

**А.П. Шевченко**, д-р техн. наук, проф., пров. наук. співр., e-mail: ovoch-isi@outlook.com, <https://orcid.org/0000-0003-0867-6825>

**Б.В. Двоскін**, канд. техн. наук, ст. наук. співр., e-mail: ovoch-isi@outlook.com, <https://orcid.org/0000-0003-2891-7833>

**І.О. Маначин**, канд. техн. наук., ст. наук. співр., ст. наук. співр., e-mail: ovoch-isi@outlook.com, <https://orcid.org/0000-0001-9795-6751>

**В.Г. Кисляков**, канд. техн. наук, зав. відділу, e-mail: ovoch-isi@outlook.com, <https://orcid.org/0000-0002-1775-5050>

**С.А. Шевченко**, канд. техн. наук., ст. наук. співр., e-mail: ovoch-isi@outlook.com, <https://orcid.org/0000-0003-1521-9665>

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України (Дніпро, Україна)

## Особливо глибока десульфуратія чавуну моноінжекцією магнію в ковшах різного типорозміру

Статтю присвячено відпрацюванню та промислому освоєнню технологічних процесів особливо глибокої десульфуратії чавуну (вміст сірки  $\leq 0,002\%$ ) моноінжекцією магнію в ковшах різного типорозміру.

Представлено результати досліджень з відпрацювання технологій особливо глибокої десульфуратії чавуну моноінжекцією зернистого магнію, що були проведені на сучасних автоматизованих комплексах десульфуратії чавуну та скачування шлаку. Роботи виконувались спільно українськими та китайськими фахівцями в Китаї на сталевому заводі № 1 Уханьського металургійного комбінату (МК) у 110-тонних заливних ківшах та на Тайвані на сталевому заводі № 2 концерну «CSC» у 300-тонних заливних ківшах.

Відпрацьовані технологічні параметри процесів десульфуратії чавуну інжекцією зернистого магнію фурмами з випарними камерами на сталевому заводі № 1 Уханьського МК і двосопловими фурмами на сталевому заводі № 2 концерну «CSC» забезпечили необхідні цикли обробки, надійне і технологічне інжектування магнію та його ефективність засвоєння.

Встановлено, що забезпечується ступінь десульфуратії чавуну до 99 % обробок, та досягається кінцевий вміст сірки в чавуні до 0,0002 %, сумарний розрахунковий ступінь засвоєння магнію на сірку, залишковий магній і розкислення чавуну становить  $\sim 95\%$ .

Встановлено, що важливим технологічним прийомом, що підвищує стабільність показників процесу обробки, що досягаються, є коригування складу ковшового шлаку, яке проводилося добавкою відходів зернистого вапна в кількості 1,0-2,0 кг/т чавуну і не вимагало значних витрат.

Проведено аналіз результатів промислових обробок чавуну, і побудовано номограми залежності питомої витрати магнію від вихідного вмісту сірки для фурм різної конструкції.

Розроблені процеси економічно виправдані для використання у практиці підготовки чавуну до конвертування.

**Ключові слова:** магній, інжекція, двосоплові фурми, фурми з випарниками, особливо глибока десульфуратія, ефективність десульфуратії.

**Вступ.** Сучасний етап розвитку чорної металургії характеризується посиленням вимог до якості металопродукції та підвищенням вимог до її конкурентоспроможності, що зумовлює розробку нових та модернізацію існуючих технологічних процесів [1-5]. Потреба металопродукції з особливо низьким сумарним вмістом шкідливих домішок —  $\leq 0,005\%$  постійно зростає. У зв'язку з цим особливо посилюються вимоги до вмісту сірки в рідкому чавуні, що йде на виплавку сталей з особливими властивостями та характеристиками [2, 4-10]. Завдання отримання чавуну з особливо чистим вмістом сірки, аж до  $\leq 0,002\%$  за мінімальних витрат, стає все більш актуальним. Світова практика сталеваріння показує, що найбільш ефективним та економічно обґрунтованим шляхом

отримання особливо чистого чавуну по сірці є застосування процесів його позапічного рафінування [1-12].

**Мета роботи** — відпрацювання та промислове освоєння технологічних процесів особливо глибокої десульфуратії чавуну (вміст сірки  $\leq 0,002\%$ ) моноінжекцією магнію в ковшах різного типорозміру.

