

О. С. Вергун, д.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0001-5493-9214

Л. С. Молчанов, к.т.н., зав. відділу, ORCID 0000-0001-6139-5956

В. Г. Кисляков, к.т.н., зав. відділу, ORCID 0000-0002-1775-5050

Д. М. Тогобицька, д.т.н., проф., зав. відділу, ORCID 0000-0001-6413-4823

Ю. С. Семенов, к.т.н., с.н.с., с.н.с, ORCID 0000-0003-2299-5742

О. С. Нестеров, к.т.н., с.н.с., зав. відділу, ORCID 0000-0002-0183-0327

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України

ПРИНЦИПОВА СХЕМА МОДЕЛІ НАСКРІЗНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА КОНКУРЕНТОЗДАТНОЇ МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ ПІДПРИЄМСТВАМИ УКРАЇНИ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В НЕСТАБІЛЬНИХ СИРОВИННИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ УМОВАХ

Анотація. Метою роботи є створення моделі наскрізної технології виробництва сталі, з урахуванням на кожному етапі технологічного ланцюга матеріальних та енергетичних витрати і характеристик одержуваного продукту. Наскрізна модель розглядає у взаємозв'язку і взаємовпливі аглодоменне виробництво, позапічну обробку чавуну і сталеплавильне виробництво. Виконано детальні розрахунково-аналітичні, лабораторні й промислові дослідження впливу складу аглошихти на особливості технології виробництва агломерату, а також використання такого агломерату в комплексі із застосуванням ПВП на результати технології й параметри виробництва чавуну.

На прикладі в використання шламів і дрібнодисперсного пилу досліджено вплив вторинних матеріалів в агломерації шихті на показники дослідних спікань агломерату. Встановлено, що використання шламів аглодоменного виробництва більшою мірою впливає на продуктивність агломашин, у меншій на вихід придатного та холодної міцності. Використання в шихті дрібнодисперсного пилу електрофільтрів у кількості ~20,5 кг/т призводить до значного зменшення продуктивності і міцносних характеристик агломерату. Проведені балансові розрахунки показали, що при частковій заміні ПВП природним газом у кількості 35 м³/т чавуну витрати коксу зменшилися на 35 кг/т чавуну, що призвело до зниження вартості чавуну на 2,1 %. З використанням експериментальних даних створено математичні моделі та графічні залежності витрат реагентів (Mg і суміш Mg + CaO), що дозволило визначити необхідні питомі масові витрати реагентів і на підставі цього визначити витрати на виробництво низькосірчаного чавуну необхідного складу. Виконано математичне моделювання киснево-конвертерної плавки на базі розрахунку матеріального та теплового балансів з урахуванням термодинамічних і фізико-хімічних особливостей протікання хімічних перетворень. В умовах киснево-конвертерного цеху ПАТ «ДМК» за допомогою математичного моделювання проведено комплексний порівняльний аналіз впливу

конструкції дутцевих пристроїв та типу рідкого чавуну на техніко-економічні показники та ефективності виробництва сталі марки ОС.

Ключові слова. Вторинні ресурси, ПВП, магній, технологічний маршрут, киснева фурма.

Посилання для цитування: *Вергун О. С., Молчанов Л. С., Кисляков В. Г., Тогобицька Д. М., Семенов Ю. С., Нестеров О. С.* Принципова схема моделі наскрізної технології виробництва конкурентоздатної металопродукції підприємствами України, що працюють в не стабільних сировинних та енергетичних умовах. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії.* 2021. Вип. 35. С. 95-107. (In Ukrainian). DOI 10.52150/2522-9117-2021-35-95-107

Стан питання. Технологічний маршрут виробництва продукції сучасного металургійного підприємства містить етапи: аглодоменне виробництво – позапічна десульфурція чавуну – конвертерне виробництво – позапічна обробка сталі. Причиною високої собівартості металопродукції підприємств України є значні витрати на сировину та енергоресурси при її виробництві.

