

## РОЗРОБКА Й ВИПРОБУВАННЯ ДОСЛІДЖЕНИХ ШУС

*Отримані нові ШУС, що визначають умови формування зливка в кристалізаторі на меніску рідкої сталі та в зазорі між зливком і кристалізатором, головним чином як змащування і регулятор тепловідведення. Здатність суміші виконувати свої функції за даних умов розливання визначаються її раціональним складом і необхідним рівнем технологічних властивостей: в'язкість, температури твердіння, кількості кристалічної фази в затверділому шлаку та ін. Досліджено вплив складу і фізико-хімічних властивостей шлаку утворюючих сумішей на якість поверхні слябові заготовки і стабільність процесу безперервного розливання сталі.*

**Ключові слова:** машина безперервного лиття заготовок, проміжний ківш, кристалізатор, фракційний склад, шлак утворююча суміш, сляб, якість.

**Постановка проблеми.** Вітчизняні підприємства віддають перевагу ШУС зарубіжних фірм-виробників внаслідок їх високої якості, стабільності технологічних властивостей і експлуатаційних показників. Для створення конкурентоспроможної продукції вітчизняним виробникам ШУС необхідно оволодіти інформацією про те, чи відповідає рівень властивостей пропонованої продукції (ШУС) даним умовам розливання. Без такої інформації виробник ШУС діє "в сліпу" і методом "проб і помилок" може отримати лише дуже посередній результат. В зв'язку з цим актуальне дослідження технологічних властивостей шлаку утворюючих сумішей, які використовують високопродуктивні слябові МБЛЗ, вплив цих властивостей на якість поверхневих і під поверхневих зон безперервно литої заготовки і стабільність процесу розливання сталі, а також розробка складів ШУС з урахуванням проведених досліджень на базі вітчизняної вторинної сировини.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Шлакоутворювальні суміші (ШУС) широко застосовуються останні 20-30 років при безперервним розливанні сталі з використанням заглиблених склянок, по яких сталь надходить із проміжного ківшу в кристалізатор. Правильний вибір ШУС дуже впливає, як на сам процес безперервного розливання, так і на якість поверхні литої заготовки. У результаті взаємодії ШУС із рідкою сталлю, на поверхні меніска утворюється шар рідкого шлаків, що частково спечений шар і неспечена порошкоподібна ШУС. Рідкий шлаки з нижнього шару надходить у зазор між міцнюючою кіркою й стінками кристалізатора. мастильний шар, Що утворюється, зменшує тертя. Шлаковий прошарок, що перебуває в зазорі між заготовкою й кристалізатором, виконує дві основні функції: збереження гомогенної, відповідним чином змащувальної плівки з підходящою в'язкістю, а також забезпечення достатнє інтенсивної й рівномірної теплопередачі між міцнюючою заготовкою й кристалізатором. Ступінь і рівномірність теплопередачі від зливка до кристалізатору через шар шлаків значно впливає як на ріст оболонки зливка, так і на припустиму швидкість розливання, а також на якість поверхні зливка й утвір тріщини [1].

Підтримка стабільного точного рівня ШУС у кристалізаторе є важливим чинником з погляду забезпечення плавної роботи МБЛЗ і гарної якості поверхні заготовок. Тому багато металургійних заводів приділяють особливу увагу розробці систем автоматичної подачі ШУС у кристалізатор. Однак при цьому для застосування звичайних механічних систем і вібраційних систем для транспортування суміші вимагає установки великої кількості одиниць устаткування в зоні кристалізатора [2].

Для забезпечення безаварійного процесу безперервного розливання особливу увагу необхідно приділяти шлакоутворювальним сумішам (ШУС), використовуваним у

## Металургія

кристалізаторе, які повинні сприяти ефективному відводу тепла від металу, що кристалізується, і мінімальному тертю заготовки про стінки кристалізатора для конкретних температуро-швидкісних характеристик, властивих певним маркам сталей [3].