**Зміст.** Відпрацювання та освоєння розроблених фахівцями ІЧМ НАН України [4, 7] технологій особливо глибокої десульфуратії чавуну моноінжекцією магнію, було проведено на сучасних автоматизованих комплексах десульфуратії чавуну та скачування шлаку. Роботи виконувались спільно китайськими та українськими фахівцями в Китаї на сталевому заводі № 1 Уханьського МК у 110-тонних заливних ківшах [11] та на Тайвані на сталевому заводі № 2 концерну «CSC» у

300-тонних залізничних ківшах [12]. Комплекси десульфурзації чавуну (КДЧ) цих комбінатів відрізнялися технічними та технологічними рішеннями, а також апаратурою, що використовується для контролю вмісту компонентів розплаву.

У КДЧ сталезаводу № 1 Уханського МК, який був переобладнаний у 2001 році з технології десульфурзації чавуну моноінжекцією суміші фрезерованого магнію з порошковим вапном на технологію десульфурзації чавуну моноінжекцією гранульованого магнію без добавок, використовувалися фурми з випарними камерами (рис. 1). Введення фурм у розплав здійснювалося стаціонарним двопозиційним фурменним пристроєм.

Вдування магнію в розплав здійснювалося інжекційною системою з розрахунковим тиском стисненого азоту 0,6 МПа на базі модуля-дозатора, який забезпечував дозування магнію з похибкою  $\leq 2\%$  та зважування реагенту з похибкою  $\leq 0,5\%$ .

Як реагент використовувався гранульований магній з сольовою оболонкою з розмірами частинок 0,4-1,6 мм. Магній постачався на установку десульфурзації чавуну (УДЧ) автоцистерною, з якої пневмотранспортувався в силос, потім в бункер роздавання і далі в бункер модуля-дозатора.

Очищення чавуну від шлаку проводилося машинами завантаження шлаку китайського виробництва з пневматичними приводами повороту та переміщення стріли.

Проби чавуну відбиралися вручну провідбірниками зі змінними одноразовими блоками типу KQY-07/1200. Вміст сірки у чавуні визначали на спектрометрі типу LECO CS. Похибка аналізу становила  $\pm 0,001\%$ .

У пробах, відібраних після вдування магнію, визначався, крім сірки, вміст залишкового магнію (спектральним методом ГОСТ 22 536.13-77 на мікроаналізаторі ЛМА-10).

У частині контрольних обробок відбиралися проби для визначення вмісту кисню в чавуні до і після обробки (хімічним методом за ГОСТ 22536.6-88).

КДЧ сталезаводу № 2 концерну «CSC», що включав два пости з KR-процесом, у 2012 році був дообладнаний двома постами для моноінжекції магнію без добавок. Кожен пост був оснащений пересувним двопозиційним візком, на якому були змонтовані два пристрої введення фурм у розплав і один модуль-дозатор з перемикачем подачі магнію на кожну з фурм. Для вдування магнію в чавун використовувалися двосоплові фурми з модернізованими оголовками (рис. 2).

У КДЧ сталезаводу № 2 концерну «CSC» фурми з випарними камерами не було можливим застосувати через велику глибину ванни чавуну — близько 4 м. Раніше проведені дослідження [4, 7] показали, що при збільшенні глибини занурення фурм у розплав, більше 2,5 м через зростання феростатичного тиску зростає температура кипіння магнію, у зв'язку з цим зменшується інтенсивність процесу його випаровування. Це призводить до накопичення рідкого магнію у випарнику фурми, періодичного надходження його у значних кількостях за межі випарної камери та неконтрольованого випаровування вже в обсязі ванни. У таких умовах процес обробки чавуну стає нетехнологічним, а показники процесу десульфурзації погіршуються.

Застосування прямих фурм без випарних камер і односоплових фурм з відгином каналу не задовольняло вимог виробництва в частині забезпечення циклу обробки через обмеженість інтенсивності вдування магнію, яка для цих фурм становила не більше 13 кг/хв.

Промислова експлуатація показала надійність роботи двосоплових фурм з модернізованими оголо-

