

ДЕРЖАВНА МЕТАЛУРГІЙНА  
АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

На правах рукопису

СТАРОВ Ремуальд Вікторович

РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ТА РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОЇ  
ТЕХНОЛОГІЇ КОНВЕРТЕРНОГО ПРОЦЕСУ НА БАЗІ  
ДОСЛІДЖЕНЬ ЗМІНИ ОКИСЛЕНОСТІ ШЛАКУ ПО  
ХОДУ ПРОДУВКИ

05.16.02 - Металургія чорних металів

А в т о р е ф е р а т

дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Дніпропетровськ - 1996

ДВЗ4.427

Робота виконана в Інституті чорної металургії  
НАН України ім. З.І. Некрасова та металургійних  
підприємствах України

Офіційні опоненти

Член-кореспондент НАН України,  
доктор технічних наук, професор

Перелома В.О.

Член-кореспондент Інженерної академії  
України,  
доктор технічних наук, професор

Яковлев Ю.М

Заслужений діяч науки України,  
доктор технічних наук,  
професор

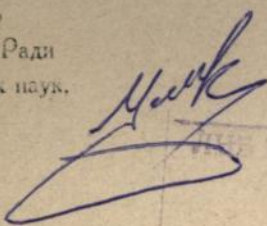
Казачков Е.О.

Провідне підприємство - Дніпродзержинський державний  
технічний університет

Захист дисертації відбудеться - 28<sup>го</sup> 05 1996 р.  
на засіданні спеціалізованої ради (шифр Д 068.02.02)  
"Металургія чорних металів") щодо захисту дисертації на  
здобуття наукового ступеня доктора технічних наук при  
Державній металургійній академії України  
(320635, Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 4).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці інсти-  
туту.

Учений секретар  
Спеціалізованої Ради  
доктор технічних наук,  
професор



В.К. ЦАПКО

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00760215 (L)

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Киснево-конвертерний процес є і буде ще довгий час залишатися основним способом виробництва сталі в світі, тому всі роботи, спрямовані на підвищення його ефективності, актуальні і мають велике значення.

Під час розгляду напрямів розвитку теорії та практики конвертерного процесу приходимо до висновку, що практично всі показники процесу в тій чи іншій мірі зв'язані з кількістю оксидів заліза в шлаці і по суті справи керування процесом - це керування вмістом оксидів заліза в шлаці. Це ствердження не є новим і в тій чи іншій мірі розділяється усіма дослідженнями. Однак, до цього часу не існує робіт, в яких більшість аспектів технології конвертерної плавки розглядається в тісному зв'язку з вмістом оксидів заліза в шлаці та при єдиному підході. Призначенням даної роботи і є заповнення цих прогалин.

**Мета роботи.** Розвиток теорії та технології киснево-конвертерного процесу на базі досліджень зміни окисленості шлаку по ходу продувки і розробка оптимальної технології конвертерної плавки та її елементів: дуттьового та шлакового режимів і проблем підвищення якості сталі.

**Наукова новизна.** Виведено аналітичний вираз для визначення висоти фурми над ванною та рівняння для визначення числа сопел у фурмі та кут їх нахилу до вертикалі.

Виведено аналітичне рівняння для визначення кута розкриття сопла Лавалля.

Зроблено уточнення критерію, що описує відношення швидкостей окислення заліза та вуглецю і дає змогу здійснити інженерний розрахунок параметрів дуттьового режиму. З використанням критерію проаналізовано з погляду керованості існуючі конвертерні процеси. Комбіновані процеси - найбільш керовані, донні - найменш.

Досліджено закономірності технології плавки при регламентованій витраті кисню по ходу продувки, виведено рівняння

для визначення витрати кисню з часом в першому та третьому періодах продувки.

Запропоновано аналітичний вираз для визначення швидкості розчинення пористих тіл, який враховує температуру плавлення утворених сполучень та температуру ванни, на основі цих досліджень рекомендовано раціональний режим присадок вапна.

Проведено теоретичний аналіз впливу оксиду магнію на температуру плавлення шлаків. Показано, що заміна частини  $\text{CaO}$  на  $\text{MgO}$  приводить до зменшення температури плавлення шлаків, що дає змогу значно полегшити впровадження технології переділу низькомарганцевистого чавуну.

Досліджено механізм зносу футеровки на вуглецевій зв'язці. Установлено, що швидкість зносу футеровки лімітується швидкістю газифікації вуглецю, фактори, які визначають знос - активність оксидів заліза в шлаці та температура. Досліджено вплив технологічних факторів на знос футеровки по ходу продувки та показано, що вони всі впливають на знос футеровки в тій мірі, в якій зв'язані зі зміною активності оксидів заліза.

Проведено масштабне дослідження впливу різних флюсів та охолоджувачів на шлакоутворення. Запропоновано комплексний показник шлакоутворення, який дозволяє об'єктивно оцінити ефективність використання того чи іншого матеріалу.

Проаналізовано вплив технологічних факторів на коефіцієнти розподілу сірки та фосфору по ходу продувки, показано, зокрема, що для кожного періоду продувки існує своя оптимальна для видалення сірки та фосфору основність шлаку.

Розроблена та досліджена технологія виробництва сталі в конвертерах з кислою футеровкою. Показана можливість значного скорочення витрат матеріалів, зменшення вмісту кисню, азоту та водню в металі та помітного поліпшення якості сталі.

Розроблена та досліджена технологія виробництва низьковуглецевої сталі в глуходонних конвертерах з продувкою зверху азотом, аргоном та  $\text{CO}$ .

### Практична значущість та реалізація результатів роботи

Основні результати досліджень стали основою для розробки нових рішень, які висесено в Типову інструкцію з виплавки сталі в конвертерах, Типову методику "Розрахунок, виготовлення та експлуатація кисневих фурм", їх використано при розробці вихідних даних та технологічних завдань (ТЛЗ) на будівництво та реконструкцію конвертерних цехів.

Технологія виробництва металу відповідального призначення, в тому числі для газонафтопровідних труб впроваджена на металургійних комбінатах "Азовсталь" та ім. Ілліча, технологія виробництва рейкової сталі при передлі низькомарганцевистого чавуну - на комбінаті ім.Дзержинського, технологія виробництва сталі для глибокої висадки - на комбінаті "Криворіжсталь", дуттьовий режим при максимальній в галузі інтенсивності дуття - на комбінаті "Азовсталь", регламентований режим продувки - на Єнакіївському заводі, технологія переділу низькомарганцевистого чавуну - на комбінаті "Азовсталь", малошлакова технологія - на комбінатах "Криворіжсталь" та "Азовсталь", технологія ошлакування футеровки конвертерів - на комбінатах "Криворіжсталь" та ім.Дзержинського, система охолодження футеровки - на заводі ім.Петровського.

