DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2023.01.059

ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛЕГУЮЧИХ ДОБАВОК – ВАЖЛИВА СКЛАДОВА ОДЕРЖАННЯ ЯКІСНОГО МЕТАЛУ

Тогобицька Д.М., Поворотня І.Р., Піптюк В.П., Греков С.В., Кукса О.В.
Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, м. Дніпро

Сьогодення вітчизняної металургійної галузі характеризується часто нестабільними умовами виробництва, що відчутно на формуванні економіки країни, оскільки саме металургія є однією з основних її ланок. Все сильніше зростає нагальна потреба металоспоживачів у якісних спеціальних сталях, сплавах, чавунах задля забезпечення ефективного функціонування суміжних з металургійною галузей, зокрема, будівництва, авіації, транспортного та важкого машинобудування, електротехніки та інших.

З огляду на високу технологічність металургійної галузі - оперативна та достовірна інформація надана майстру-сталевару при виробництві сталей через системи АСУТП та АСНД у яких закладені блоки адекватних прогнозних фізико-хімічних моделей підвищує можливість отримання якісного металу та зменшення браку за рахунок приймання оперативних управляючих технологічних рішень. Саме тому, особливе значення займає врахування комплексу фізико-хімічних властивостей розплавів (температури плавлення та кристалізації, в'язкості, поверхневого натягу та інших), що є основними важелями процесу спрямованого формування затребуваних замовником показників якості металовиробу. Актуальність цього питання в значній мірі загострюється з вимушеною втратою виробничих потужностей і значної частини мінерально-сировинних ресурсів у зв'язку з воєнними діями й нестабільністю економічного становища держави, що спровокувало перехід вітчизняного виробника з внутрішнього ринку України на зовнішній.

Зацікавленість щодо вирішення питання оцінки ефективності розподілу добавок підтверджується зростанням кількості досліджень у цій області, серед яких слід відзначити експериментальні та теоретичні дослідження в Національній металургійній академії - школа Гасика М.І.[1]; експериментальні і виробничі дослідження в поєднанні з термодинамічними дослідженнями у Інституті чорної металургії - школа Віхлевщука В.А. [2]; на Маріупольському металургійному комбінаті і в ряді інших галузевих інститутах, заводах України та ближнього зарубіжжя. Разом з тим феросплави та їх дослідження мають ряд труднощів, що спричинені їх високою температурою плавлення і як наслідок складнощами проведення експериментів з позицій технологічного обмеження

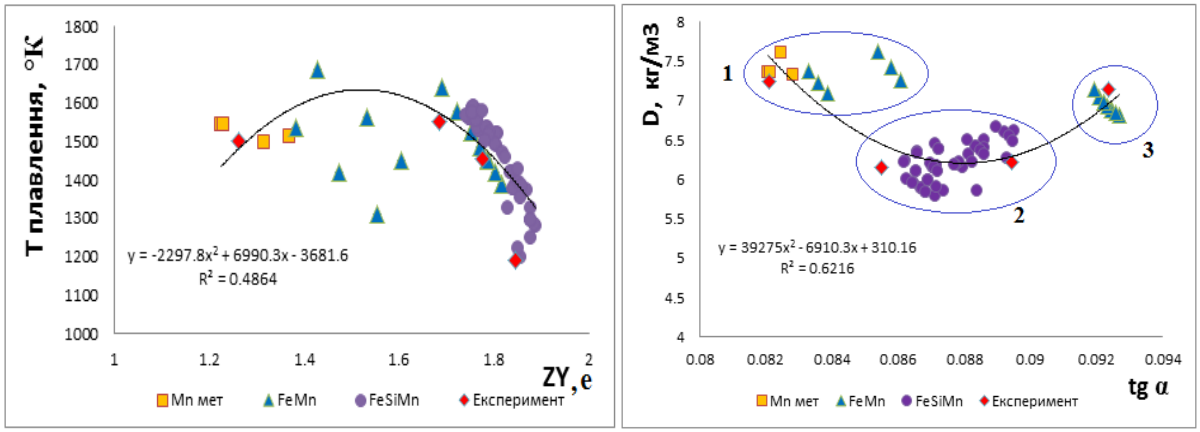
обладнання. Саме цей фактор у значній мірі впливають на наявність іноді суперечливої інформації у літературних джерелах про першочергові властивості феросплавів та потребують їх уточнення.