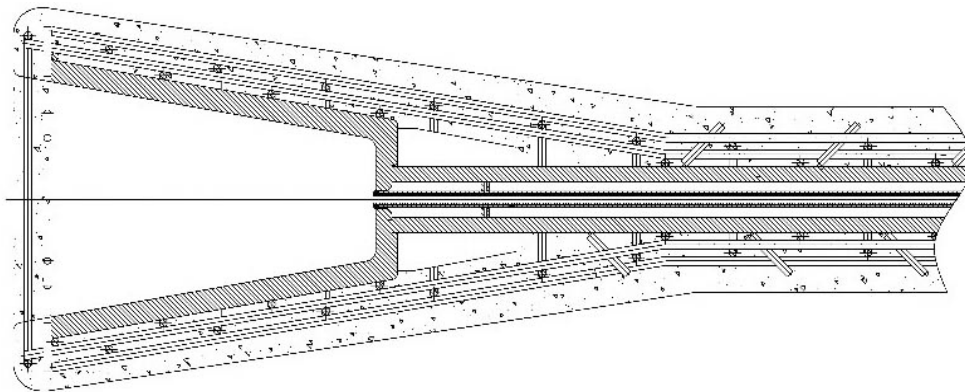


Рис. 1. Оголовок фурменного пристрою з випарною камерою для вдування зернистого магнію

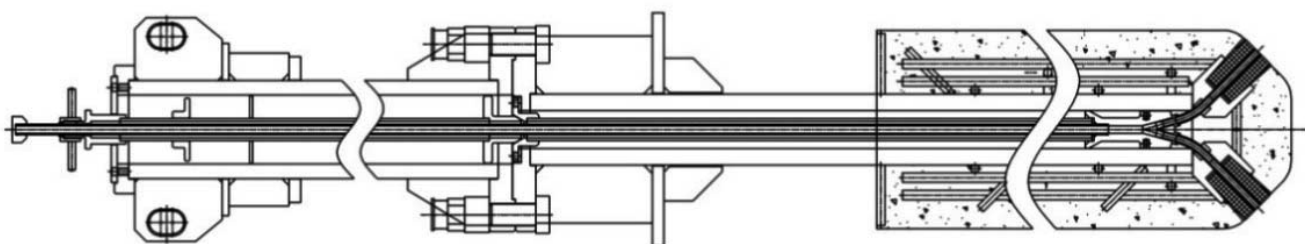


Рис. 2. Двосопловий фурменний пристрій для вдування зернистого магнію

вками та інжекційними системами на базі модулів-дозаторів з удосконаленою конструкцією роторних живильників, що забезпечують високу точність дозування (похибка  $\leq 1,5\%$ ) та зважування реагенту (похибка  $\leq 0,1\%$ ). Для вдування магнію в чавун використовувався азот (під час набору тиску) і аргон (в період вдування магнію) з тиском у мережі 1,0 МПа.

Як реагент використовувався зернистий магній із захисною оболонкою з розмірами частинок 0,2-1,2 мм і гранульований магній із сольовою оболонкою з розмірами частинок 0,4-1,6 мм. Магній поставлявся на КДЧ у 1-тонних «біг-бегах», з яких перевантажувався в бункер завантажувального модуля, звідки пневмотранспортувався до бункера модулів-дозаторів. Скидання запарошеного газу здійснювалося у фільтр-осаджувач.

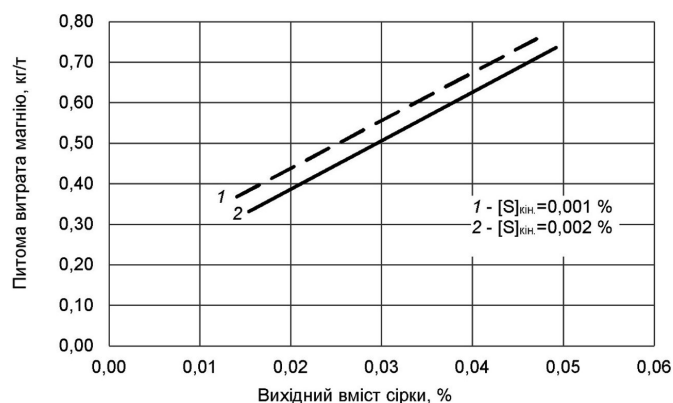
КДЧ сталезаводу № 2 концерну «CSC» був оснащений пристроями для подачі на поверхню розплаву відходів зернистого вапна для коригування хімічного складу ковшового шлаку.

Очищення чавуну від шлаку здійснювалося машинами завантаження шлаку китайського виробництва з гідравлічним приводом повороту та переміщення стріли.

Відбір проб чавуну здійснювався автоматизованим пристроєм відбору проб зі змінними одноразовими блоками типу T.P. Sampler виробництва Yi Sheng Enterpris Co LTD (Caoxing, Taiwan). Вміст сірки чавуну визначали на спектрометрі типу ARL 3460. Похибка аналізу становила  $\pm 0,0002\%$ . У частині контрольних обробок визначався вміст у чавуні залишкового магнію та кисню.

