

## МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ ВІДПОВІДАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Поворотня І.Р., Подольський Р.В., Сафронова О.А., Олійник Е.В.

*Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, Україна, Дніпро*

**Анотація.** *Особливого значення у металургійній промисловості набуває питання оптимізації хімічного складу сталі з метою забезпечення затребуваного рівня властивостей. Проте значна кількість сучасних комплексних підходів ґрунтується на застосуванні інформаційних технологій.*

*Метою роботи є дослідження впливу хімічного складу вуглецевих сталей на формування їх мікроструктури та твердості. У рамках дослідження було виплавлено дослідні злитки вуглецевих сталей різного складу, які потім піддавалися гарячій пластичній деформації (ГПД) з наступною термічною обробкою (ГПД+ТО). Матеріалом дослідження були лабораторні сталі, що є співставними за хімічним складом зі сталями для залізничних осей відповідно до державного стандарту, європейського та американського стандарту.*

*Під час досліджень виявлено, що хімічний склад впливає на кількість структурних компонентів та твердість досліджених сталей у різних станах, таких як литий, після ГПД та ГПД+ТО. Виявлено, що за певного хімічного складу, при якому величина інтегрального параметру зарядового стану ( $Z^Y$ ) менше 0,20 е, твердість сталі у стані після ГПД перевищує твердість сталі у стані після ГПД+ТО.*

**Ключові слова:** *залізничні осі, хімічний склад, параметри міжатомної взаємодії, твердість, термічна обробка, гаряча пластична деформація.*

Існуючі методи оптимізації хімічного складу сталі, спрямовані на забезпечення необхідних механічних властивостей та структурного стану, як правило, базуються на статистичних моделях "склад-властивість", що не враховують фізико-хімічні аспекти поведінки багатоконпонентного розплаву на заключних стадіях технології виробництва готової продукції, таких як фазові перетворення. У даній роботі був проведений комплексний пошук оптимального хімічного складу в межах відомих марок сталей. Цей підхід ґрунтується на концепції спрямованого хімічного зв'язку [1], яка розглядає металевий розплав як хімічно єдине ціле, та використанні факторного аналізу для генерації моделей оптимальної структури.

Проведено аналіз впливу хімічних елементів на твердість з використанням параметрів міжатомної взаємодії:  $Z^Y$  – параметр зарядового стану системи,  $e$ ;  $d$  – середньозважена між'ядерна відстань,  $10^{-1}\text{нм}$ ;  $tga$  – константа для кожного елемента, що характеризує зміну радіуса іона при зміні його заряду;  $\rho l$  – спрямована зарядова щільність,  $e/\text{нм}$  (рис. 1). Об'єктом дослідження були лабораторні сталі, які мають хімічний склад, подібний до сталей, що використовуються для виробництва залізничних осей марок EA1N (EN13261:2009), OC (ДСТУ 4728:2014) та F (AAR M-101-2017).

Встановлено, що при виконанні умови  $1,20 \leq Z^Y \leq 1,2$  відбувається зміна пріоритету функцій твердості від хімічного складу після ГПД та ГПД+ТО: до цього інтервалу значень вище розташовується лінія тренду для стану після термічної обробки, а нижче – після гарячої пластичної деформації; після цього інтервалу значень  $Z^Y$  – навпаки (рис. 2).

