

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМИ ВИГОТОВЛЕННЯ  
ЕКОНОМНОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ЛИСТОВОГО ПРОКАТУ**

Кононенко Г.А.<sup>1</sup>, Кімстач Т.В.<sup>2</sup>, Подольський Р.В.<sup>3</sup>, Сафронова О.А.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ІЧМ НАНУ, НТУ «ДП», д.т.н., ст.досл., Україна

<sup>2</sup>ІЧМ НАНУ, УДУНТ, к.т.н, доц, Україна

<sup>3</sup>ІЧМ НАНУ, докт. філ., Україна

<sup>4</sup>ІЧМ НАНУ, Україна

**Анотація.** Зниження вартості металопрокату, зокрема через виробництво економно та низьколегованих сталей з високими фізико-механічними характеристиками, є ключовим завданням сучасного виробництва сталі, яку застосовують в будівництві промислових і цивільних об'єктів, мостів, трубопроводів, кранів, рам і кузовів великовантажних автомобілів тощо. Сучасні галузі застосування висувають до нього високі вимоги щодо міцності, холодостійкості, низькотемпературної в'язкості та зварюваності. Існує велика кількість методів впливу на якість легованої сталі. Для цього використовують обробку в печах або поза ними інертними газами, синтетичними шлаками, модифікування, суворе дотримання технології виплавки або коригування хімічного складу сталі, що в багатьох випадках дозволяє уникнути подальшої термічної обробки зливка. Оцінюючи витрати часу та матеріалів для застосування різних методів покращення якості сталі, економічне легування у поєднанні з мікролегуванням є на сьогодні найбільш вигідним та перспективним способом досягнення необхідних властивостей сталі.

**Ключові слова:** сталь, якість, мікролегування, легуючий елемент, технологія

**Вступ.** Підвищення вагової ефективності металовиробів за рахунок високої надійності та довговічності їх роботи, зниження вартості металопрокату, зокрема, за рахунок створення економнолегованих сталей з високими характеристиками фізико-механічних властивостей є найважливішими завданнями сучасного матеріалознавства.

Одним з основних видів продукції чорної металургії, який масово виробляють, є листовий прокат. Його споживають у великих обсягах усі галузі промисловості у зв'язку з чим обсяг виготовлення такого прокату на сьогодні складає десятки мільйонів тон щорічно. Використовують листовий прокат для виготовлення конструкцій промислових та цивільних будівель, резервуарів,

мостів, трубопроводів, кранів, рам і кузовів великовантажних автомобілів, гірничодобувної техніки тощо.

Виходячи з цього, сучасний рівень розвитку техніки пред'являє до листового прокату одночасно високі вимоги щодо міцності, низькотемпературної в'язкості, холодостійкості та зварюваності, оскільки вимоги до прокату різних галузей промисловості мають свою специфіку.

**Основний матеріал.** Розвиток будівництва, автомобілебудування та машинобудування супроводжувався постійним підвищенням технічних вимог до конструкційних сталей. Тому питання технології виробництва аналогів імпортних високоміцних листових сталей типу MARS 190-300, Miilux PROTECTION 320T-500T, ARMOX 370T-600T та інш., з яких виготовляють наноструктурований високоміцний листовий прокат з унікальним поєднанням механічних властивостей (міцність 700-2000 Н/мм<sup>2</sup>, твердість понад 280 HB), мають велике значення для народного господарства будь якої країни. Тому велика кількість наукових досліджень присвячена:

- розробці та застосуванню низьколегованих сталей,
- питанням більш повного використання потенційних можливостей складу сталей,
- гарантованому забезпеченню необхідного класу міцності та зменшенню коливання властивостей листового прокату, при одночасному зниженні витрат дефіцитних легуючих елементів.

У зв'язку з цим, актуальним завданням, яке має велике наукове та практичне значення, є дослідження закономірностей комплексних процесів структуроутворення та формування властивостей сталей, легованих марганцем та кремнієм, а також мікролегованих карбідоутворюючими елементами (Mo, V, Ti, Nb) та розробка на їх основі складів та технологій виробництва листового конструкційного прокату різних класів міцності та високої пластичності, а також розробка способів стабілізації рівня властивостей.

Вплив легуючих елементів на властивості сталі обумовлено подрібненням зерна, зміцненням фериту внаслідок утворення твердих розчинів впровадження та заміщення, зміцненням в результаті виділення частинок

другої фази різного ступеня дисперсності та зміною прогартовуваності. У зв'язку з цим сучасна технологія виробництва високоякісної сталі повинна забезпечувати відповідність технологічних параметрів заданим значенням. Для цього необхідний чіткий і збалансований підхід до виконання кожного з етапів сталеплавильного переділу. При цьому, технологія виробництва сталі повинна бути заснована на постійному експресному контролі технологічних параметрів і спрямована на отримання стабільного стану металу перед розливанням, що визначається вимогами до властивостей готової металопродукції.