Загальний економічний ефект від впровадження та використання при проектуванні результатів роботи склав 112,6 млн.крб. в цінах 1990 р., доля автора 8,1 млн.крб.).

Апробація роботи. Матеріали дисертації докладено на Всесоюзно-республіканських конференціях "Теорія та практика киснево-конвертерних процесів" (Дніпропетровськ, 1971, 1977, 1981, 1985, 1994 р.р.), республіканській конференції "Шляхи підвищення якості сталі" (Липецьк, 1970 р.), Всесоюзній нараді "Підвищення ефективності та поліпшення структури сталеплавильного виробництва" (Липецьк, 1978 р.), V Республіканській конференції "Досвід розробки та впровадження інтегрованих АСУ в чорній металургії" (Дніпропетровськ, 1980 р.), V конференції "Переділ

чавунів спеціального складу, включаючи природнолеговані та фосфористі" (Свердловськ, 1984 р.), Республіканській конференції "Досвід експлуатації систем та заходів автоматизації сталеплавильного виробництва та перспективи впровадження АСУ" (Київ, 1986 р.), Всесоюзній конференції "Проблеми підвищення якості металопродукції по основним переділам чорної металургії" (Дніпропетровськ, 1989 р.), Інтернаціональному конгресі по кисневому сталеварінню (Лінець, 1987 р.), 5-ому Радянсько-Індійському симпозиумі "Теперішнє та майбутнє кисневого сталеваріння та безперервного розливу" (Ранчи, 1988 р.), Всесоюзній конференції "Нові технологічні та конструкторські розробки щодо технічного рівня конвертерного виробництва" (Липецьк, 1991 р.), 1-ому та 2-ому Конгресах сталеплавильників (Москва, 1992, Липецьк, 1993 р.), Всесоюзних галузевих нарадах по науково-технічному напрямку (Сталеплавильне виробництво. Технологія киснево-конвертерного процесу". Розробки по темі дисертації експонувалися на ВДНГ СРСР та УРСР та відзначені медалями та дипломами.

**Публікації.** Основний зміст робіт опубліковано автором у двох книгах, 51 статті та захищено 33 авторськими свідоцтвами на винаходи.

**Обсяг роботи.** Робота складається з вступу, 4 розділів, викладена на 270 сторінках машинописного тексту, 90 рисунків, 43 таблиці, списку літератури з 118 найменувань та додатків на 35 сторінках.

## ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі та розділі "Аналіз тенденцій розвитку киснево-конвертерного процесу та визначення шляхів його удосконалення" відзначається, що за більш ніж сорокарічне існування киснево-конвертерний процес став провідним масовим способом виробництва сталі у світі. За ці сорок років істотно змінилися всі показники плавки в результаті впровадження цілого ряду нових технологій та устаткування, що було наслідком праці

вітчизняних дослідників та виробничників. У багатьох виникає відчуття, що досягнута деяка межа і увага дослідників переключається на інші галузі.

Не поділяючи цю думку, автор вважає, що саме зараз настає час поглибленого вивчення процесів, які відбуваються в ході конвертерної плавки, і упевнений, що в ході такого процесу виникнуть нові ідеї та технічні рішення, які кінець кінцем дадуть змогу здійснити подальше поліпшення показників конвертерного виробництва.

Під час виконання роботи автор керувався необхідністю вивчення суті процесів і на цій основі створення інженерних методів розрахунку та створення нових елементів устаткування та технологій процесів.

#### В розділі "Оптимізація параметрів дуттьового режиму"

підкреслюється, що керування конвертерним процесом - це по суті керування вмістом оксидів заліза в шлаці, який залежить від співвідношення швидкостей окислення заліза та вуглецю. При верхній продувці це співвідношення визначається питомим тиском кисневого струменя на ванну. Розглядаючи характер зміни питомого тиску струменя на ванну (рис.1), відзначаємо, що робоча зона струменя - зона перегину. При тисках, відповідаючих похилій ділянці - АВ, стабільний хід процесу неможливий - найменша зміна висоти фурми призводить до значної зміни питомого тиску, при тисках, відповідаючих пологій ділянці - CD, навіть помітна зміна висоти фурми не призводить до зміни характеру продувки.

Криві (рис.1) описуються рівнянням:

$$T = \frac{V^2}{10^4 H^3}, \quad (I)$$

де  $T$  - питомий тиск струменя на ванну, МПа;

$V$  - витрата кисню на сопло, м<sup>3</sup>/хвил.;

$H$  - висота фурми над ванною, м.

Знайшовши похідну від  $T$  та приймаючи кут між дотичною до кривих AD рівним 45 град., знаходимо координати крапки перегину

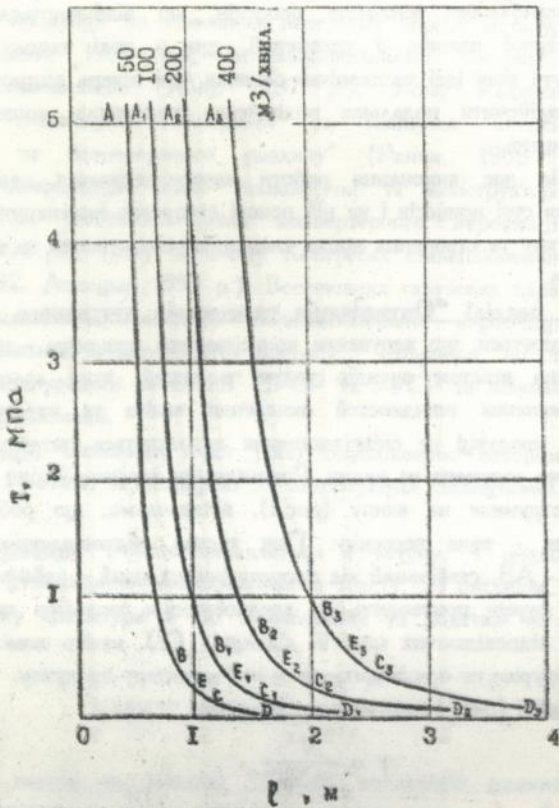


Рис. 1. Залежність тиску  $T$  струменя на ванту від витрати кисню на сопло (цифри біля кривих) та довжини  $l$  струменя.

в системі  $V - H$ , - тобто вираз для визначення середнього значення робочої висоти фурми:

$$H = \sqrt{\frac{4 V^2}{10^4}} \cdot \cos \beta, \quad (2)$$

$\beta$  - кут нахилу осі сопла до вертикалі, град.

Результати розрахунків по (2) збігаються з фактичними значеннями для конвертерів ємністю від 0,3 до 350 т, а також з теоретичними рівняннями інших дослідників, одержаними пізніше.