**Мета дослідження.** Експериментальне і теоретичне дослідження технологічних властивостей шлаку утворюючих сумішей, а також умов їх роботи при безперервному розливанні слябів з метою розробки нових компонентних складів сумішей на основі вітчизняних вторинних відходів. Відповідно до мети роботи визначені наступні задачі:

- удосконалити методики дослідження властивостей ШУС (інтервалу плавлення, в'язкості, поверхневого натягу, здібності до виділення кристалічної фази), що визначають їх роботу в кристалізаторі МБЛЗ;

- дослідити фізико-хімічні властивості шлаку утворюючих сумішей, використовуваних для розливання слябів з підвищеною швидкістю з різних марок сталі і встановити залежності між цими властивостями і параметрами безперервного розливання, якістю поверхні отримуваних заготовок і стабільністю процесу розливання;

- визначити умови стабільного надходження рідкого шлаку в зазор між зливком і кристалізатором і формування в цьому зазорі твердої і рідкої плівки шлаку;

- дослідити роль ШУС в підвисанні зливка в кристалізаторі МБЛЗ, а також утворенні прориву металу;

- розробити склади ШУС для безперервного розливання слябів з підвищеною швидкістю на базі вторинних відходів з використанням виробничої бази вітчизняних виробників.

**Основний матеріал дослідження.** Властивості, склад та технологія виробництва двох компонентної ШУС. Нині за умов ММК "ім. Ілліча" широкий розвиток набуло виробництва та застосування ШУС двокомпонентної. Відомо, що для отримання оптимальних характеристик шлаку необхідно забезпечення заданої кількості помелу компонентів суміші (для двокомпонентної - флюсу), при якому відбувається зменшення насипної щільності як наповнювача, так і готової ШУС і деяке підвищення плинності засипки. Варіювання вмісту вуглецю з відносно дешевих ВУМ (вуглець утримуючі матеріали: аморфний графіт, терм антрацитовий пил) можливе лише у вузьких межах, зумовлених швидкістю зневугленароджування шару суміші. Тому переважно технологічний варіант виробництва ШУС з меншим (9-12 %) вмістом вуглецю, і меншою насипною щільністю ( $<1,0 \text{ т/м}^3$ ), яка в свою чергу досягається заданим фракційним складом мелених матеріалів (флюсу): фракція 0,100 мм - не менше 80%

Окремо необхідно відзначити взаємозв'язок технологічних параметрів ШУС при її виробництві в УШС ЦПО та її зовнішньою поведінкою при розливанні сталі на МБЛЗ [4].

Відпрацювання технології виробництва ШУС проводилася з використанням плавлених флюсів як наповнювачів і вуглецевмісних матеріалів як регуляторів швидкості плавлення. Випробувано 3 склади плавлених флюсів на основі оксидів системи  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-CaF}_2\text{-(B}_2\text{O}_3)$ . Зміст домішок не перевищувало, % мас.:  $\text{MgO-5,0; Al}_2\text{O}_3\text{-3,0; } \Sigma \text{FeO-3,0; MnO-1,0; S та P-0,20}$  кожного елемента. Основність становила 0,55-0,63; 0,89-1,12 та 0,95-1,12, а вміст ВУМ варіювався в межах 10-13 %. В качестве ВУМ использован графитовый порошок фракции 0,5 мм с содержанием углерода  $> 88 \%$  и технический углерод (сажа).

Технологія виробництва сумішей передбачала: контроль хімічного складу готових партій флюсів та ВУМ; помел флюсів у кульовому млині; дозування компонентів змішувач, змішування протягом 30 хв з видачою в закриту ємність; відбір проб ШУС для проведення контрольного хімічного аналізу та визначення гранулометричного складу суміші.

Усього випробувано 6 складів сумішей, кращі експлуатаційні показники відзначені у ШУС на основі флюсів основністю 0,9 і 1,05 (в середньому) із вмістом ВУМ 10-12%, в тому числі з додаванням сажі.

