

ОПТИМІЗАЦІЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СТАЛІ МАРКИ ОС ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТВЕРДОСТІ

Поворотня І.Р.¹, Сафронова О.А.², Подольський Р.В.³, Кононенко Г.А.⁴

¹ІЧМ НАН України, канд. техн. наук, Україна

²ІЧМ НАН України, аспірант, Україна

³ІЧМ НАН України, докт. філ., Україна

⁴ІЧМ НАН України, НТУ «Дніпровська Політехніка», докт. техн. наук., Україна

Анотація. У представлений роботі здійснено комплексний аналіз оптимізації хімічного складу сталі в межах існуючих марок із використанням концепції спрямованого хімічного зв'язку. Цей науковий підхід базується на уявленні про металевий розплав як єдину хімічну систему, де взаємодія між елементами визначає властивості матеріалу. Основна увага приділяється впливу варіацій вмісту ключових матричних елементів — вуглецю, кремнію та марганцю — на зарядовий стан системи, що описується параметром ZY . Під час розрахункового експерименту встановлено, що ефективне функціонування металевої системи забезпечується при співвідношенні Mn/Si у межах 2,8–3,2. Досягнення цього діапазону переважно досягається за рахунок регулювання вмісту кремнію, що сприяє збереженню хімічної рівноваги в розплаві. Зі збільшенням цього співвідношення понад оптимальні межі зростає вплив надлишкового марганцю, що може негативно позначатися на стабільності системи та властивостях сталі. Це свідчить про необхідність точного контролю хімічного складу для отримання матеріалу з бажаними експлуатаційними характеристиками.

Ключові слова: залізнична вісь, хімічний склад, вуглець, кремній, марганець, співвідношення, механічні властивості.

Враховуючи особливості діапазонів хімічного складу в рамках марочного (матричного) є значна важкість не тільки у відтворення різних комбінацій хімічного складу, але і в визначенні оптимальних комбінацій введення хімічних елементів їх засвоєння та вплив на кінцеві механічні властивості [1]. Таким чином, застосування концепції спрямованого хімічного зв'язку дозволяє на етапі розрахунків виявляти оптимальні співвідношення легуючих елементів, що забезпечують бажані фізико-хімічні властивості сплаву. Це дозволяє суттєво скоротити обсяг експериментальних досліджень та знизити витрати на створення нових матеріалів з покращеними характеристиками.

Розрахунок для сталі марки ОС з хімічним складом досліджуваної сталі відповідає хімічному складу, зазначеному у стандарті ДСТУ 31334:2009.

Зміна матричних елементів здійснювалась від мінімального до максимального значення згідно вказаного вмісту з відповідним кроком (С з кроком 0,008; Mn з кроком 0,033; Si з кроком 0,022).

Сталь марки ОС частково входить у інтервал $1,2 \leq ZY \leq 1,21$, який був визначений на попередніх етапах досліджень, та було встановлено, що за менших значень ZY проведення нормалізації після гарячої пластичної деформації вуглецевих сталей не призводить до підвищення твердості. На рис.1 дані, які задовольняють вказану вимогу, розташовані нижче червоної лінії. Усі елементи матричної системи у конкретному випадку для сталі марки ОС призводять до зростання значень параметру ZY . Встановлено, що інтенсивність впливу елементів на параметр ZY різна, за відносного значення 0,5-0,6 відбувається зміна найбільш ефективного параметру.

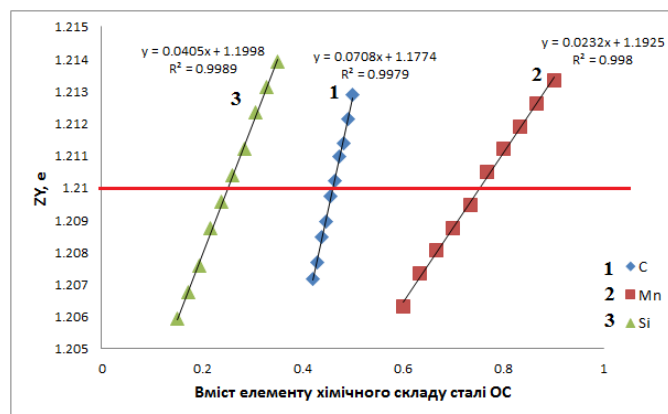


Рисунок 1 – Вплив зміни вмісту вуглецю, кремнію, марганцю на параметр міжатомної взаємодії – ZY

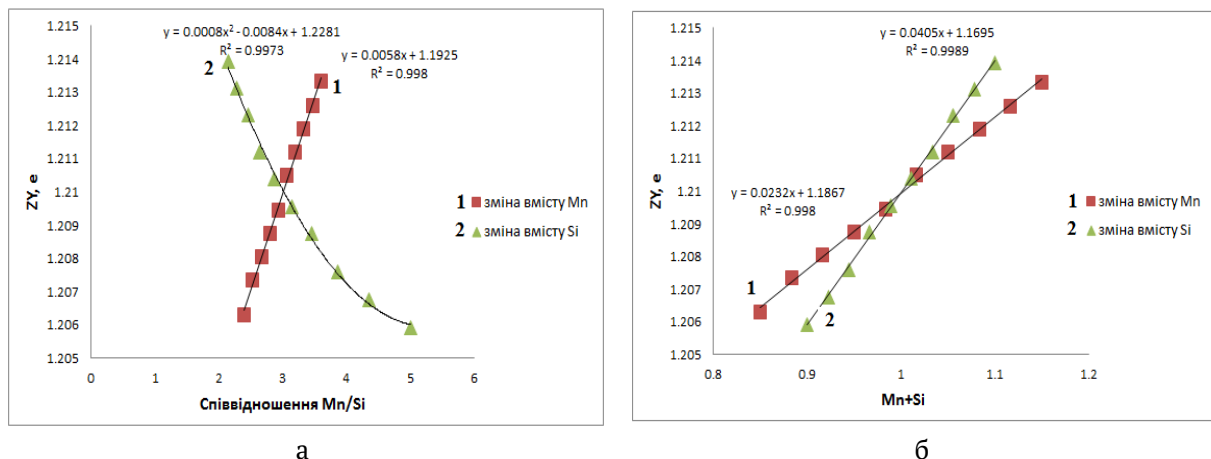


Рисунок 2 – Взаємозв'язок зарядового стану сталі ОС: а) з співвідношенням Mn/Si; б) з (Mn+Si)