Таким чином, кожній витраті кисню на сопло відповідає свій строго визначений тиск струменя на ванну. Якби було можливе аналітичне вирішення для визначення потрібного для конкретних умов кожного конвертера тиску струменя на ванну, завдання визначення витрати кисню на сопло (тобто кількості сопел у фурмі) було б дуже простим. Однак, спроби знайти таке рішення виявилися поки невдалими. Тому проаналізовано фактичні дані добре працюючих конвертерів. В результаті отримано:

$$T = 10^{0,521 - \frac{3,159}{2,9(EV\sqrt{R^2})}} \quad (3)$$

Вирішуючи разом (1), (2), (3), знаходимо вираз для визначення витрати кисню на сопло.

$$V = \frac{3,21}{\cos^{2,5} \beta} \cdot 10^{4 - \frac{7,9}{2,9(EV\sqrt{R^2})}} \quad (4)$$

в рівняннях (3 та 4)  $V$  - витрата кисню на фурму, м<sup>3</sup>/хвил.;

$\Sigma Q$  - ємність конвертера (садка), т сталі.

Таким чином, знаючи  $V$  і  $Q$ , можна визначити кількість сопел у фурмі та кут нахилу осі сопла до вертикалі.

Розрахунок сопел Лаваля давно відомий, за винятком кута розкриття дифузора сопла, який вибирається довільно. В цій роботі знайдено аналітичний вираз для визначення півкута розкриття сопла:

$$\alpha = \alpha_2 \varepsilon \operatorname{tg} \left[ \frac{\left[ \frac{k-1}{2 \left( \rho^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right)} \right]^{\frac{1}{k}} \left[ \frac{2 + 2 \left( \rho^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right)}{k+1} \right]^{\frac{k+1}{4(k-1)}} - 1}{\left[ \frac{k-1}{2 \left( \rho^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right)} \right]^{\frac{1}{k}} \left[ \frac{2 + 2 \left( \rho^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right)}{k+1} \right]^{\frac{k+1}{4(k-1)}} + 1} \right] \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 \varepsilon \sin \sqrt{\frac{k-1}{2 \left( \rho^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right)}} \quad (5)$$

де  $k$  - показник адиабати,  $\rho$  - відношення тиску кисню перед соплом до тиску атмосфери в конвертері.

Рівняння (1-5) положені в основу типової методики розрахунку кисневої фурми.

Якщо при верхній продувці співвідношення швидкостей окислення заліза та вуглецю визначаються в основному питомим тиском струменя на ванну, то при комбінованій продувці кількість факторів, впливаючих на це співвідношення, збільшується. Зроблено уточнення критерію, який включає ці фактори.

$$ISCO' = \frac{\eta_{O_2} \cdot h^2}{1 (\eta_{CO} + 1)^{0,444}} \quad (6)$$

де  $ISCO'$  - індекс селективного окислення вуглецю;

$\eta_{O_2}$  - частка кисню у дутті, %;  $\eta_{CO}$  - частка доного дуття, %;

$i$  - інтенсивність продувки, м<sup>3</sup>/хвил;

$h$  - відношення висоти фурми над ванною для даного процесу до висоти фурми над ванною для процесу  $\underline{Q}$ .

На рис.2 приведені значення  $ISCO'$  для різних конвертерних процесів, розраховані за (6). Чим вище значення  $ISCO'$ , тим більше оксидів заліза в шлаці по ходу продувки, чим ширше діапазон зміни  $ISCO'$ , тим більше можливостей для керування процесом.

В доливних процесах ( $\frac{Q}{A}$ ;  $\frac{Q}{B}$ ) вмістом оксидів заліза по ходу продувки керувати неможливо, низькі значення  $ISCO'$  вказують на мінімальний вміст оксидів заліза в шлаці по ходу продувки. В комбінованих процесах ( $\frac{Q}{C \cdot A}$ ) вміст оксидів заліза в шлаці можна змінювати в дуже широких межах, змінюючи частку кисню в дутті, частку доного дуття, висоту фурми над ванною, тобто

Процес	Варіант	$\eta$ ISCO'										
		0,6	0,4	0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	
$B \frac{-}{A}$	$B \frac{-}{A}$	•										некеровані
	$B \frac{-}{A+O}$		•									
	$B \frac{-}{O+N,C}$				•							
$T \frac{-}{A}$	$T \frac{-}{A}$	•										некеровані
	$T \frac{-}{A+O}$		-									
	$T \frac{-}{O+N,C}$				•							
$\frac{O}{[O]}$	$\frac{[O+L]}{[O+L]} \frac{[O+L]}{FP}$					•						погані керув.
$\frac{O}{-}$	$\frac{O}{-} \frac{OP}{-} \frac{O+F}{-} \frac{O+FP}{-}$ $\frac{O+L}{-}$											
$K \frac{[O]}{-}$	$K \frac{[O]}{-}$											добре керувані
$\frac{[O]}{-}$	$\frac{B}{[O,+M,N]}$											
$\frac{O}{N}$	Всі варіанти											добре керувані
$\frac{O}{[O]}$												

Рис.2. Значення ISCO' для різних конвертерних процесів

B,F,K - відповідно бесемерівський, томасівський та Калдо-процеси;

A,O,N,C,N,L,F,D - відповідно повітря, кисень, водяна пара, CO або CO<sub>2</sub>, нейтральні гази, порошкоподібне вапно, паливо (природний газ, мазут), розкислювачі;

знаменники - продувка (подача) зверху, чисельник - продувка знизу;

[ ] - подача реагенту по центральній трубі фурми "труба в трубі";

{ } - збільшення ступеня доналення CO до CO<sub>2</sub> в конвертері;

P - попередній підігрів брухту

використовуючи всі доступні засоби керування. Верхня продувка займає проміжне положення.

Показано, що між значеннями ISCO та вмістом оксидів заліза в шлаці, вмістом марганцю та кисню в металі існує дуже тісний зв'язок (коефіцієнти кореляції (0,74-0,99).

Рівняння (6) дає основу для інженерного розрахунку параметрів комбінованого дуття.

На Єнакіївському металургійному заводі досліджена та впроваджена технологія конвертерної плавки з регламентованою інтенсивністю дуття по ходу продувки. З'ясовано, що при збільшенні інтенсивності дуття в першому періоді продувки частка кисню, що витрачається на окислення кремнію та марганцю, лишається незмінною, а на окислення вуглецю - зростає:

$$\eta_c = 24 i'_{O_2} - 22,3, \quad (7)$$

де  $\eta_c$  - частка кисню, що витрачається на окислення вуглецю, %;  
 $i'_{O_2}$  - інтенсивність дуття в першому періоді продувки, м<sup>3</sup>/т хвил.  
 З використанням (7) визначена можлива інтенсивність дуття та тривалість першого періоду продувки:

$$i'_{O_2} = 0,47 + \sqrt{4,17 i_{O_2} + 0,22} \quad (8)$$

$$\tau = 2,7 + \frac{6,6}{i_{O_2}}, \quad (9)$$

де  $i_{O_2}$  - базова інтенсивність дуття, м<sup>3</sup>/т хвил.