Метою роботи є створення моделі наскрізної технології виробництва сталі, з урахуванням на кожному етапі технологічного ланцюга матеріальних та енергетичних витрати і характеристик одержуваного продукту. Наскрізна модель розглядає у взаємозв'язку і взаємовпливі аглодоменне виробництво, позапічну обробку чавуну і сталеплавильне виробництво [1].

Аналіз величини матеріальних і енергетичних витрат на кожному з цих етапів свідчить про те, що основні витрати формуються на етапі «аглодоменне виробництво» при виробництві агломерату (рис. 1).

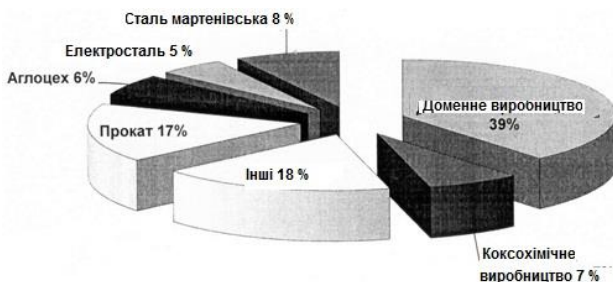


Рисунок 1 – Структури матеріальних і енергетичних затрат на різних етапах металургійного виробництва.

Тому значну увагу необхідно звернути на зниження вартості основної шихтової складової доменної плавки - агломерату (наприклад, за рахунок використання при його виробництві вторинних ресурсів), а також

зменшення енергетичної складової доменної плавки за рахунок оптимізації співвідношення компонентів паливних добавок (кокс, ПВП, ПГ) при використанні агломерату з вторинними ресурсами.

Метою роботи є виконання порівняльного аналізу впливу конструкції дуткових пристроїв та типу рідкого чавуну на техніко-економічні показники ефективності виробництва сталі.

Основні результати дослідження. Оскільки основною сировиною доменного виробництва є агломерат і окатиші, у складі яких міститься найбільша кількість залізородного концентрату (природного матеріалу) при найменшій кількості шкідливих домішок, то введення до складу агломераційної шихти більш дешевих вторинних ресурсів дозволить знизити собівартість агломерату. Введення до складу агломераційної шихти вторинних ресурсів дозволить знизити собівартість агломерату, але значне збільшення їх вмісту може призвести до погіршення деяких характеристик готового агломерату.

Були виконані детальні розрахунково-аналітичні, лабораторні й промислові дослідження впливу складу аглошихти на особливості технології виробництва агломерату, а також використання такого агломерату в комплексі із застосуванням ПВП на результати технології й параметри виробленого чавуну, результати яких представлені в роботі [2].

Експериментально досліджено вплив уведення вторинних матеріалів в агломераційну шихту на показники дослідних спікань агломерату на прикладі уведення використання шламів і дрібнодисперсного пилу.

Встановлено, що використання шламів аглодоменного виробництва більшою мірою впливає на продуктивність агломашин, у меншій на вихід придатного й холодну міцність. Використання в шихті дрібнодисперсного пилу електрофільтрів у кількості $\sim 20,5$ кг/т призводить до значного зменшення продуктивності і міцносних характеристик агломерату. При цьому уведення в шихту підготовленої суміші шламів є пріоритетним, у порівнянні з уведенням непідготовленого пилу (при уведенні пилошламової суміші продуктивність зменшується до 88,36 % у порівнянні з 83,61 %, а кількість відсівання збільшується на 2,74 %, у порівнянні з 5,52 % при уведенні непідготовленого пилу).

Введення до складу агломераційної шихти вторинних ресурсів дозволить знизити собівартість агломерату, але значне збільшення їх вмісту може призвести до погіршення деяких характеристик готового агломерату, а також збільшення витрат коксу при виплавці чавуну (рис. 1, табл. 1). Приведені дані підтверджують те, що раціональним є вміст в аглошихті вторинних ресурсів на рівні 70 кг/т агломерату.