У процесі проведення контрольних обробок у КДЧ обох комбінатів фіксувалися вихідні умови обробки, технологічні параметри процесу, контролювалася температура чавуну до та після обробки, ступінь очищення чавуну від шлаку та досягнуті результати десульфурації.

Вихідні умови, параметри та показники особливо глибокої десульфурації чавуну інжекцією зернистого магнію в 110-тонні ковші фурмами з випарними камерами та в 300-тонні ковші двосопловими фурмами представлені в таблиці.



**Рис. 3.** Залежність питомої витрати магнію від вихідного вмісту сірки при вдуванні магнію через фурми з випарною камерою у 110-тонні залівні ковші сталезаводу № 1 Уханьського меткомбінату (КНР). Цифри у ліній — кінцевий вміст сірки у чавуні

Відпрацьовані технологічні параметри процесів десульфурації чавуну інжекцією зернистого магнію фурмами з випарними камерами на сталезаводі № 1 Уханьського МК і двосопловими фурмами на сталезаводі № 2 концерну «CSC» забезпечили необхідні цикли обробки, надійне і технологічне інжектування магнію та його ефективність засвоєння.

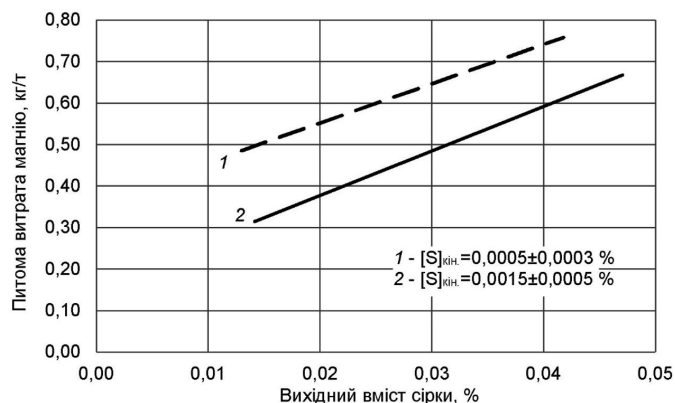
Великий «вільний борт», що мав місце, при використанні двосоплових фурм в КДЧ концерну «CSC» не пов'язаний з обмеженням наливу ковша через процес обробки, а був обумовлений виробничими вимогами до маси чавуну при KR-процесі. Відомо [7], що застосування двосоплових фурм при обробці чавуну в 150-тонних ковшах дозволило зменшити «вільний борт» до 0,4 м, а в частині ковшів — до 0,1-0,2 м.

Незважаючи на те, що при застосуванні двосоплових фурм потрібно було збільшити витрату газу до  $140 \text{ нм}^3/\text{год}$ , концентрація магнію в газоносії (в середньому  $27,5 \text{ кг/м}^3$ ) була вищою, ніж при використанні фурм з випарними камерами (у середньому  $20,5 \text{ кг/м}^3$ ) за рахунок збільшення інтенсивності подачі магнію (в середньому  $16 \text{ кг/хв}$ ). Відомо [4, 7], що збільшення концентрації магнію в газоносії сприяє підвищенню ефективності процесу десульфурації чавуну.

На рис. 3 та рис. 4 представлено номограми залежності питомої витрати магнію від вихідного вмісту сірки.

Аналіз показників десульфурації чавуну інжекцією зернистого магнію в КДЧ сталезаводу № 1 Уханьського МК та в КДЧ сталезаводу № 2 концерну «CSC» показав, що відпрацьовані та освоєні технологічні процеси особливо глибокої десульфурації чавуну характеризуються високими показниками:

- ступінь десульфурації чавуну — аж до 99 % (у середньому 95,2 та 96,3 % відповідно);
- кінцевий вміст сірки в чавуні, що досягається, — аж до 0,0002 % (в середньому 0,0015 і 0,0012 % відповідно);
- витрата магнію на сірку видалену — в середньому 2,2 і 1,9 кг/кг відповідно;
- питомий ступінь десульфурації чавуну — у середньому 18,9 та 22,4 %/0,1 кг/т магнію відповідно;



**Рис. 4.** Залежність питомої витрати магнію від вихідного вмісту сірки при вдуванні магнію через двосоплові фурми у 300-тонні залівні ковші сталезаводу № 2 концерну «CSC» (Тайвань). Цифри у ліній — кінцевий вміст сірки у чавуні