$\tau$  - час першого періоду продувки, хвил.

Підвищення інтенсивності дуття в першому періоді продувки помітно вирівнює швидкість окислення вуглецю по ходу продувки (рис.3), таким чином, хід продувки стає більш стабільним і зменшується можливість викидів, тому регламентований режим дуття слід розглядати не стільки як захід, який дає змогу скоротити тривалість продувки при обмеженій пропускну здатності

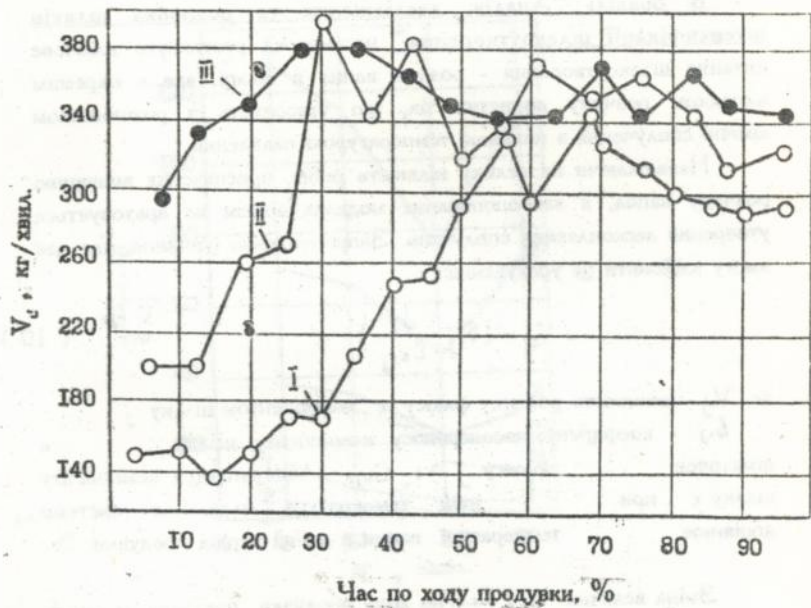


Рис.3. Зміна швидкості окислення вуглецю по ходу продукції при різних дуттьових режимах.

газовідвідного тракту, скільки як необхідний елемент технології конвертерної плавки.

На металургійному комбінаті "Азовсталь" з використанням конструкції наконечника, розрахованого згідно вищеписаної методики (рівняння 1-5), та регламентованої інтенсивності дуття (рівняння 8 та 9) впроваджена технологія конвертерної плавки з максимальною в галузі абсолютною (1375 м<sup>3</sup>/хвил в середньому) та питомою (3,9 м<sup>3</sup>/ хвил.т) інтенсивністю дуття.

В розділі "Аналіз, дослідження та розробка шляхів інтенсифікації шлакоутворення" насамперед розглянуто ключове питання шлакоутворення - розчин вапна в шлаці, яке є окремим випадком розчину пористих тіл, що утворюють з розчинником хімічні сполучення з низькою температурою плавлення.

Незважаючи на велику кількість робіт, присвячених вивченню розчину вапна, в запропонованих моделях зовсім не враховується утворення легкоплавких сполучень. Запропоновано рівняння, яке дає змогу здійснити це урахування:

$$V_{ij} = (b_{ij} \frac{\alpha_i}{C_{kij}}) \quad (10)$$

де  $V_{ij}$  - швидкість розчину флюсу  $i$  компонентом шлаку  $j$  ;  
 $b_{ij}$  - коефіцієнт масопереносу компоненту шлаку  $i$  в шлагочок флюсу  $j$  ;  $C_{kij}$  - концентрація компоненту шлаку  $i$  , при якій температура плавлення системи  $ij$  дорівнює температурі ванни в даний період продувки, %.

Зміна величини  $\alpha_i / C_{kij}$  по ходу продувки показана на рис.4, кожна крива на якому характеризує взаємодію компоненту шлаку та одного з флюсів. На протязі всієї продувки найагресивнішим компонентом шлаку є FeO, вплив MnO в 3-5 разів слабкіший, вплив SiO<sub>2</sub> виявляється через утворення ортосилікату кальцію. До 75% часу продувки швидкість розчинення вапна лімітується швидкістю розчинення ортосилікату, останні 25% часу - розчиненням CaO. Необхідно відмітити, що, якщо швидкість розчинення вапна під впливом FeO різко змінюється по ходу

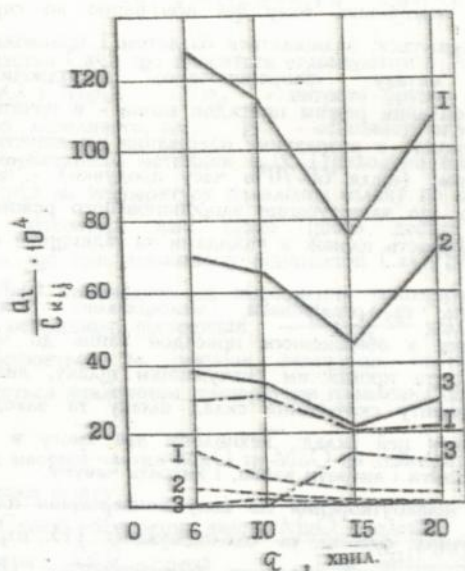


Рис.4. Динаміка взаємодії флюсів з компонентами шлаку ( $\tau$  - час продувки):

1 - CaO; 2 - 2CaO SiO<sub>2</sub>; 3 - MgO;

— взаємодія з FeO;

- - - - - взаємодія з MnO;

— — — — — взаємодія з SiO<sub>2</sub>

продувки, істотно зменшуючись до 75% часу продувки, швидкість розчинення вапна під впливом  $MnO$  по ходу продувки майже не змінюється.

З використанням (10) проаналізовано дані щодо розчинення вапна, отримані різними авторами. Показано, що запропонована модель децю точніше описує процес розчинення вапна.

З даних рис.4 виходить, що присажувати 100% вапна на початку продувки недоцільно, тому що все вапно до середини продувки не розчинюється, залишається баластом і призводить до переохолодження металу. Запропоновано, досліджено та впроваджено раціональний режим присадок вапна - в початковому періоді його присажуєть з розрахунку одержання основності 2-2,5 од., а в заключному (після 60-70% часу продувки) - останню частину. Показано, що застосування запропонованого режиму дає змогу зменшити кількість плавок з викидами та підвищити ступінь засвоєння вапна.