На прикладі роботи доменного цеху ДМК було вивчено вплив співвідношення витрат паливних домішок (кокс, природний газ,

пиловугільне паливо) для варіантів технології виплавки чавуну за варіантами 2-4 при оптимальній витраті вторинних ресурсів 70 кг/т агломерату в різних співвідношеннях паливних добавок.

Таблиця 1 - Техніко-економічні показники доменної плавки

Варіанти	1	2	3	4	5
Витрати вторинних ресурсів, кг/т	232	72	30	20	72
Хімічний склад агломерату, %					
Fe _{аг.}	52,14	55,05	56,43	59,2	57,82
FeO	12	12	12	12	12
SiO ₂	11,2	10,33	9,69	7,77	8,37
CaO	14,62	13,34	12,57	10,17	10,93
MgO	1,89	1,4	1,07	1,01	1,33
Al ₂ O ₃	1,93	1,8	1,75	1,71	1,76
MnO	0,36	0,26	0,17	0,14	0,23
P ₂ O ₅	0,085	0,053	0,034	0,032	0,041
Витрати, кг/т чавуну					
Агломерат	1600	1600	1600	1594	1600
Окатиші	172	99	64	0	29
Домена шихта	1772	1699	1664	1594	1629
Вміст Fe в шихті	53,3	55,56	56,7	59,2	57,9
Витрати ПВТ	140	140	140	140	140
Расход кокса	380	367	362	352	357
Витрати коксу*	380	354	342	332	338
Показник якості (П _к), бал.	7,2	9,7	10,6	14,4	13,22
Виробництво, %	100	103	104,4	107,2	105,8
Склад чавуну, %					
Si	0,65	0,61	0,61	0,5	0,55
S	0,03	0,032	0,036	0,034	0,032
Mn	0,32	0,21	0,21	0,18	0,23
P	0,11	0,053	0,038	0,034	0,041
Вихід шлаку, кг/т	547	491	452	382	412
Хімічний склад шлаку					
MgO	6,03	5	4,2	4,5	5,5
Al ₂ O ₃	9,06	9,4	10	11,5	11
FeO	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Al ₂ O ₃ /MgO	1,5	1,9	2,4	2,54	2
Основність -1	1,09	1,1	1,06	1,08	1,09

Розрахунково-аналітичні дослідження впливу співвідношення паливних добавок (кокс, ПВП і ПГ) для різних варіантів технології виплавки чавуну виконували на великих масивах даних промислових

плавок при раціональній витраті ВР у аглошихту близько 70 кг/т агломерату. Проведені балансові розрахунки показали, що при частковій заміні ПВП природним газом у кількості 35 м³/т чавуну витрати коксу зменшилися на 35 кг/т чавуну, що призвело до зниження вартості чавуну на 2,1 %.

При оцінці ефективності технології спільного використання ПВП і ПГ встановлено оптимальне співвідношення паливних добавок в дуття: ПВП - 110-120 кг/т чавуну і природного газу - 40-50 м³/т чавуну і вмісту ВР (конвертерний шлак + шлами в аглошихту не більш 130 кг/т). При реалізації такої технології в виробленому чавуні міститься 0,030- 0,035 % сірки і до 0,1 % фосфору. Використання чавуну з таким вмістом шкідливих домішок при киснево-конвертерному переділі не дозволяє реалізувати виробництво сталі без додаткових заходів щодо обмеження вмісту сірки в чавуні.

Використання чавуну з вмістом сірки >0,03 % при виплавці якісної киснево-конвертерної сталі нераціонально, оскільки такий варіант виплавки сталі супроводжується підвищеною витратою шлакоутворюючих матеріалів, більшими втратами металу з більшою кількістю шлаку, збільшеною питомою витратою чавуну і т.п., що, в кінцевому рахунку, збільшує собівартість виробленої сталі. Тому такий чавун необхідно піддавати позапічній десульфурації. Наявні на будь-якому сучасному металургійному підприємстві установки десульфурації чавуну дозволяють зменшити вміст сірки в чавуні до будь-якого необхідного рівня. Основні витрати при цьому складають на реагент. Крім того значні витрати при десульфурації чавуну пов'язані з втратами металу з підвищеною кількістю шлаку при його скачуванні після десульфурації. При цьому істотну роль грає тип використовуваного при десульфурації чавуну реагенту.