## Вихідні умови, параметри і показники особливо глибокої десульфурзації чавуну інжекцією зернистого магнію

№ п/п	Вихідні умови, параметри	Найменування підприємства	КНР, Уханський МК, сталезавод № 1	Тайвань, концерн «CSC», сталезавод № 2
Вихідні умови				
1	Тип ковша, ємність		Заливальний 110 т	Заливальний 300 т
2	Параметри ковша, м:			
	- внутрішній діаметр		2,95	4,19
	- глибина		3,0	5,0
3	Параметри рідкої ванни в ковші, м			
	- глибина		<u>2,2 – 2,5</u> 2,35	<u>3,6 – 4,4</u> 4,0
	- висота «вільного борта»		<u>0,5 – 0,8</u> 0,6	<u>0,7 – 1,1</u> 0,9
4	Маса чавуну в ковші, т		<u>101 – 110</u> 107	<u>250,7 – 270,5</u> 257,8
5	Початковий вміст сірки в чавуні, %		<u>0,015 – 0,049</u> 0,028	<u>0,015 – 0,061</u> 0,027
6	Початкова температура чавуну, °С		<u>1189 – 1335</u> 1257	<u>1263 – 1406</u> 1328
7	Параметри стиснутого азоту:		При вдуванні магнію	При наборі тиску
	- тиск в мережі, МПа		0,6	1,0
	- витрати, нм³/ч		<u>45 – 55</u> 47	160 – 200
	- ступінь осушки, точка роси °С		-70	-70
8	Параметри стиснутого аргону:		—	При вдуванні магнію
	- тиск в мережі, МПа		—	1,0
	- витрати, нм³/ч		—	140
	- ступінь осушки, точка роси °С		—	-70
Параметри інжектування				
9	Тип фурми		випарник	двосопловий
10	Глибина занурення фурми в чавун, м		<u>2,0 – 2,3</u> 2,15	<u>3,4 – 4,2</u> 3,8
11	Параметри вдування магнію:			
	- інтенсивність подачі магнію, кг/хв		<u>4,0 – 11,3</u> 8,0	<u>12,9 – 24,0</u> 16,0
	- тривалість вдування магнію, хв		<u>4,5 – 10,5</u> 7,5	<u>5,1 – 12,0</u> 8,0
	- концентрація магнію в газоносії, кг/м³		<u>10,7 – 24,8</u> 20,5	<u>22,6 – 31,3</u> 27,5
Показники процесу десульфурзації чавуну				
12	Витрати магнію на ківш, кг		<u>37,8 – 84,5</u> 59,0	<u>70,4 – 240,5</u> 128,0
13	Питома витрата магнію, кг/т		<u>0,29 – 0,75</u> 0,52	<u>0,25 – 0,79</u> 0,43
14	Тривалість циклу обробки, хв		<u>20 – 39</u> 30	<u>18 – 36</u> 25
15	Кінцевий вміст сірки в чавуні (після обробки), %		<u>0,001 – 0,002</u> 0,0015	<u>0,0002 – 0,002</u> 0,0012
16	Ступінь десульфурзації чавуну, %		<u>87,5 – 97,7</u> 95,2	<u>88,8 – 99,0</u> 96,3
17	Питомий ступінь десульфурзації чавуну, %/0,1кг/т магнію		<u>13,0 – 30,1</u> 18,3	<u>12,5 – 34,2</u> 22,4
18	Швидкість процесу десульфурзації, %/хв		<u>9,3 – 19,3</u> 12,8	<u>8,3 – 16,8</u> 12,2
Ступінь засвоєння магнію, %:				
19	- на сірку видалену		<u>30,3 – 51,7</u> 39,8	<u>19,9 – 65,2</u> 43,9
	- на сірку і магній залишковий		<u>64,3 – 85,7</u> 74,4	нд
20	Витрати магнію на сірку видалену, кг/кг		<u>1,5 – 2,8</u> 2,2	<u>1,2 – 3,6</u> 1,9
21	Температура чавуну після десульфурзації, °С		<u>1172 – 1328</u> 1240	<u>1257 – 1390</u> 1318
22	Втрати температури чавуну, °С		<u>7 – 40</u> 18	<u>6 – 16</u> 10
23	Час між замірами температури, хв		<u>8 – 33</u> 17	<u>10 – 23</u> 15
24	Швидкість зниження температури чавуну, °С/хв		<u>0,9 – 1,2</u> 1,05	<u>0,6 – 0,7</u> 0,65

- швидкість процесу десульфурації — у середньому 12,8 та 12,2 %/хв відповідно;

- ступінь засвоєння магнію на сірку видалену — у середньому 39,8 та 43,9 % відповідно.