Запропонована та реалізована "малошлакова" технологія конвертерної плавки з обмеженням присадок вапна до моменту видалення кремнію та проміжним скачуванням шлаку, визначено необхідний до моменту скачування склад шлаку та заходи, які дозволяють отримати цей склад. Технологія дає змогу в умовах дефіциту вапна знизити і витрати вапна, і витрати чавуну.

Досліджено шлакоутворення по ходу конвертерної плавки з використанням різних флюсів та охолоджувачів (13 варіантів). Запропоновано комплексний показник шлакоутворення (КПШ), який дозволяє об'єктивно оцінити ефективність застосування того чи іншого матеріалу:

$$КПШ = \frac{Fe_2O_3' + L_p' + L_s' + B'}{FeO}, \quad (II)$$

де  $Fe_2O_3'$ ,  $L_p'$ ,  $L_s'$ ,  $B'$  і  $FeO$  - відповідно індекси, що характеризують рівень величини ( $Fe_2O_3$ ),  $L_p$ ,  $L_s$ ,  $B$  і  $(FeO)$  по ходу продувки.

Найвищий КПШ отримано при використанні агломерату основністю 7 од. ід час роботи без брухту - максимальні по ходу

продувки значення основності шлаку (більш 2,4 од. вже при вмісті вуглецю 3,4%), величин  $L_r$  і  $L_s$  та вмісту  $Fe_2O_3$  при мінімальних значеннях  $FeO$  (3,2-4,5% до вмісту вуглецю 0,6% і 8,8% в кінці продувки) - ідеальний хід шлакоутворення.

Установлена залежність, яка дає змогу визначити потрібну основність агломерату:

$$\eta_{CaO} = (12,3 - 6,7 \eta_A - 5,6 \eta_A^2) B, \quad (12)$$

де  $\eta_{CaO}$  - частка  $CaO$ , що вноситься агломератом в % від загальної витрати  $CaO$  і  $MgO$ ;  $\eta_A$  - витрата брукту в частках від максимально можливого, од.;  $B$  - основність агломерату, од.

З використанням методики Е.В. Приходько визначено вплив  $MgO$  та  $MnO$  на температуру плавлення шлаку по ходу продувки. Існуючі в літературі дані щодо цього досить суперечливі. Установлено, що при незмінному відношенні  $CaO/SiO_2$  додаткове введення  $MgO$  призводить до підвищення температури плавлення шлаку, при незмінному відношенні  $\frac{CaO+MgO}{SiO_2}$  збільшення вмісту  $MgO$  здійснюється за рахунок заміщення частини  $CaO$  та супроводжується зниженням температури плавлення шлаку (табл.1).

Таблиця 1

Вплив масової частки  $MgO$  та  $MnO$  на температуру плавлення шлаку

Час продувки	Спосіб збільшення вмісту $MgO$ в шлаці					
	при $\frac{CaO}{SiO_2} = const$			при $\frac{CaO+MgO}{SiO_2} = const$		
%	$\frac{CaO}{SiO_2}$	$\frac{\Delta t_{пл} \text{ } ^\circ C}{\Delta MnO} \%$	$\frac{\Delta t_{пл} \text{ } ^\circ C}{\Delta MgO} \%$	$\frac{CaO+MgO}{SiO_2}$	$\frac{\Delta t_{пл} \text{ } ^\circ C}{\Delta MnO} \%$	$\frac{\Delta t_{пл} \text{ } ^\circ C}{\Delta MgO} \%$
20	1,1	-3,8	+1,6	1,1	-3,5	-2,1
40	1,3	-3,4	+1,7	1,3	-1,3	-2,5
60	1,7	-3,9	+1,9	1,7	-4,3	-2,7
80	2,8	-5,1	+0,3	2,8	-4,7	-2,1
100	3,4	-4,3	+0,6	3,4	-4,3	-2,3

Про розріджувальний вплив MgO в тому випадку, коли MgO заміщує частину CaO, свідчать приведені нижче залежності:

Вміст С в метали, %	Рівняння зв'язку	Коефіцієнт кореляції	Підприємство	
3,8 + 0,2	(FeO)=11,3-0,66(MgO)	-0,66	Єнакіївський металургійний завод	(13)
2,8 + 0,2	(FeO)=12,3-1,3(MgO)	-0,91	" "	(14)
2,0 + 0,2	(FeO)=8,6-0,45(MgO)	-0,89	" "	(15)
0,45+ 0,2	(FeO)=11,0-0,57(MgO)	-0,65	" "	(16)
0,08	(FeO)=16,5-0,27(MgO)	-0,92	Комбінат "Азовсталь"	(17)
0,06	(FeO)=19,8-0,45(MgO)	-0,96	" "	(18)

Конвертерний процес схиляється до "самовирівнювання", тому цілком закономірне зниження вмісту FeO при введенні у шлак іншого розріджувача.

З використанням методу еволюційного планування визначено вплив витрати вапна та плавикового шпату на показники плавки: знос футеровки, ступінь видалення сірки, вміст незасвоєного вапна та сумарна вартість вапна, шпату та футеровки, які витрачаються на плавку, що дає змогу визначити зону оптимальної витрати вапна та шпату.

Зниження температури плавлення шлаку (  $t$ , °C) за рахунок MnO при різному вмісті марганцю в чавуні:

	початок продувки	кінець продувки
при Mn чав = 1,0%	58	26
0,64	45	20
0,37	24	14
0,2	21	10

Найсильніше проявляється вплив вмісту марганцю в чавуні на початку продувки - зниження вмісту марганцю з 1,0 до 0,2% призводить до підвищення температури плавлення шлаку на 37 C, в кінці продувки - усього на 16%. Тому введення MgO-вмістних

флюсів є доцільним на початку продувки, розрахунки показують, що зниження вмісту Mn в чавуні з 0,6 до 0,2% можна компенсувати введенням близько 10% MgO в первинному шлаці.

Введення MgO в шлак в сполученні з раціональним дуттьовим режимом та питомим обсягом конвертера 0,8-1,0 м<sup>3</sup>/т дало змогу впровадити без особливих ускладнень технологію переділу чавуну з 0,07-0,2% Mn на металургійному комбінаті "Азовсталь". При цьому не спостерігалось підвищення вмісту оксидів заліза в шлаці та збільшення витрати металоліхти, а також збільшення викидів.

Хоча в цілому в масштабі галузі зниження вмісту марганцю в чавуні економічно вигідне і супроводжується зниженням безповоротних витрат марганцю, в конвертерному виробництві існують деякі негативні наслідки: збільшення витрат марганцевих сплавів, вмісту сірки в сталі, частки чавуну в шихті.