Основні затрати при позапічній обробці чавуну формуються за рахунок витрат на реагент та втрат металу при скачуванні шлаку. Оскільки найбільш ефективними технологіями десульфурації чавуну є технології з використанням магнісвих реагентів, то для наскрізної моделі були використані дані за цими технологіями.

Створені з використанням результатів експериментальних даних математичні моделі, а також графічні залежності витрат реагентів (Mg і суміш Mg + CaO) дозволили визначити необхідні величини питомої масової витрати реагентів і на підставі цього визначити витрати на виробництво низькосірчаного чавуну необхідного складу (табл. 2).

Удосконалення технології конвертерної плавки можливе за рахунок поліпшення шлакоутворення в процесі продувки ванни киснем, покращання теплового балансу плавки за рахунок використання верхньої дуттьової фурми нової конструкції - одно-, двох- і триярусні (рис. 2).

Таблиця 2 - Хімічний склад, температура та вартість чавуну, виробленого за різними технологічними схемами

№	Варіант технології виробництва чавуну та подальшої десульфурації	Вміст домішок у чавуні, %					Температура чавуну, °С	Ціна 1 т чавуну з урахуванням витрат на десульфурацію та скочування шлаку, грн./т без ПДВ
		C	Mn	Si	S	P		
1	ПВП/Mg+CaO	4,67	0,29	0,6	0,01	0,067	1304	12212
2	ПВП/Mg	4,67	0,29	0,6	0,01	0,067	1308	12195
3	ПВП+ВР/Mg+CaO	4,67	0,29	0,6	0,01	0,067	1304	11353
4	ПВП+ВР/Mg	4,67	0,29	0,6	0,01	0,067	1308	11336
5	ПВП+ПГ/Mg+CaO	4,67	0,29	0,52	0,01	0,068	1304	11969
6	ПВП+ПГ/Mg	4,67	0,29	0,52	0,01	0,068	1308	11951
7	ПВП+ПГ+ВР/Mg+CaO	4,67	0,29	0,52	0,01	0,068	1304	11217
8	ПВП+ПГ+ВР/Mg	4,67	0,29	0,52	0,01	0,068	1308	11199

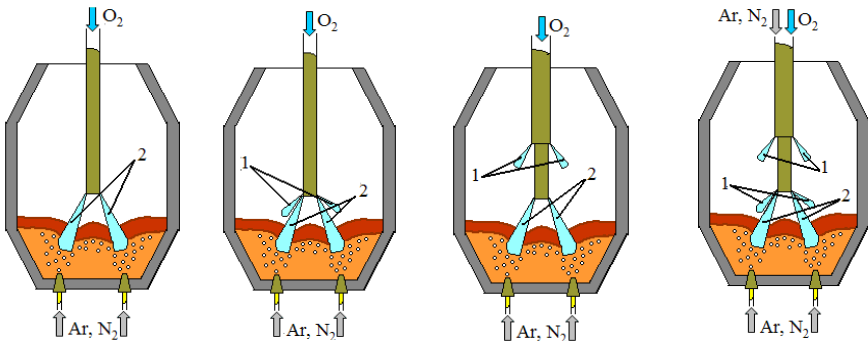


Рисунок 2 – Схеми комбінованої продувки конвертерної ванни звуковими (1) і надзвуковими (2) кисневими струменями при застосуванні фурм різної конструкції: а - класична; б - двоконтурна; в - двоярусна; г - двоярусна з двоярним наконечником.

Удосконалення технології передбачається також за рахунок використання при виробництві сталі знесіреного чавуну, виплавленого за різними варіантами доменної плавки (з використанням при виробництві агломерату вторинних ресурсів, а також при виплавці чавуну паливних добавок (кокс, природний газ, пиловугільне паливо) в різному співвідношенні їх витрат.