В результаті проведеного математичного експерименту встановлено, що за значень Mn/Si для сталі марки ОС на рівні 2,8-3,2 відбувається зміна найбільш інтенсивного впливу співвідношення елементів на ZY сталі. До цього значення найбільший вплив та спадаючий характер функції носить збільшення параметру Mn/Si за рахунок зміни кремнію, а за подальшого збільшення Mn/Si вже стає більш ефективним збільшення вмісту марганцю, який має зростаючий характер. Таким чином, для підвищення параметру ZY, збільшення якого призводить до підвищення твердості необхідно віддавати перевагу збільшенню марганцю після значення Mn/Si на рівні 2,8-3,2, а до цього інтервалу – збільшенню вмісту кремнію. Найбільші значення параметру ZY спостерігали за змінювання кремнію при постійних середніх значеннях вуглецю та марганцю, ця закономірність з високою точністю ($R^2=0,997$) описується параболічною функцією.

В результаті дослідження впливу сумарного вмісту кремнію та марганцю на зарядовий стан сталі марки ОС встановлено, що в інтервалі значень 0,98-1,02 відбувається зміна провідного елементу, що впливає на цей параметр. До вказаного інтервалу найбільший вплив чинить зміна вмісту марганцю, після цього інтервалу – кремнію. Задля досягнення максимальних значень твердості (які спостерігається за високих значень параметру ZY) залізничних осей марки ОС рекомендовано дотримуватись наступних підходів: виходячи з аналізу рис. 1 та 2 вміст кремнію має бути наближеним до максимального в межах марочного (0,35%), при цьому вміст вуглецю та марганцю може бути на

середньому рівні (0,75% марганцю та 0,46% вуглецю). Подальше збільшення вуглецю і марганцю також може дати певний приріст твердості, однак їх вплив не має високої ефективності. Важливо відзначити, що за хімічного складу сталі для якого параметр ZY відповідає діапазону 1,20-1,21 вплив термічної обробки на твердість відсутній. Тому, з точки зору забезпечення максимального рівня твердості за мінімальної кількості обробок, для сталей з хімічним складом, який відповідає вказаній умові (рис. 1, нижче червоної лінії) можна не проводити термічне оброблення після гарячої пластичної деформації для підвищення твердості. Рівень червоної лінії відповідає середнім значенням вмісту елементів. Таким чином, за зменшення вмісту кремнію з максимального до середнього є можливість відмовитись від цілого етапу виготовлення осі – термічного оброблення, при цьому твердість матиме задовільний рівень.

Висновки. Дослідження показало, що для сталі марки ОС оптимальне співвідношення Mn/Si для підвищення твердості знаходиться в діапазоні 2,8-3,2. До цього значення ефективніше зменшувати вміст кремнію, а після – збільшувати вміст марганцю. Інтервал значень ZY , що визначає зміну інтенсивності впливу, становить 1,215-1,217 е.

Розроблені загальні рекомендації щодо вибору раціонального хімічного складу. Для забезпечення максимальної твердості може бути використаний раціональний підхід: вміст кремнію має бути наближеним до максимального рівня в межах марочного, вміст вуглецю і марганцю – не нижче середнього. Для сталей марок ОС наступна термічна обробка після гарячої пластичної деформації забезпечує підвищення твердості. Для сталі марки ОС за певного хімічного складу наступна нормалізація не призведе до суттєвого підвищення твердості, тобто може бути забезпечений достатній рівень твердості без проведення вказаного етапу виробництва.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Clarke A.J., Miller M., Field R., Coughlin D., Gibbs P., Clarke K.D., Alexander D., Powers K., Papin A.P., Krauss G. Atomic and nanoscale chemical and structural changes in quenched and tempered 4340 steel. Acta Materialia. – 2014, 77. P.17–27

OPTIMIZATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF OS STEEL TO INCREASE HARDNESS

Povorotnya I.R., Safronova O.A., Podolskyi R.V., Kononenko G.A.

Abstract. *In the presented work, a comprehensive analysis of the optimization of the chemical composition of steel within the existing grades using the concept of directional chemical bonding has been carried out. This scientific approach is based on the idea of a metal melt as a single chemical system, where the interaction between elements determines the properties of the material. The main attention is paid to the influence of variations in the content of key matrix elements — carbon, silicon and manganese — on the charge state of the system, which is described by the parameter ZY. During the calculation experiment, it was established that the effective functioning of the metal system is ensured at a Mn/Si ratio within 2.8–3.2. Achieving this range is mainly achieved by regulating the silicon content, which contributes to maintaining chemical equilibrium in the melt. With an increase in this ratio beyond the optimal limits, the influence of excess manganese increases, which can negatively affect the stability of the system and the properties of the steel. This indicates the need for precise control of the chemical composition to obtain a material with the desired performance characteristics.*

Keywords: *railway axle, chemical composition, carbon, silicon, manganese, ratio, mechanical properties.*