В конвертерному цеху ДМК ім. Дзержинського освоєна і впроваджена технологія виробництва рейкової сталі з зупинкою на заданому вмісті вуглецю при переділі чавуну з 0,07% Mn. Технологія забезпечила приблизно однакову з технологією виробництва низьковуглецевої сталі основність кінцевого шлаку при меншому вмісті FeO, більш високий коефіцієнт розподілу сірки та припустимий ступінь дефосфорації.

В лабораторних умовах вивчалася взаємодія конвертерного шлаку різного складу зі зразками конвертерних вогнетривів на вуглецевому зв'язку. В результаті одержано рівняння:

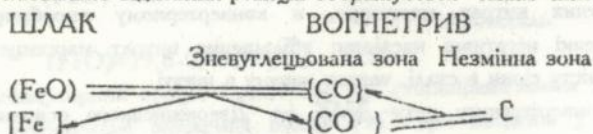
$$V = (55,2 - 7,9t \cdot 10^{-2} + 2,9t^2 \cdot 10^{-5})(5\alpha_{\text{FeO}} + 0,15\alpha_{\text{MnO}} + 0,5\alpha_{\text{SiO}_2}) \cdot 10^{-2}, \quad (19)$$

де V - швидкість розчинення вогнетрива в шлаці, г/см<sup>2</sup>.с.

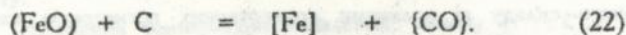
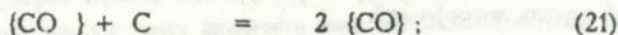
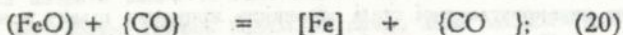
З (19) виходить, що знос футеровки в основному залежить від активності FeO в шлаці та температури. Швидкість зносу вогнетрива в расплавленому FeO складала 0,33г/см<sup>2</sup>.с (причому розчинення йшло бурхливо з викидами, залишок зразка після закінчення досліду був оточений шаром губчастого заліза), швидкість зносу такого ж зразка в в шлаці з 65% SiO<sub>2</sub>, 18%

CaO, 17% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> складала 0,34.10<sup>3</sup> г/см<sup>2</sup>.с, тобто на 2 порядки нижче.

Енергія активації процесу взаємодії шлаку та футеровки дорівнювала 210 кДж/моль. Відомо, що при відновленні оксидів різних металів твердим вуглецем швидкість процесів лімітується однією і тією ж реакцією - взаємодією діоксиду вуглецю з вуглецем, енергія активації такої взаємодії складає 176-218 кДж/моль. Отримані значення енергії активації процесу розчинення вогнетрива дозволяють запропонувати висновок, що швидкість цього процесу також лімітується реакцією газифікації вуглецю зв'язку. Схема окислювально-відновних реакцій зображується таким чином:



і відбувається в такій послідовності:



Взаємодія оксиду заліза шлаку з вуглецем зв'язку здійснюється з участю газової фази, тиск якої перешкоджає проникненню шлаку в зневуґлецьовану зону. В міру газифікації вуглецю товщина зневуґлецьованої зони збільшується, що призводить до зниження тиску газової фази, проникненню шлаку і розчиненню зневуґлецьованої зони. Таким чином, відбувається безперервне просування зневуґлецьованої зони вглиб цегли та знос футеровки.

Дослідження зразків поверхневого шару футеровки, що відбиралася по ходу продувки, показують таке: утворення півок двокальцієвого силікату на поверхні футеровки спостерігається до

40% часу продувки, в поверхневому шарі футеровки виявлено тільки один легкоплавкий мінерал - ферити кальцію; кристали периклазу переходять у шлак зі зневульфурованої зони, як правило, в нерозв'язаному стані; на поверхні футеровки аж до 40% часу продувки зберігається шлаковий гарнісаж, який створюється на попередній плавці після зупинки продувки під час поворотів конвертера, частина футеровки ( в тому числі в зоні цапф) при цьому не змочується шлаком, залишається незахищеною шлаковим гарнісажем і тому зношується швидче.

Проведено масштабне вивчення впливу різних факторів на знос футеровки по ходу продувки. Установлено, наприклад, що активність  $FeO$  ( $\alpha_{FeO}$ ) шлаку на 5-й хвилині продувки найсильніше впливає на знос футеровки на 11-15-й хвилині продувки, а  $\alpha_{FeO}$  шлаку 10-ї хвилині продувки найсильніше впливає на знос футеровки на 11-15-й хвилині продувки, вплив  $\alpha_{FeO}$  на 15-й, 20-й та 25-й хвилинах продувки виявляється безпосередньо на цих хвилинах, на дальших періодах цей вплив послабляється.

Показано, що вплив більшості технологічних параметрів (вміст марганцю та кремнію в чавуні,  $MnO$  в шлаці, основність шлаку тощо) відбивається на зносі футеровки в тій мірі, в якій вони зв'язані зі зміною  $\alpha_{FeO}$  та температури по ходу продувки.

Розглянемо цю тезу на прикладі основності шлаку. З практики добре відомо, що збільшення основності шлаку понад 3 од. сиріятливо відбивається на підвищенні стійкості футеровки; між тим, здавалося б, що збільшення основності понад 2 од. не потрібне - при такій основності увесь кремнізем шлаку зв'язаний в ортосилікати і не може негативно впливати на знос футеровки. Ця уявна невідповідність усувається при аналізі впливу основності на  $\alpha_{FeO}$ . З табл.2. виходить, що на всьому протязі плавки підвищення  $B$  приводить до зменшення  $\alpha_{FeO}$ .

Таблиця 2

Залежність активності оксиду заліза шлаку від основності шлаку та вмісту FeO в ньому

№ рівня	Ємність конвертера, т	Середній вміст вуглецю, %	Рівняння зв'язку	Кореляційне відношення
(23)	50	4,01	$a_{FeO} = 0,15 - 0,026B + 0,012(FeO)$	0,93
(24)	130	3,97	$a_{FeO} = 0,21 - 0,028B + 0,012(FeO)$	0,93
(25)	130	3,42	$a_{FeO} = 0,18 - 0,020B + 0,011(FeO)$	0,95
(26)	350	3,0	$a_{FeO} = 0,46 - 0,03B + 0,010(FeO)$	0,57
(27)	130	2,49	$a_{FeO} = 0,21 - 0,03B + 0,011(FeO)$	0,95
(28)	50	2,41	$a_{FeO} = 0,08 - 0,022B + 0,014(FeO)$	0,96
(29)	130	1,51	$a_{FeO} = 0,16 - 0,022B + 0,013(FeO)$	0,96
(30)	130	0,59	$a_{FeO} = 0,16 - 0,017B + 0,010(FeO)$	0,94
(31)	130	0,19	$a_{FeO} = 0,14 - 0,0014B + 0,008(FeO)$	0,93
(32)	50	0,16	$a_{FeO} = 0,12 - 0,007B + 0,006(FeO)$	0,78
(33)			$a_{FeO} = 0,32 - 0,03B + 0,0062(FeO)$	0,85
(34)	350	0,04	$a_{FeO} = 0,31 - 0,037B + 0,011(FeO)$	0,93
(35)	0,3	0,03	$a_{FeO} = 0,26 - 0,048B + 0,013(FeO)$	0,88

Рівняння (33) одержано по даним А.М. Бігеєва, інші - по даним автора.