При проведенні попередніх випробувань відлито близько 7000 т сталі існуючого марочного сортаменту, в тому числі сталі 13Г1СУ. Відзначено зниження зусилля витягування

## Металургія

на 0,8-2,5 т порівняно з використанням 4-х компонентних ШУС. Питома витрата дослідних сумішей складала 0,4-0,6 кг/т сталі при швидкості розливу 0,5-0,8 м/хв, тоді як витрату 4-ох і 5-ти компонентних ШУС становить 0,8-1,3 кг/т. на відміну від використаних 4-ох та 5-ти компонентних ШУС, отриманих шляхом помелу та механічного змішування компонентів, при використанні всіх випробуваних складів ШУС розробки та виробництва ВАТ НВП "Технічний метал" не спостерігалось утворення "корочок"; "Шнурів" по периметру кристалізатора та інших порушень технології розливання [4].

З урахуванням безлічі параметрів технології виплавки сталі різного марочного сортаменту, позапічного доведення і розливання на МБЛЗ тим не менш простежується тенденція до зниження відсортуння по металу з 2,98% і 2,10% (1998) до 1,84 % ((1998) досвідчені плавки), зменшення зачистки полони з 1,24 % та 0,98 % до 0,71 % (досвідчені плавки) та зміни втрат прокату за дефектом "газовий міхур" з 0,25% і 0,10% до 0,11% (досвідчені плавки).

Зниження частки дефектів поверхні листового прокату дослідних плавок частково можна пояснити кращими теплофізичними властивостями шлаків, що утворюються в кристалізаторі МБЛЗ, більш стабільними параметрами захисного шлакового прошарку і, можливо, меншим зусиллям витягування слябів МБЛЗ. Досвід виробництва дослідно-промислових партій ШУС показує, що обладнання та технологічні цикли УШС СДО ККЦ придатні для серійного виробництва розроблених ВАТ НВП "Технічний метал" сумішей. Обладнання нового відділення дозволяє виробляти ШУС на основі плавлених флюсів і ВУМ (2-х компонентну) поряд з 5-ти компонентною без перетину технологічних циклів. Оскільки виробництво 2-х компонентної ШУС набагато простіше і не вимагає додаткових заходів щодо зниження гідратації компонентів; зменшення сепарації під час виробництва та транспортування; а також стабілізації хімічного та гранулометричного складів готових партій ШУС, то розроблені 2-х компонентні суміші можна вважати альтернативним варіантом для виробництва поряд з 5-ти компонентною ШУС [5].

Регламентованими параметрами у процесі виробництва суміші є:

1. При помелі флюсу:

-частка фракції < 100 мікрметрів понад 85%;

-насіпна щільність меленого флюсу трохи більше 1,0 т/м<sup>3</sup>;

-відсутність сторонніх домішок у процесі сушіння, подрібнення, дозування матеріалів;

2. При змішуванні компонентів:

-відхилення вмісту вуглецю від середньо заданого 1%;

-отримання насипної щільності готової суміші не більше 1,0 т/м<sup>3</sup>.

Менша насипна щільність і більш висока плинність, а також відсутність повторної гідратації обумовлюють менше налипання ШУС-2 на металеву поверхню механічного обладнання та зворотної тари в порівнянні з цемент вмісними сумішами.

На відміну від сумішей механічного приготування можлива технологічна заміна (часткова або повна) дорогого аморфного графіту (ГЛС-3) на дрібнодисперсний високо вуглецевий пил термоантрациту. Дана заміна дозволить знизити прихід вологи в ШУС на стадії її виробництва і поліпшити деякі експлуатаційні властивості суміші (знизити насипну щільність, підвищити газопроникність шару і поліпшити його тепло ізолюючі властивості).

Виконані лабораторні дослідження (швидкість плавлення, зміна в'язкості шлаків, динаміка випадання твердих фаз у процесі охолодження розплаву, розрахунковий вміст ВУМ у суміші).

Випробувано декілька видів УСМ: графіти ГС-4, ГЛС-3, технічний вуглець (сажа) та ін. Визначено основні вимоги до виробництва ШУС.

Виконано також детальний аналіз зміни хімічного складу та властивостей шлакового прошарку, динаміки зміни зусилля витягування МБЛЗ, оцінки якості листового прокату ЛПЦ-3000.