Процес особливо глибокої десульфурації чавуну супроводжувався глибоким розкисленням чавуну. Аналіз проб чавуну, відібраних у КДЧ Уханського МК визначення вмісту кисню, показав, що вміст кисню в чавуні знижувався у середньому з 0,0085 до 0,0025 %, а частка витраченого на розкислення чавуну магнію становила 14-19 %. При цьому сумарний розрахунковий ступінь засвоєння магнію становив ~93,4 % (від введеного).

Аналіз витрат магнію на сірку, магній розчинений та розкислення чавуну в комплексі концерну «CSC» був також виконаний фахівцями цієї компанії [13]. Показано, що частка магнію, що розчинився в чавуні, становить ~37 %, витраченого на десульфурацію — ~44 %, витраченого на розкислення розплаву — ~15 %, втрати магнію — ~4 %.

Наведені дані кореспондуються з результатами аналізу проб чавуну на залишковий магній і кисень, відібраних під час проведення контрольних обробок КДЧ концерну «CSC». Було встановлено, що частка магнію, витраченого на насичення чавуну магнієм, становить ~35,9 %, на розкислення чавуну — ~16 %. Таким чином, сумарний розрахунковий ступінь засвоєння магнію при особливо глибокій десульфурації за даними [13] склав ~96 %, а згідно з результатами, отриманими в цій роботі, — ~95,8 %.

Проведені дослідження показали, що при розробці процесів особливо глибокої десульфурації чавуну для забезпечення їх високої ефективності і стабільності результатів, що досягаються, необхідно при прогнозуванні необхідних питомих витрат магнію враховувати одиничний вплив на процес вихідних умов (початковий вміст сірки і кисню в чавуні, необхідний кінцевий вміст сірки, маса і температура чавуну, глибина рідкої ванни, тип газоносія, кількість та склад

ковшового шлаку), а також параметрів обробки (глибина занурення фурми в розплав, витрата газоносія, концентрація магнію в газоносії).

Важливою вимогою при реалізації процесів особливо глибокої десульфурації чавуну є забезпечення якості проб, що відбираються, і точність методів експрес-аналізу. Тому для налаштування спектрометрів повинні використовуватися стандартні зразки із вмістом сірки не більше 0,002 %.

Для високої надійності процесу обробки необхідно, щоб застосовані типи приладів і параметри інжектування забезпечували технологічність обробки.

Також встановлено, що важливим технологічним прийомом, що підвищує стабільність показників процесу обробки, що досягаються, є коригування складу ковшового шлаку, яке проводилося добавкою відходів зернистого вапна в кількості 1,0-2,0 кг/т чавуну і не вимагало значних витрат.

Освоєні в КДЧ сталезаводу № 1 Уханського МК і КДЧ сталезаводу № 2 концерну «CSC» технологічні процеси особливо глибокої десульфурації чавуну економічно виправдані для використання у практиці підготовки чавуну до конвертування.

## Висновок

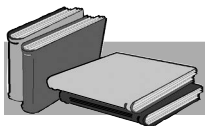
Відпрацьовані та освоєні в промислових умовах процеси десульфурації чавуну інжекцією зернистого магнію у 110-тонних та у 300-тонних ківшах забезпечують отримання чавуну з особливо низьким вмістом сірки — 0,0002-0,002 %.

Процеси характеризуються надійним та технологічним інжектуванням магнію та високими показниками:

- ступінь десульфурації чавуну — 93,2-93,8 %, відповідно;

- витрата магнію на сірку видалену — 2,2-1,9 кг/кг, відповідно;

- цикл обробки — 30-25 хв, відповідно.

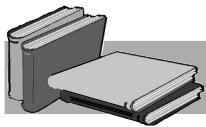


## ЛІТЕРАТУРА

1. Кудрин В.А. Внепечная обработка чугуна и стали. Москва: Металлургия, 1992. 335 с.
2. Nadif M., Suero I., Rodesly C. Методы десульфурации на предприятиях Arcelor Mittal Fiat Western Europe. *Новости черной металлургии за рубежом*. 2010. № 3. С. 32-34.
3. Воронова Н.А. Десульфурация чугуна магнием. Москва: Металлургия, 1980. 239 с.
4. Шевченко А.Ф., Большаков В.И., Башмаков А.М. Технология и оборудование десульфурации чугуна магнием в большегрузных ковшах. Киев: Наукова думка, 2017. 205 с.
5. Се Хонг-Чи, Айхерт Т., Темберген Д., Теборте Р. Установки вторичной металлургии компании CSC. Успех через качество. *Черные металлы*. 2008. № 9. С. 26-31.
6. Найдек В.Л. Повышение эффективности металлургических технологий внепечной обработки железоуглеродистых расплавов. *Сб. докладов международной конференции. Производство стали в XXI веке. Прогнозы. Процессы, технологии, экономика*. Киев: Изд. ЗАО «Укрсплав», 2000. С. 16-23.
7. Шевченко А.Ф., Маначин И.А., Вергун А.С. и др. Внепечная десульфурация чугуна в ковшах. Технология. Исследования. Анализ. Совершенствование. Днепропетровск: «Дніпро—VAL», 2017. 253 с.