Вище сказано, що зерна периклазу переходять з футеровки у шлак, як правило, в нерозчиненому стані, тому на перший погляд збільшення стійкості футеровки при введенні MgO в шлак незрозуміле. Але, як показано вище (рівняння 12-18), введення MgO супроводжується зниженням вмісту FeO в шлаці. Використання доломітизованого вагня в конвертерах Єнаківського заводу привело до зниження на 17%  $a_{FeO}$  в шлаці по ходу продувки, на таку ж величину підвищилася стійкість футеровки.

При використанні легковагого брукту, як правило, вміст та активність FeO в шлаці вище, ніж при важкому брукті, тому футеровка при легковагому брукті зношується скоріше.

Хід шлакоутворення при використанні агломерату основністю 7 од. названо ідеальним - максимальні значення  $B$ ,  $L$ ,  $L_1$ , та  $Fe_2O_3$  по ходу продувки при мінімальних значеннях FeO.

На рис.5 показано зміну  $\alpha_{FeO}$  та знос футеровки по ходу плавки з використанням агломерату основністю 7 од. в порівнянні зі звичайною технологією. З рис.5 виходить, що середньозважене значення  $\alpha_{FeO}$  при агломераті дорівнює 0,115, при звичайній технології - 0,235, тобто в два рази вище, в два рази вище і знос футеровки - 300 кг MgO проти 160 кг.

В 4-ому розділі "Дослідження шляхів зниження шкідливих домішок та газів в сталі і розробка нових технологій виробництва якісних сталей" приведені результати досліджень впливу різних факторів на поведінку сірки та фосфору по ходу продувки. За зміною вмісту сірки плавку можна розбити на 3 періоди - з початку до 40% - зниження  $S$ , від 40 до 60% - ресульфуріяція, яка спостерігається і на плавках без використання металобрухту і, нарешті, від 60% до кінця продувки - десульфуріяція. На всьому протязі продувки збільшення вмісту марганцю приводить до збільшення коефіцієнту розподілу сірки -  $L_S$ . Підвищення температури до 60% часу продувки призводить до зниження  $L_S$ , а в заключний період (80% і до кінця) - до підвищення  $L_S$ . Підвищення  $FeO$  до 40% часу продувки приводить до зниження  $L_S$ , а починаючи з 60% часу продувки і до кінця - до підвищення  $L_S$ . Для кожного часу продувки існує своя точно визначена оптимальна основність шлаку; зниження або підвищення основності шлаку понад оптимальну приводить до зниження  $L_S$ .

Основна частина фосфору  $\sim 70\%$  виводиться в перші 40% часу продувки, далі вміст фосфору майже не змінюється і тільки в кінці продувки вміст фосфору знову починає знижуватись. На всьому протязі продувки підвищення вмісту  $FeO$  призводить до збільшення  $L_P$ . Практично на всьому протязі продувки зниження температури приводить до підвищення  $L_P$ , найпомітнішого в кінці продувки. Як і для  $L_S$ , для  $L_P$  в кожному періоді продувки є своя точно визначена оптимальна основність шлаку. Величини оптимальних значень  $B$  для  $L_S$  і  $L_P$  збігаються. Для  $L_P$  існує оптимальне значення комплексного показника  $\frac{(FeO)(CaO)}{t}$ .

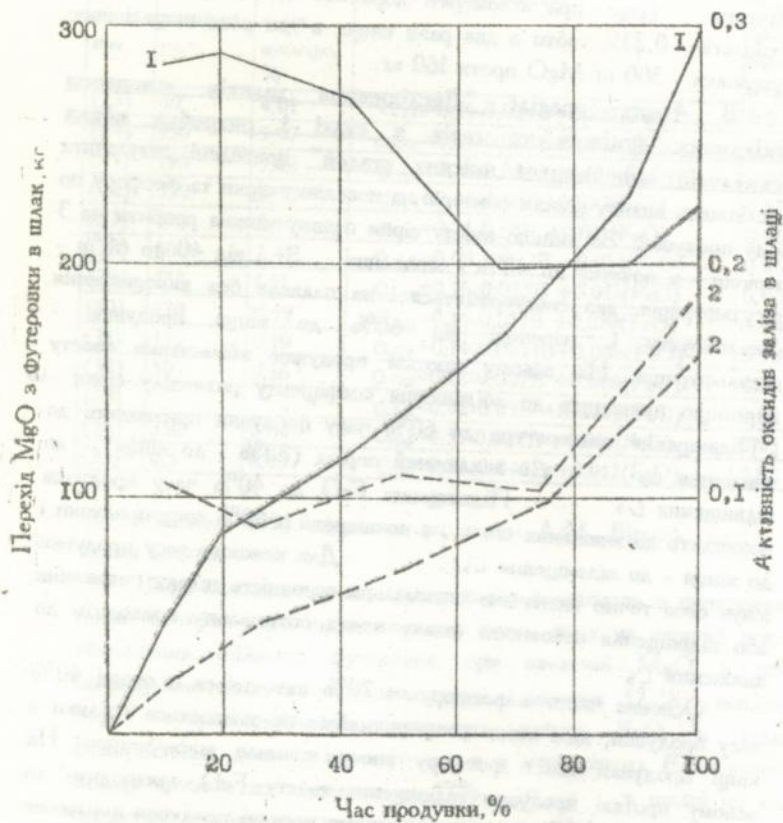


Рис.5. Знос футеровки при охолодженні плавки легковуглим брухтом і рудою (1) та агломератом основністю 7 од. (2).

незалежно від часу продувки це значення дорівнює  $0,35-0,38\% \text{ }^2 / \text{ }^\circ\text{C}$ .

Здійснено вивчення поведінки кисню, азоту та водню по всьому циклу виробництва рідкого металу - від конвертера до безперервного розливу.

В лабораторних конвертерах розроблена та досліджена технологія конвертерної плавки з додувкою через верхню фурму азотом, аргоном, CO з метою виробництва металу з низьким вмістом вуглецю.