Визначення техніко-економічної ефективності використанні різних конструкцій верхніх продувальних фурм для виплавки сталі марки ОС в 250-т кисневих конвертерах за сировинних умов, що змінюються (різні технологічні схеми виплавки рідкого чавуну) проводили шляхом математичного моделювання.

Математичне моделювання киснево-конвертерної плавки базувалось на розрахунку матеріального та теплового балансів та проводилося з урахуванням термодинамічних і фізико-хімічних особливостей протікання хімічних перетворень, відповідно до методики та рівнянь наведених у роботі [3] та наближених до реальних виробничих умов отримання сталі марки ОС в киснево-конвертерному цеху ПАТ «ДМК». Для проведення розрахунків були прийняті початкові відомості про хімічний склад і температуру чавуну після попередньої позапічної десульфурації). Відповідно до попередньо проведених розрахунків встановлено, що найбільша техніко-економічна ефективність досягається за рахунок забезпечення вмісту вуглецю у розплаві на рівні близькому до складу готової марки сталі. Тому для умов моделювання процесу виплавки сталі марки ОС було використано вміст вуглецю на рівні 0,45 %, а температуру металу на злив з конвертера 1635°C.

За результатами інженерно-технічних розрахунків та теплового балансу конвертерної плавки для умов використання верхніх кисневих фурм різної конструкції отримано узагальнені технологічні показники (табл. 3).

Відповідно до даних, представлених у таблиці 3, можна зробити висновок про те, що використання конструкції триярусної фурми має найбільшу технологічну ефективність (найбільший вихід придатної рідкої сталі) у порівнянні з іншими конструкціями при використанні всіх типів чавунів. На базі даних, представлених в табл. 3 та 4 побудовано блок-схему наскрізної технології виробництва конкурентоспроможної металопродукції в умовах роботи металургійних підприємств України (рис. 3).

Таблиця 3 – Узагальнені технологічні показники виплавки залізовуглецевого напівпродукту при виробництві сталі марки ОС у 250-т конвертерах при використанні кисневих фурм різної конструкції та чавуну, отриманого за різними технологічними схемами

№№ з/п	Параметр	Типи конструкцій верхніх продувальних фурм кисневого конвертера			
		класична	двоярусна	двоконтурна	двоярусна двоконтурна
1	2	3	4	5	6
<i>ПВП/Mg+CaO</i>		<i>(ПВП+ВР/Mg+CaO)</i>			
1	Питома витрата рідкого чавуну, кг/т сталі	910,5	872,3	881,9	853,9
2	Питома витрата металевого скрапу, кг/т сталі	184,9	206,6	201,34	216,6
3	Вихід придатної рідкої сталі, %	91,3	92,7	92,3	93,4
4	Питома витрата вапна, кг/т сталі	70,6	67,1	66,2	62,7
5	Питома витрата футерівки, кг/т сталі	2,5	2,7	2,8	2,7
6	Питома витрата кисню, м ³ /т сталі	55,1	46,9	45,9	48,2
7	Питомий вихід шлаку, кг/т сталі	125,8	119,6	118,0	111,7
8	Питомий вихід димових газів у порожнині конвертера, м ³ /т сталі	86,9	87,1	87,3	116,6
<i>ПВП/Mg</i>		<i>ПВП+ВР/Mg</i>			
9	Питома витрата рідкого чавуну, кг/т сталі	908,8	872,3	881,8	853,8
10	Питома витрата металевого скрапу, кг/т сталі	186,5	204,9	198,9	216,1
11	Вихід придатної рідкої сталі, %	91,3	92,8	92,5	93,5
12	Питома витрата вапна, кг/т сталі	70,5	67,1	66,1	62,6
13	Питома витрата футерівки, кг/т сталі	2,5	2,7	2,8	2,7
14	Питома витрата кисню, м ³ /т сталі	52,7	44,9	73,9	43,1

