маси, а прогнозованих значень -  $\pm 0,24\%$ . Похибка значень механічних властивостей не перевищує 4,6% для експериментальних досліджень та 7,8% для прогнозів.

Для валків діаметром 300-1100 мм з перліт-графіт-цементитовим робочим шаром рекомендується знижувати концентрацію вуглецю до менше 2,8%. Це пов'язано з утворенням графітових включень, що знижують міцність і пластичність матеріалу. Вміст зв'язаного вуглецю до 1,2% підвищує твердість і міцність, але знижує пластичність.

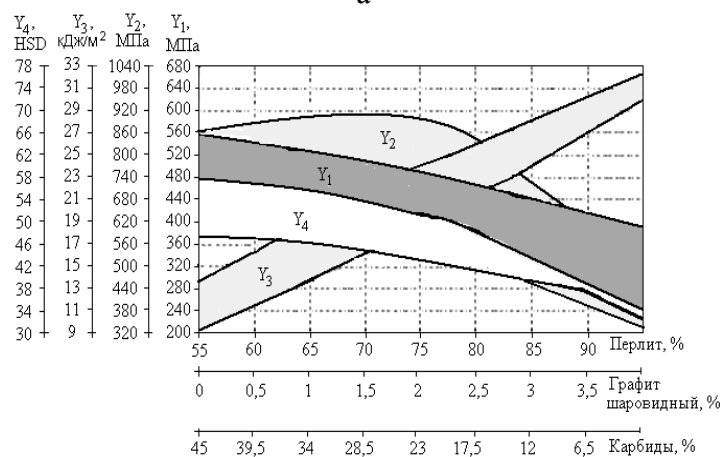
Дослідження показало, що вміст вуглецю в діапазоні 2,6-3,6% впливає на механічні властивості валків. Зі збільшенням вмісту вуглецю знижується межа міцності на вигин (з 940 МПа до 320 МПа) і ударна в'язкість (з 33 кДж/м<sup>2</sup> до 8 кДж/м<sup>2</sup>). Додаткові 0,1% вуглецю знижують міцність на 20 МПа.

Магнієві добавки ( $\geq 0,03\%$ ) утворюють сферичні графітові включення, що підвищують зносостійкість, жароміцність і міцність валків. Кремній (0,2-0,4%) використовується для досягнення необхідного ступеня графітизації. Нікель (до 1,3%) легує ферит, зменшуючи графітові включення, що підвищує міцність і зносостійкість. Легування нікелю в межах 1,12-1,26% покращує ударну в'язкість і створює дрібнодисперсний перліт. Фосфор (до 0,5%) негативно впливає на міцність через утворення крихких фосфідних евтектик. Сірка (до 0,1%) збільшує твердість і крихкість валків.

Збільшення кількості пластинчастого перліту до 90% при вмісті карбиду до 6,5% підвищує ударну в'язкість до 33 кДж/м<sup>2</sup>. Поєднання легуючих елементів і структурних компонентів оптимізує механічні властивості чавунних валків, забезпечуючи баланс між твердістю, міцністю і зносостійкістю.



а



б

Рис. 1 – Зони з найефективнішим поєднання механічних властивостей валків (області компромісу) з кулеподібною формою графіту в залежності від хімічного складу (а) та параметрів структури (б)

У дослідженні встановлено зону компромісу, яка забезпечує найбільш оптимальне поєднання механічних властивостей, таких як межа міцності  $\sigma_b$ , міцність на згин  $\sigma_{zg}$ , ударна в'язкість КС і твердість HSD, для робочої зони бочок прокатних валків типу СШХН (СШХН-41, СШХН-45, СШХН-47, СШН-50). Ця зона визначається конкретними межами вмісту компонентів, хімічним складом і параметрами структури, що включають відсотковий вміст кулеподібного графіту, пластинчастого перліту і карбідів.

Застосування запропонованого методу для визначення зони компромісу дозволяє надати пріоритет механічним характеристикам валків, прогнозувати зміни в технологічному процесі та автоматично вносити корективи в хімічний склад матеріалу. Рекомендації стосовно досягнення оптимального поєднання механічних властивостей  $\sigma_b$ ,  $\sigma_{zg}$ , КС та HSD базуються на встановлених межах вмісту компонентів хімічного складу.