Вирішення вказаних питань можливе за рахунок розвитку методів математичного моделювання, розробки адекватних прогнозних моделей визначення властивостей феросплавів та комп'ютерного аналізу з залученням відправних позицій будови металевих розплавів і поглиблення знань про їх фізико-хімічну індивідуальність, що допоможе наблизитись до вибору ефективної добавки та розробки нових раціональних складів феросплавів з реалізацією подальшого основного наукового замислу – одержання якісного металу.

Значні досягнення в області моделювання металургійних процесів на рівні міжатомної взаємодії реалізовані в концепції спрямованого хімічного зв'язку, розробленої Приходько Е.В. в Інституті чорної металургії ім. З.І. Некрасова [3]. Принципова відмінність даного підходу від загальновідомих полягає у розгляді розплаву, як хімічно єдиної системи, а не просто механічної суміші хімічних елементів та впровадженні інтегральних параметрів міжатомної взаємодії у нерозривний ланцюг «склад – технологія – структура – властивості». Головна ідеологія концепції спрямованого хімічного зв'язку, що робить її унікальним інформаційно-алгоритмічним апаратом оформленим у програмний комплекс «Метал», заключається у вираженні зв'язків хімічного складу металургійних розплавів з їх властивостями на основі інтегральних параметрів міжатомної взаємодії: Z^Y – параметр зарядового стану системи, е; d – середньозважена між'ядерна відстань, 10^{-1}нм; tgα – константа для кожного елементу, яка характеризує градієнт зміни радіусу іона при зміні його заряду; ρl – спрямована зарядова щільність, е/нм.

У якості вихідних даних при моделюванні нами використано створені в ІЧМ НАНУ - репрезентативні бази даних «Банка даних «Металургія» (БДМет), а саме «Метал», «Феросплави» [4], які знаходяться в стадії постійної експлуатації і активного поповнення сучасними промисловими та літературними даними. Аналіз взаємозв'язків параметрів міжатомної взаємодії з властивостями ($T_{пл}$, °К – температура плавлення; $D\times10^3$, кг/м³ – густина; $C_{тв}$, Дж/кгК – теплоємність; λ, Вт/ м×К – теплопровідність; Q, КДж/кг – теплота плавлення; ρ, мОм×м – питомий електроопір; σ, МПа – тимчасовий опір) об'єднаної вибірки даних, що представляє собою марганець металевий, феромарганець, феросилікомарганець та експериментальні значення дозволив встановити найбільш інформативні параметри.

Температура плавлення та густина, як добавки що вводиться у металевий розплав, так і рідкої сталі є одними з основних лімітуючих чинників повноти протікання реакцій взаємодії у багатофазовому середовищі, швидкості розчинення, розподілу та засвоєння добавки, а також структурно-фазових перетворень, що закладають підґрунтя для формування фізико-хімічних, механічних властивостей кінцевого металопродукту. Підбір феросплаву у значній мірі залежить від температури сталі, адже при великій різниці температур процес взаємодії добавки з металевим розплавом буде значно уповільнюватись. Як слідує з фрагменту представленого на рис.1 залежності температури плавлення та густини феросплавів носять нелінійний характер, що дозволяє здійснити вибір раціонального феросплаву в залежності від відповідності до властивостей сталей.



а) б)

Рисунок 1 – Залежності температури плавлення та густини від параметрів міжатомної взаємодії

На рис.1б перша область відповідає сплавам з максимальним вмістом марганцю, а саме від 85 до 99,8%, що тим самим наближає їх до моносплаву, з малим вмістом інших компонентів сплаву. Аналізуючи рис.1б слід зазначити, що оптимальною є густина феросплавів класу FeSiMn з вмістом марганцю 57 – 75% (обл. 2). Третя область у свою чергу представлена розплавами феросплавів з вмістом Mn = 65 – 82%. Високі значення коефіцієнту кореляції R^2=0,62 та чітке розташування експериментальних значень по лінії тренду свідчать про те, що параметр зміни градієнту радіусу іона від його заряду – tgα, слід використати як модельний при прогнозуванні густини.