## Металургія

За результатами вищевказаних досліджень визначено вимоги до ШУС стосовно 3 основних груп марок сталі:

- низьковуглецевих та конструкційних;
- тріщино чутливих (головним чином, трубний сортамент);
- глибоко розкислених алюмінієм (08Ю та супутні).

Були випробувані 3 важливих складу флюсу при виробництві ШУС-2 і розливанні на МБЛЗ:

- сталі загального сортаменту (конструкційних, стандарту ASTM)-флюс основністю 0,8-0,9; вмісту «розріджувачів» в межах 5-7%, вміст вуглецю 9,0-13,2%;
- тріщино чутливих (головним чином 13Г1СУ)-флюс з пониженою основністю 0,7-0,8 і великим вмістом лужних металів;
- сталі 08Ю і супутніх - флюс основністю 0,7-0,9 і додатково введеним розріджувачем.

У всіх випадках при проведенні промислових досліджень на ШУС конкретного даного виду послідовно відливалися всі вироблені в той період в ККЦ марки сталі.

У всіх випадках 2-х компонентні суміші характеризувалися наступними перевагами:

- меншою в 1,5-2,0 рази питомою витратою;
- відсутністю гідратації, сепарації та спостереження;
- стабільністю властивостей захисного покриття в кристалізаторі МБЛЗ;
- мінімальним вмістом шкідливих домішок.

За даними аналізу якості прокату ЛПЦ-3000 металу із слябів дослідно-промислових плавок відмічене зниження шлюбу на 0,2-0,7 % за дефектами «тріщина», «полон». Це можна пояснити меншими коливаннями зусилля витягування МБЛЗ та більш стабільними властивостями шлакового гарнісажу, обумовленими застосуванням вже сплавлених матеріалів.

## ВИСНОВКИ

1. З розглянутих ШУС на «ММК ім. Ілліча» застосовуються ШУС-5 (п'яти компонентна, механічного змішування) та ШУС-Т-2 (двокомпонентна, на плавленій основі).

2. Технологія виробництва 2-х компонентної суміші в УШС ЦПО простіша, а питомі капітальні витрати є нижчими порівняно з виробництвом п'ятикомпонентних сумішей. Виключається необхідність повторного сушіння готової ШУС з подальшим змішуванням, втрати матеріалів та додаткове завантаження обладнання УШС ЦПО. Часткова чи повна заміна ГЛС на ТА (термоантрацит) знижує надходження вологи в суміші на 0,2-0,4 %.

3. При розливанні на МБЛЗ ККЦ стали широкого марочного сортаменту відзначені такі переваги:

- відсутність гідратації та спостереження;
- найкращі експлуатаційні характеристики;
- стабільність властивостей захисного покриття;
- мінімальний вміст шкідливих домішок.

4. За даними прокату на ЛПЦ-3000 металу із слябів дослідно-промислової плавки, зазначено зниження браку на 0,2-0,7 % за дефектами.

5. Фізико-хімічні властивості ШУС визначаються головним чином:

- зміною хімічного складу шлаку в кристалізаторі МБЛЗ; сублімацією фторидних з'єднань ( $\text{SiF}_4$ ,  $\text{AlF}_3$  та інші), відновленням  $(\text{SiO}_2)\cdot[\text{Si}]$ , асиміляцією НВ ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) та інші;

- підвищенням «ємності» по асиміляції  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , що є головною причиною погіршення в'язкісних характеристик робочих шлаків;

- швидкістю плавлення засипки суміші на дзеркалі металу яка тісно пов'язана з вмістом ВУМ і швидкістю витяжки на МБЛЗ, насипною щільністю суміші та її фракцією;

## Металургія

- здатністю павленої суміші даного хімічного і гранулометричного складу створювати само стабілізуючу систему «метал-шлак-засипка», що забезпечує повне покриття дзеркала металу при зміні швидкості витягування МБЛЗ і можливих коливаннях рівня сталі в кристалізаторі;

- нижчим вмістом екологічно шкідливих домішок (F, MnO).