Системний аналіз технологічного циклу виготовлення сталі в Україні та за кордоном свідчить, що технологічний ланцюг при цьому повинен обов'язково включати такі етапи:

підготовка шихтових матеріалів, яка має бути обрана заздалегідь з урахуванням чистоти та розмірів шихтових матеріалів, вмісту хімічних елементів, що не видаляються, і небажаних, але припустимих нормативно-технічною документацією домішок.

отримання напівпродукту, в якому міститься мінімальна кількість домішкових та необхідна кількість легуючих елементів, із заданим вмістом вуглецю, обмеженою кількістю кисню та із заданою температурою;

відсічення пічного шлаку при випуску або на спеціальному стенді з метою запобігання сульфурзації, фосфорації та вторинному окисненню;

дотримання шлакового режиму та розкислення плавки;

рафінування розплаву у вакуумі або шляхом продування через нього аргону;

розливання розплаву з обов'язковим захистом від вторинного окислення.

Важливу роль також відіграє модифікування розплавів лужними та лужноземельними металами, що є позапічним способом обробки сталі. Обробка сталі рідким синтетичним шлаком дозволяє проводити позапічну десульфуріацію та очищення від неметалевих включень та газів. Для цього використовують шлаки системи  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ , що мають високу рафінуючу

здатність. Рідкий синтетичний шлак готують у шлакоплавильній печі після чого його зливають у ківш і випускають туди сталь.

Удосконалення технології позапічної обробки електросталі шляхом відсікання пічного шлаку при переливі металу з ківша в ківш, зниження в 1,5–2 рази витрати кускового алюмінію, що вводиться в ківш, без зменшення його вмісту в металі, та оптимізації вмісту в сталі алюмінію та кальцію, що вводяться порошковим дротом, дозволяє керувати складом, кількістю та формою неметалевих включень. Включення, що утворюються при цьому, складаються, в основному, з алюмінатів кальцію округлої форми з високою часткою еквімолярних алюмінатів кальцію, що легко коалесцюють і видаляються з рідкої сталі. Утворення бідних за вмістом кальцію гекса- та біолюмінатів кальцію, що важко видаляються з рідкої сталі, зведено до мінімуму [1].

Виробництво товстолистового прокату за схемою: лита заготовка - кований сляб - прокат з використанням технології позапічного рафінування, вакуумування та модифікування дозволяє збільшити пластичність сталі за рахунок значного підвищення її чистоти.

Мінімізація кількості продуктів розкислення, оптимізація їх форми та складу при позапічній обробці сталі є необхідними, але недостатніми умовами отримання якісного зливка. Одним із пріоритетних напрямків у вирішенні проблем підвищення якості економнолегованої сталі в промислово розвинених країнах світу є використання в металургійних технологіях засобів магнітної гідродинаміки. Малоінерційна безконтактна дія електромагнітних полів на рідкий і кристалізований метал дає можливість керувати його температурою та швидкістю руху і, відповідно, процесами тепло- та масопереносу на всіх металургійних переділах.

**Висновки.** На сьогодні відома значна кількість важелів впливу на якість легованих сталей в числі яких є пічна та позапічна обробка розплаву у тому числі інертним газом, синтетичним шлаком, модифікуванням, при неухильному дотриманні технології плавки або за рахунок оптимізації хімічного складу сталі, зокрема, без послідувочої термічної обробки злитку.

Виходячи з оцінювання витрат часу та матеріалів на реалізацію більшості способів підвищення якості сталі найменш витратним є спосіб досягнення потрібної якості сталі за рахунок її економного та мікролегування.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Bhadeshia H.K.D.H.. Bainite in steels. Theory and Practice. Third Edition. 2015. 616p. <https://doi.org/10.1201/9781315096674>

#### MODERN TECHNOLOGICAL SCHEMES FOR THE PRODUCTION OF ECONOMICALLY ALLOYED STEELS FOR SHEET ROLLING

Kononenko G.A., Kimstach T.V., Podolskyi R.V., Safronova O.A.

**Abstract.** *Reducing the cost of rolled metal, in particular through the production of economical and low-alloy steels with high physical and mechanical characteristics, is a key task of modern steel production, which is used in the construction of industrial and civil facilities, bridges, pipelines, cranes, frames and bodies of heavy trucks, etc. Modern fields of application place high demands on it in terms of strength, cold resistance, low-temperature toughness and weldability. There are a large number of methods for influencing the quality of alloyed steel. For this purpose, treatment in or outside the furnaces with inert gases, synthetic slags, modification, strict adherence to smelting technology or adjustment of the chemical composition of the steel is used, which in many cases allows avoiding further heat treatment of the ingot. Estimating the time and material costs for applying various methods of improving the quality of steel, economical alloying in combination with microalloying is currently the most profitable and promising way to achieve the required properties of steel.*

**Keywords:** *steel, quality, microalloying, alloying element, technology*