8. Степанов А.А., Зинченко С.Д., Ламухин А.И. и др. Освоение технологии производства стали с использованием установки десульфурации чугуна в условиях конвертерного производства ОАО «Северсталь». *Черная металлургия. Бюл. ин-та «Черметинформация»*. 2005. № 4. С. 31-33.
9. Луценко А.Н., Немтинов А.А., Зинченко С.Д. и др. Опыт работы Череповецкого металлургического комбината по достижению ультранизкого содержания серы в чугуне с использованием крупнотоннажной установки десульфурации чугуна. *Черная металлургия. Бюл. ин-та «Черметинформация»*. 2009. № 7. С. 61-63.
10. Ушаков С.Н., Авраменко В.Л., Бичеев В.А., Столяров А.М., Потапова М.В. Производство трубной низкосернистой стали с ковшевой десульфурацией чугуна. *Металлург*. 2017. № 11. С. 47-61.
11. Шевченко А.Ф., Двоскин Б.В., Вергун А.С. и др. Применение технологии десульфурации чугуна гранулированным магнием на Уханьском металлургическом комбинате. *Сталь*. 2002. № 4. С. 46-48.
12. Большаков В.И., Шевченко А.Ф., Башмаков А.М., Маначин И.А., Лю Дун Ие, Шью Рен Люи. Новый комплекс десульфурации чугуна магнием с высокой интенсивностью вдувания на сталеплавильном заводе № 2 корпорации CSC, Тайвань. *Черная металлургия. Бюл. ин-та «Черметинформация»*. 2013. Вып. 4. С. 28-33.
13. Haiping Sun, Yung-Chang Liu, Muh-Jung Lu. Behavior of Ar-1% Mg Bubbles in Desulfurization of Hot Metal by Magnesium Injection. *Steel Research International*. 2010. 80 (3). P. 209-217. DOI: <https://doi.org/10.2374/SRI08SP129>

Надійшла 01.05.2023



## REFERENCES

1. Kudrin, V.A. (1992). Out-of-furnace treatment of cast iron and steel. Moscow: Metallurgiya, 335 p. [in Russian].
2. Nadif, M., Suero, I., Rodesly, C. (2010). Desulphurisation methods at Arcelor Mittal Fiat Western Europe. *Iron & Steel News Abroad*, no. 3, pp. 32-34 [in Russian].
3. Voronova, N.A. (1980). Desulfurization of cast iron by magnesium. Moscow: Metallurgiya, 239 p. [in Russian].
4. Shevchenko, A.F., Bolshakov, V.I., Bashmakov, A.M. (2017). Technology and equipment of cast iron desulfurization by magnesium in heavy ladles. Kyiv: Naukova dumka, 205 p. [in Russian].
5. Xie Hong-Chi, Eichert, T., Tembergen, D., Teborte, R. (2008). CSC Secondary Metallurgy Plants. Success through quality. *Ferrous Metals*, no. 9, pp. 26-31 [in Russian].
6. Naidek, V.L. (2000). Increase of efficiency of metallurgical technologies of out-of-furnace treatment of iron-carbon melts. *Collection of Reports of International Conference. Steel Production in XXI century. Forecasts. Processes, technologies, economy*. Kyiv: Ukrspav, pp. 16-23 [in Russian].
7. Shevchenko, A.F., Manachin, I.A., Vergun, A.S. et al. (2017). Out-of-furnace desulfurization of cast iron in ladles. Technology. Research. Analysis. Improvement. Dnepropetrovsk: "Dnipro-VAL", 253 p. [in Russian].
8. Stepanov, A.A., Zinchenko, S.D., Lamukhin, A.I. et al. (2005). Mastering of steel production technology using cast iron desulfurization unit in JSC "Severstal" BOF Shop. *Ferrous metallurgy: "Chermetinformatsiya"*, no. 4, pp. 31-33 [in Russian].
9. Lutsenko, A.N., Nemtinov, A.A., Zinchenko, S.D. et al. (2009). Experience of Cherepovets Iron and Steel Works in achieving ultra-low sulphur content in pig iron using large-tonnage iron desulphurization unit. *Ferrous metallurgy: "Chermetinformatsiya"*, no. 7, pp. 61-63 [in Russian].
10. Ushakov, S.N., Avramenko, V.L., Bicheev, V.A., Stolyarov, A.M., Potapova, M.V. (2017). Production of low-sulfur pipe steel with ladle desulfurization of pig iron. *Metallurg*, no. 11, pp. 47-61 [in Russian].
11. Shevchenko, A.F., Dvoskin, B.V., Vergun, A.S. et al. (2002). Application of iron desulphurization technology by granulated magnesium at Wuhan Metallurgical Combine. *Steel*, no. 4, pp. 46-48 [in Russian].
12. Bol'shakov, V.I., Shevchenko, A.F., Bashmakov, A.M., Manachin, I.A., Lyu Dun Ie, Sh'uu Ren Lyui (2013). The New Complex for the Cast Iron Desulfurization with Magnesium in Case of the Intensive its Injection at the Steel Works no. 2 of the CSC Corporation (Taiwan). *Ferrous metallurgy: "Chermetinformatsiya"*, iss. 4, pp. 28-33 [in Russian].
13. Haiping Sun, Yung-Chang Liu, Muh-Jung Lu (2010). Behavior of Ar-1% Mg Bubbles in Desulfurization of Hot Metal by Magnesium Injection. *Steel Research International* 80 (3), pp. 209-217, doi: <https://doi.org/10.2374/SRI08SP129>