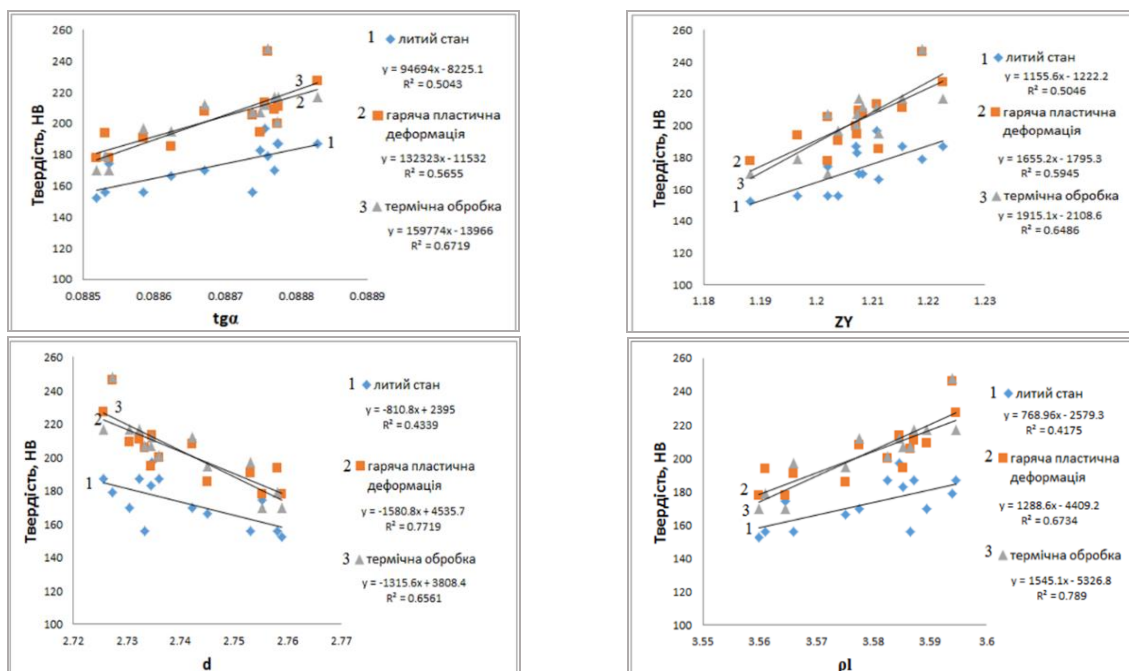


Рисунок 1 – Залежність твердості зразків дослідної сталі лабораторного виготовлення від параметрів міжатомної взаємодії

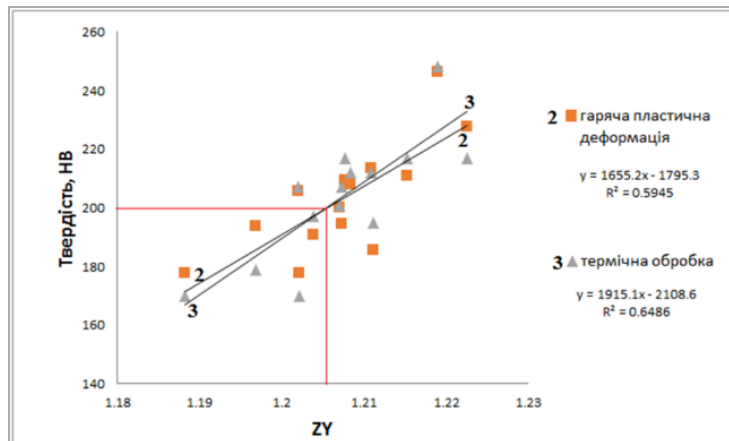


Рисунок 2 – Вплив зміни значення параметру  $Z^Y$  на рівень твердості зразків дослідної сталі лабораторного виготовлення

Таким чином в результаті досліджень впливу хімічного складу на кількість структурних складових та твердість дослідних сталей у литому стані, після ГПД, та ГПД+ТО встановлено, що за певного хімічного складу при якому  $Z^Y$  менше 0,20 е твердість сталі у стані після ГПД вище, ніж після наступної термічної обробки.

#### Висновок

У результаті проведеного аналізу впливу хімічного складу сталей, що закодовано у інтегральних параметрах міжатомної взаємодії на твердість виявлено найбільш вагомі для опису кожного з трьох станів, що досліджувались (литий стан, ГПД, ГПД+ТО). Виявлено зміну направленості ліній трендів ГПД та ГПД+ТО, завдяки параметру зарядового стану системи  $Z^Y$ , яка відбувається при виконанні умови  $1,20 \leq Z^Y \leq 1,2$ , що відображає роль специфіки технологічних аспектів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Togobitska D., Belkova A. (2024) New approach to evaluating the thermodynamic consistency of melts in the «Metal-Slag» system based on interatomic interaction parameters. Lithuanian Journal of Physics. 64, (1), 58-71. <https://doi.org/10.3952/physics.2024.64.1.6>

**METHODOLOGICAL APPROACH TO THE DETERMINATION OF THE  
EFFECTIVE COMPONENT COMPOSITION OF CARBON  
STEELS FOR THE RESPONSIBLE APPOINTMENT**

Povorotnia I., Podolskyi R., Safronova O., Oleinyk E.

**Abstract.** *Of particular importance in the metallurgical industry is the issue of optimizing the chemical composition of steel in order to ensure the required level of properties. However, a significant number of modern complex approaches are based on the application of information technologies.*

*The purpose of the work is to study the influence of the chemical composition of carbon steels on the formation of their microstructure and hardness. As part of the research, experimental ingots of carbon steels of various compositions were melted, which were then subjected to hot plastic deformation (HPD) followed by heat treatment (HPD+HT). The research material was laboratory steels, which are comparable in chemical composition to steels for railway axles according to the state standard, European and American standard.*

*During the research, it was found that the chemical composition affects the number of structural components and the hardness of the studied steels in different states, such as cast, after HPD and HPD +TO. It was found that for a certain chemical composition, in which the value of the integral parameter of the state of charge ( $Z^Y$ ) is less than 0.20 e, the hardness of steel in the state after HPD exceeds the hardness of steel in the state after HPD +TO.*

**Keywords:** *railway axles, chemical composition, parameters of interatomic interaction, hardness, heat treatment, hot plastic deformation.*

**REFERENCES:**

1. Togobitska D., Belkova A. New approach to evaluating the thermodynamic consistency of melts in the «Metal-Slag» system based on interatomic interaction parameters. Lithuanian Journal of Physics. 2024. Vol. 64. No.1. pp.58-71. <https://doi.org/10.3952/physics.2024.64.1.6>