Таким чином, на основі виявлених взаємозв'язків параметрів міжатомної взаємодії з фізико-хімічними та теплофізичними властивостями феросплавів, що досліджуються та результатах проведеного кореляційно –

регресійного аналізу розроблені моделі для їх прогнозування мають вид: $T_{пл}$, D, $C_{тв}$, λ, Q, ρ, σ = f (ZY, d, tgα, ρl), R2⩾0,95.

Висновок. Ґрунтуючись на відправних положеннях концепції спрямованого хімічного зв'язку, з застосуванням методів «згортки» хімічного складу у параметрах міжатомної взаємодії розроблені прогнозні моделі фізико-хімічних та теплофізичних властивостей феросплавів ($T_{пл}$, D, $C_{тв}$, λ, Q, ρ, σ), які характеризуються високою точністю прогнозу та стійкістю, що дає підставу вибрати оптимальний склад феросплаву відповідно до властивостей сталей та пропонуються до використання у системах АСУТП сталеплавильного виробництва.

Література

1. Гасик М.И., Лякишев Н.П. Физикохимия и технология электроферросплавов: Учебник. – Дн-ск: Системные технологи, 2008. – 453.
2. Вихлевщук В.А., Харахулах В.С., Бродский С.С. Ковшевая доводка стали: Днепропетровск: Системные технологии, 2000 – 190 с.
3. Приходько Э.В. Эффективность комплексного легирования сталей и сплавов. – К.: Наукова думка, 1995. – 292с.
4. Тогобицкая Д.Н. Базы данных и модели для экспертной оценки эффективности использования ферросплавов при производстве стали / Тогобицкая Д.Н., Пиптюк В.П., Петров А.Ф., Греков С.В., Снигура И.Р., Лихачев Ю.М. Головко Л.А.// Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. 2017. – № 31. – С. 150 – 165.

PREDICTION OF THE PROPERTIES OF ALLOYING ADDITIVES IS AN IMPORTANT COMPONENT OF RECEIVING QUALITY METAL

Togobitskaya Daria**,** Povorotnia Iryna, Piptyuk Vitaliy,
Grekov Stanislav, Kuksa Oleg

Abstract. The main goal of the work is to predict the complex of physicochemical and thermophysical properties of additives from the standpoint of their contribution to the directed formation of the quality of steels. As a scientific basis for the development of analytical dependencies, the work uses the original concept of directional chemical bonding, the core of which is the consideration of metal melts as chemically unified systems, and not a mechanical mixture of constituent elements, and taking into account the contribution of all components, even in small concentrations, as well as the accumulated experience of creating information and analytical systems for forecasting and management of iron and steel smelting processes at the Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov National Academy of Sciences of Ukraine. The information component is a database on the properties of metallurgical melts, namely the "Ferroalloys" database chosen as the

starting point for modeling, which is continuously updated with modern data. A successful combination of information and scientific resources ensured the development of stable models with high forecast accuracy ($R^2 \geqslant 0.95$) for domestic brands of ferroalloys (ferromanganese, ferrosilicomanganese, metallic manganese). The findings presented in this work are recommended for integration into the automated technological process management systems of steelmaking with the aim of further forming a competitive final product.

Keywords: parameters of interatomic interaction, additives, ferroalloys, metal quality, prediction, models

Reference

1. Gasik M.I., Lyakishev N.P. Physical chemistry and technology of electroferroalloys: Textbook. - Dn-sk: System technologists, 2008. – 453 p.
2. V.A. Vikhlevshchuk, V.S. Kharakhulakh, and S. S. Brodskii. Ladle finishing of steel: Dnepropetrovsk: System technologies, 2000 - 190 p.
3. Prikhodko E.V. The effectiveness of complex alloying of steels and alloys. - K.: Naukova Dumka, 1995. - 292 p.
4. Togobitskaya D.N. Databases and models for expert evaluation of the efficiency of ferroalloys in steel production / Togobitskaya D.N., Piptyuk V.P., Petrov A.F., Grekov S.V., Snigura I.R., Likhachev Yu.M., Golovko L.A. // Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy. 2017. - № 31. - P. 150 - 165.