Received 01.05.2023

**Summary**

**A.P. Shevchenko**, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Leading Researcher,  
e-mail: ovoch-isi@outlook.com, <https://orcid.org/0000-0003-0867-6825>

**B.V. Dvoskin**, PhD (Engin.), Senior Researcher,  
e-mail: ovoch-isi@outlook.com, <https://orcid.org/0000-0003-2891-7833>

**I.O. Manachyn**, PhD (Engin.), Senior Research Scientist, Senior  
Researcher, e-mail: ovoch-isi@outlook.com,  
<https://orcid.org/0000-0001-9795-6751>

**V.G. Kislyakov**, PhD (Engin.), Head of the Department,  
e-mail: ovoch-isi@outlook.com, <https://orcid.org/0000-0002-1775-5050>

**S.A. Shevchenko**, PhD (Engin.), Senior Researcher,  
e-mail: ovoch-isi@outlook.com, <https://orcid.org/0000-0003-1521-9665>

*Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine  
(Dnipro, Ukraine)*

## **Especially deep desulphurization of cast iron by magnesium mono-injection in ladles of different size**

*The article is devoted to the development and industrial mastering of technological processes of particularly deep desulphurization of cast iron (sulphur content  $\leq 0.002\%$ ) by magnesium mono-injection in ladles of various sizes.*

*The paper presents the results of research on the development of technologies for extra deep desulphurization of cast iron by mono-injection of granular magnesium, which was carried out at modern automated cast iron desulphurization and slag rolling complexes. The work was carried out jointly by Ukrainian and Chinese specialists in China at Wuhan Steel Plant No. 1 using 110-ton ladles and in Taiwan at CSC Steel Plant No. 2 using 300-ton ladles.*

*The proven technological parameters of the cast iron desulphurization processes using granular magnesium injection with tuyeres with evaporation chambers at Steel Plant No. 1 of Wuhan Steel and double-nozzle tuyeres at Steel Plant No. 2 of CSC Concern ensured the required processing cycles, reliable and technological magnesium injection and its absorption efficiency.*

*It was found that the degree of desulphurization of cast iron is up to 99 % of treatments and the final sulphur content in cast iron is up to 0.0002 %, with the total estimated degree of magnesium absorption into sulphur, residual magnesium and deoxidation of cast iron being ~95 %.*

*It has been established that an important technological technique that increases the stability of the achieved processing parameters is the adjustment of the ladle slag composition, which was carried out by adding waste granular lime in the amount of 1.0-2.0 kg/t of cast iron and did not require significant costs.*

*The results of industrial cast iron treatments were analysed and nomograms of the dependence of specific magnesium consumption on the initial sulphur content for tuyeres of various designs were constructed.*

*The developed processes are economically justified for use in the practice of preparing cast iron for conversion.*

**Keywords**

*Magnesium, injection, nozzle lances, lances with evaporators, extra deep desulphurization, desulphurization efficiency.*