Продовження табл. 3

1	2	3	4	5	6
15	Питомий вихід шлаку, кг/т сталі	125,7	119,6	124,1	111,7
16	Питомий вихід димових газів у порожнині конвертера, м ³ /т сталі	86,8	86,9	87,2	116,4
<i>ПВП+ПГ/Mg</i>		<i>ПВП+ПГ+ВР/Mg</i>			
17	Питома витрата рідкого чавуну, кг/т сталі	918,3	872,3	881,9	853,9
18	Питома витрата металевого скрапу, кг/т сталі	178,3	197,3	191,2	209,4
19	Вихід придатної рідкої сталі, %	91,2	93,4	93,1	94,1
20	Питома витрата вапна, кг/т сталі	63,5	60,4	59,6	56,4
21	Питома витрата футерівки, кг/т сталі	2,5	2,7	2,8	2,7
22	Питома витрата кисню, м ³ /т сталі	52,2	44,4	43,5	45,6
23	Питомий вихід шлаку, кг/т сталі	115,0	109,3	107,8	102,1
24	Питомий вихід димових газів у порожнині конвертера, м ³ /т сталі	87,0	87,1	87,3	116,6
<i>ПВП+ПГ/Mg</i>		<i>ПВП+ПГ+ВР/Mg+CaO</i>			
25	Питома витрата рідкого чавуну, кг/т сталі	916,6	872,3	881,9	853,9
26	Питома витрата металевого скрапу, кг/т сталі	179,8	199,5	192,720	210,420
27	Вихід придатної рідкої сталі, %	91,2	93,3	93,1	93,9
28	Питома витрата вапна, кг/т сталі	63,6	60,5	59,6	56,5
29	Питома витрата футерівки, кг/т сталі	2,5	2,7	2,8	2,7
30	Питома витрата кисню, м ³ /т сталі	52,1	44,4	43,5	45,5
31	Питомий вихід шлаку, кг/т сталі	115,0	109,4	107,9	102,1
32	Питомий вихід димових газів у порожнині конвертера, м ³ /т сталі	86,8	86,9	87,1	116,3

Таблиця 4 – Собівартість залізобуглецевого напівпродукту при виплавці сталі марки ОС у 250-т кисневих конвертерах при використанні кисневих фурм різної конструкції та чавуну, виготовленого за різними технологічними схемами (грн./т).

Варіанти технології виробництва чавуну та подальшої десульфурації	Варіант використаного типу конструкції верхніх продувальних фурм кисневого конвертера			
	класична	двоярусна	двоконтурна	двоярусна-двоконтурна
ПВП/Mg+CaO	17073,82	16232,19	16238,45	16158,87
ПВП/Mg	17041,52	16218,77	16224,88	16145,74
ПВП+BP/Mg+CaO	16296,80	15481,98	15480,04	15424,54
ПВП+BP/Mg	16265,05	15467,68	15465,59	15410,55
ПВП+ПГ/Mg+CaO	16856,69	16023,48	16027,46	15954,58
ПВП+ПГ/Mg	16824,81	16010,06	16013,90	15941,45
ПВП+ПГ+BP/Mg+CaO	16179,12	15369,23	15366,06	15314,17
ПВП+ПГ+BP/Mg	16147,59	15354,93	15351,61	15300,18