6. Загальне відсортування по металу знизилося з 1,58 до 1,08 %, зменшилася частка дефектів поверхні листового прокату: брак по “полоні” знизився з 0,60 до 0,54 %, по “тріщині” - з 0,28 до 0,06%, дефект "газовий міхур" знизився з 0,47 до 0,20%. Це можна пояснити меншою схильністю павлених ШУС до гідратації, відсутністю у складі легко дисоціюючі сполучень (CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub>) і важко розчинних у шлаковій фазі складових.

7. Всі без винятку ШУС можуть бути джерелами додаткового забруднення поверхні заготовок неметалевими включеннями. Механічні суміші на основі частково офлюсованих мінералів і введених для корекції основності SiO<sub>2</sub> - містять матеріали при їх павленні як на дзеркалі металу так і при частковому залученні мікро фрагментів, що не проплавилися, суміші в об'єм металу не можуть забезпечити формування повністю гомогенізованої шлакової в зазорі між стінкою кристалізатора і скоринкою сляба, що формується. Цим пояснюється і велика питома витрата механічних ШУС у порівнянні з павленими, великі коливання зусилля витягування щодо середнього рівня і, отже, грубіші сліди осциляції на поверхні безперервно литих слябів.

8. Знижена витрата ШУС-Т-4 (0,49-0,66 кг/т) дозволяє отримувати істотний економічний ефект поряд зі збереженням основних властивостей ШУС. У той же час, нерентабельне відмовлятися від ШУС-5. Бажано використовувати у складі ШУС-5 відходи металургійного виробництва.

9. Застосування похилих плоских живильників для забезпечення рівномірного розподілу засипки ШУС уздовж широкої грані слябу дозволить досягти більш рівномірного розподілу суміші, що дозволить підвищити ефективність теплоізоляції дзеркала металу і асиміляції НВ при перехідних періодах розливання МБЛЗ.

### Список використаних джерел

1. Казачков Е.А. Экспериментальное определение и прогнозирование свойств шлакообразующих смесей для непрерывной разливки стали / Е.А. Казачков, А.В. Остроушко, С.В. Живило // Вісник приазовського державного технічного університету. - Вип. №13. 2003.
2. Смирнов А.Н. Процессы непрерывной разливки / А.Н. Смирнов, В.Л. Пилюшенко, А.А. Минаев, С.В. Момот, Ю.Н. Белробров. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 536 с.
3. Смирнов А.Н. Изменение эксплуатационных свойств шлакообразующих смесей при серийной разливке и их влияние на ход процесса непрерывного литья / А. Н. Смирнов, С. В. Куберский, Е. Н. Максаев // Металл и литье Украины. - №11, 2015. С.3-4.
4. Огурцов А.П. Непрерывная разливка стали / А.П. Огурцов, А.Г. Величко, Е.И. Исаев и др. – Днепродзержинск: 1999. – 306 с.
5. Лидефельд Х. Характеристики рабочих свойств шлакообразующих смесей для непрерывной разливки стали / Х. Лидефельд, П. Хассельстром // Достижения в области непрерывной разливки стали. – М.: Металлургия, 1967. С.90-98.

**Baklansky V.M., Kargin S.B.**

## DEVELOPMENT AND TESTING OF RESEARCHED SHUS

*The new SHUS were obtained, which determine the conditions of ingot formation in the crystallizer on the meniscus of liquid steel and in the gap between the ingot and the crystallizer,*



## Металургія

*mainly as lubrication and heat dissipation regulator. The ability of the mixture to perform its functions under the given pouring conditions is determined by its rational composition and the necessary level of technological properties: viscosity, hardening temperature, the amount of the crystalline phase in the hardened slag, etc. The influence of the composition and physical and chemical properties of the slag-forming mixtures on the surface quality of the slab blank and the stability of the process of continuous steel pouring was studied.*

**Keywords:** machine for continuous casting of blanks, intermediate ladle, crystallizer, fractional composition, slag-forming mixture, slab, quality.

*Стаття надійшла 08.07.2024 р.*