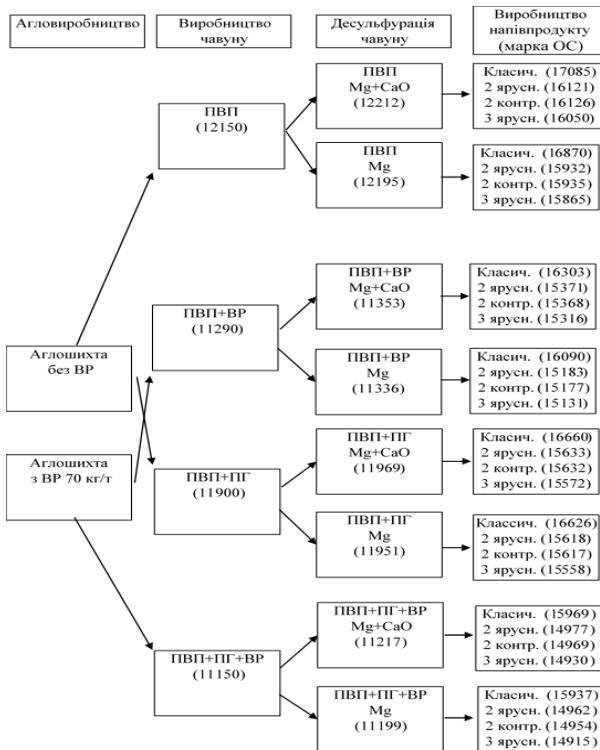


Рисунок 3 – Блок-схема наскрізної технології виробництва металопродукції в умовах сировинної та енергетичної бази металургійних підприємств України (в скобках – затрати на виробництво в грн/т продукції).

Висновки

Таким чином, шляхом математичного моделювання проведено комплексний порівняльний аналіз впливу конструкції дуттєвих пристроїв та типу рідкого чавуну на техніко-економічні показники ефективності виробництва сталі марки ОС в умовах киснево-конвертерного цеху ПАТ «ДМК». Встановлено, що найбільш ефективною, для зазначених умов є триярусна конструкція кисневої фурми при одночасному використанні рідкого чавуну виплавленого за технологією ПВП+ПГ+ВР з позапічної десульфуратцією гранульованим магнієм.

Перелік посилань

1. Вергун О. С., Чернятевич А. Г., Нестеров О. С., Чайка О. Л., Тогобицька Д. М., Кисляков В. Г., Молчанов Л. С. Сучасний технологічний маршрут конвертерного виробництва якісного залізобуглецевого напівпродукту в сировинних і енергетичних умовах України. *Метал та лиття України*. 2020. № 1. С. 30-37. <https://doi.org/10.15407/steelcast2020.01.030>
2. Семенов Ю. С., Вергун О. С., Нестеров О. С., Кисляков В. Г., Горупаха В. В. Шляхи поліпшення ефективності аглодоменого виробництва в сировинних та енергетичних умовах роботи металургійних підприємств України. *Метал та лиття України*. 2021. № 4.
3. Boichenko B. M., Molchanov L. S., Synegin I. V. Comprehensive analysis of technological variants of crude steel production in oxygen blown converters. *The potential of modern science*. M.M. Babych (Ed.). London : Sciemcee Publishing. 2019. P. 156-169.

References

1. Verhun O.S., Cherniatevych A.H., Nesterov O.S., Chaika O.L., Tohobytska D.M., Kysliakov V.H. et al. (2020). Suchasnyi tekhnolohichnyi marshrut konverternoho vyrobnytstva yakisnoho zalizovuhletsevoho napivproduktu v syrovynnykh i enerhetychnykh umovakh Ukrainy [Modern technological route of converter production of qualitative iron-carbon semi-product in raw material and energy conditions of Ukraine] *Metal ta lyttia Ukrainy [Metal and casting of Ukraine]*, 2020, 1, 30-37. <https://doi.org/10.15407/steelcast2020.01.030> [In Ukrainian].
2. Semenov Yu., Verhun O.S., Nesterov O.S., Kysliakov V.H., Horupakha V.V. (2021). Shliakhy polipshennia efektyvnosti ahlodomennoho vyrobnytstva v syrovynnykh ta enerhetychnykh umovakh roboty metalurhiinykh pidpriemstv Ukrainy. *Metal ta lyttia Ukrainy [Metal and casting of Ukraine]*, 2021, 4. [In Ukrainian].
3. Boichenko B.M., Molchanov L.S., Synegin I.V. (2019). Comprehensive analysis of technological variants of crude steel production in oxygen blown converters. *The potential of modern science*. M.M. Babych (Ed.). London: Sciemcee Publishing. 2019. p.p. 156-169

O. S. Vergun, Dr. Sci, Senior Reseach Scientist, Senior Researcher, ORCID 0000-0001-5493-9214

L. S. Molchanov, Ph.D., Head of Depertament, ORCID 0000-0001-6139-5956

V. G. Kislyakov, Ph.D., Head of Depertament, ORCID 0000-0002-1775-5050

D. N. Togobitskaia, Dr. Sci, professor, Head of Depertament, ORCID 0000-0001-6413-4823

Yu. S. Semenov, Ph.D., Senior Reseach Scientist, Senior Researcher, ORCID 0000-0003-2299-5742

O. S. Nesterov, Ph.D., Senior Reseach Scientist, Senior Researcher, Head of Depertament, ORCID 0000-0002-0183-0327

Iron and Steel Institute of Z. I. Nekrasov National Academy of Sciences of Ukraine

SCHEMATIC DIAGRAM OF THE MODEL OF END-TO-END TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF COMPETITIVE METAL PRODUCTS BY UKRAINIAN ENTERPRISES OPERATING IN UNSTABLE RAW MATERIALS AND ENERGY CONDITIONS

Summary. Detailed calculation-analytical, laboratory and industrial researches of influence of sinter composition on features of technology of production of an agglomerate, and also use of such agglomerate in a complex with application of pulverized coal on results of technology and parameters of the made pig-iron are executed. The influence of the introduction of secondary materials into the sintering charge on the indicators of experimental sintering of the sinter on the example of the introduction of the use of sludge and fine dust was studied. It is established that the use of sludge blast furnace production has a greater impact on the productivity of sintering machines, to a lesser extent on the yield and cold strength. The use in the charge of fine dust electrostatic precipitators in the amount of ~ 20.5 kg/t leads to a significant reduction in productivity and strength characteristics of the sinter.

Based on the results of experimental studies, the influence of the introduction of different amounts of secondary resources into the sinter charge on some characteristics of the sinter some indicators of the blast furnace operation. The balance calculations showed that with the partial replacement of pulverized coal with natural gas in the amount of $35 \text{ m}^3/\text{t}$ of cast iron, coke consumption decreased by 35 kg/t of cast iron, which led to a decrease in the cost of cast iron by 2.1%. Mathematical models created using the results of experimental data, as well as graphical dependences of reagent consumption (Mg and Mg + CaO mixture) allowed to determine the required values of specific mass consumption of reagents and on this basis to determine the cost of production of low-sulfur iron.

Mathematical modeling of oxygen-converter smelting on the basis of calculation of material and heat balances and taking into account thermodynamic and physicochemical features of chemical transformations is performed. Using mathematical modeling, a comprehensive comparative analysis of the impact of the design of blast devices and the

type of liquid cast iron on the technical and economic performance of steel production OS in the oxygen-converter shop of PJSC "DMK".

Keywords: secondary resources, pulverized coal, magnesium, technological route, oxygen lance

For citation: Verhun O.S., Molchanov L.S., Kyslyakov V.H., Tohobytska D.M., Semenov Yu.S., Nesterov O.S. Pryntsypova skhema modeli naskriznoyi tekhnolohiyi vyrobnytstva konkurentozdatnoyi metaloproduktsiyi pidpryyemstvamy Ukrayiny, shcho pratsyuyut v ne stabilnykh syrovynnykh ta enerhetychnykh umovakh [Schematic diagram of the model of end-to-end technology for the production of competitive metal products by Ukrainian enterprises operating in unstable raw materials and energy conditions]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii* [Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy], 2021, 35, 95-107. (In Ukrainian). DOI 10.52150/2522-9117-2021-35-95-107

*Стаття надійшла до редакції збірника 15.11.21 року,
пройшла внутрішнє і зовнішнє рецензування
(Протокол засідання редакційної колегії
збірника № 4 від 22 грудня 2021 року)*