На рис.6 показано ступінь видалення вуглецю при додувці різними газами починаючи з його початкового вмісту перед додувкою. Найнижчий вміст вуглецю -  $0,008\%$  одержано при додувці зверху і знизу азотом (аргоном), потім -  $0,014\%$  - при додувці азотом (аргоном),  $0,02\%$  при додувці киснем,  $0,025\%$  - при додувці CO. Криві рис.6 описуються рівняннями:

$$\text{додувка киснем} \quad \frac{\Delta[C]}{[C]} \cdot 100\% = 99,7 - \frac{2,04}{[C]}; \quad z = -0,97; \quad (36)$$

$$\text{додувка азотом (аргоном)} \quad \frac{\Delta[C]}{[C]} \cdot 100\% = 56,5 - \frac{0,8}{[C]}; \quad z = -0,6; \quad (37)$$

$$\text{додувка CO} \quad \frac{\Delta[C]}{[C]} \cdot 100\% = 65,3 - \frac{1,6}{[C]}; \quad z = 0,86; \quad (38)$$

$$\text{додувка азотом (аргоном)} \quad \frac{\Delta[C]}{[C]} \cdot 100\% = 55,6 - \frac{0,45}{[C]}; \quad z = -0,74. \quad (39)$$

зверху і знизу:

При додувці кисельневмістними газами вміст кисню в металі значно нижчий, ніж при додувці киснем:

$$[O]^{\Phi} = 0,017 + 0,34[O]^c + 0,1[O]^w; \quad \eta = 0,89; \quad \text{додувка (40)} \\ \text{киснем}$$

$$[O]^{\Phi} = 0,02 + 0,7[O]^c - 0,1[O]^w; \quad \eta = 0,77; \quad \text{азот (41)} \\ \text{(аргон)}$$

$$[O]^{\Phi} = 0,021 + 0,42[O]^c - 0,09[O]^w; \quad \eta = 0,99; \quad \text{CO (42)}$$

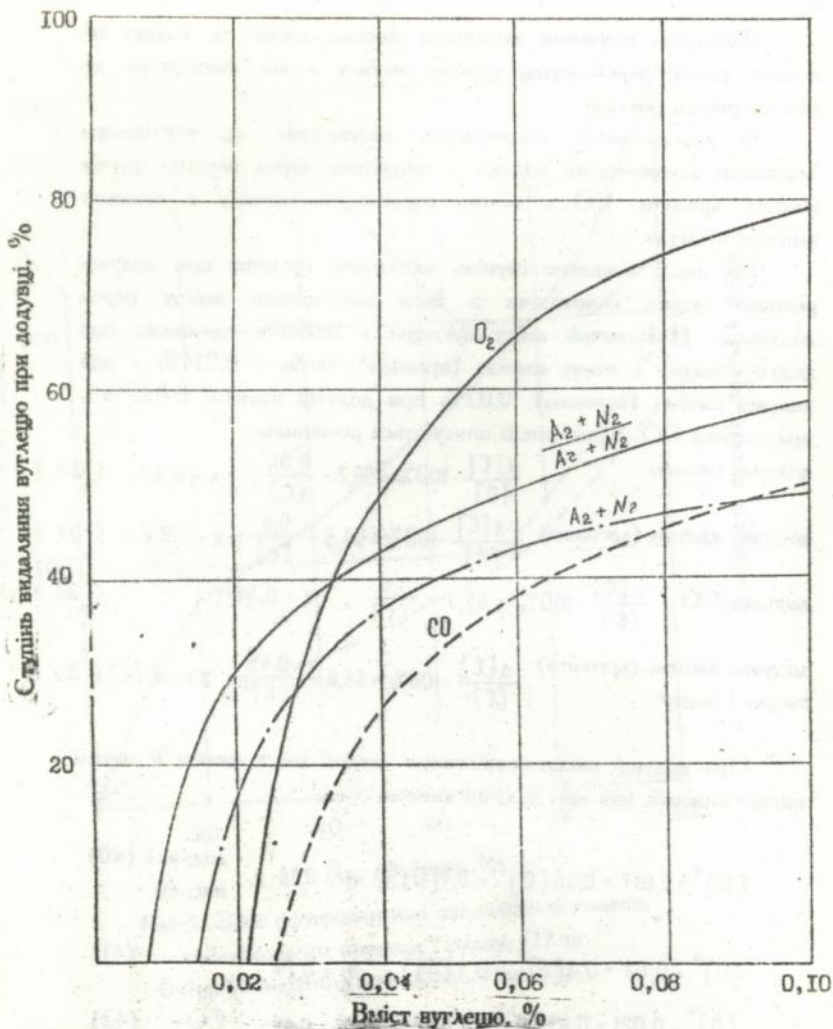


Рис.6. Залежність ступеня видаляння вуглецю від його вихідного вмісту при додувці зверху киснем (O), оксидом вуглецю (CO), аргоном та азотом ( $Ar + N_2$ ) та додувці його зверху і знизу аргоном і азотом ( $\frac{Ar + N_2}{Ar + N_2}$ ).

де  $[O]^f$ ,  $[O]^c$ ,  $[O]^w$  - відповідно фактичний, рівноважний з вуглецем і шлаком вміст кисню.

При 0,020% вуглецю вміст кисню при додувці киснем, Со, азотом (аргоном) складає відповідно 0,107%, 0,067%, 0,059% .

Якщо при вмісті вуглецю більші: 0,05% фактичний вміст кисню дорівнює приблизно підсуми  $[O]^c$  і  $[O]^w$  , то при вмісті вуглецю нижче 0,05% залежності якісно змінюються. Очевидно, справа в тому, що 0 в рівняннях (40-42) розраховано при  $P_{CO} = 1$ , а при додувці азотом і аргоном  $P_{CO}$  завідомо не дорівнює одиниці, те ж саме можна стверджувати і у випадку додувки киснем при  $C < 0,05\%$ .

Лише при додувці СО парціальний тиск СО дорівнює близько одиниці і кореляційне відношення залежності (42) близько одиниці.

Звертають на себе увагу негативні значення коефіцієнтів при  $[O]^w$  в (41, 42), виходить, що при додувці азотом (аргоном) і СО чим вище  $[O]^w$ , тим нижче  $[O]^f$ , що на перший погляд суперечить логіці. Однак, відповідь дають залежності:

$$[O]^w = 0,115 - 0,17 [C]; \quad z = -0,8; \quad \text{додувка (43)} \\ \text{киснем}$$

$$[O]^w = 0,058 + 0,43 [C]; \quad z = 0,4; \quad \text{азот (44)} \\ \text{(аргон)}$$

$$[O]^w = 0,031 + 0,22 [C]; \quad z = 0,35. \quad \text{СО (45)}$$

У випадку додувки кисеньневмістними газами досягнення дуже низьких концентрацій вуглецю можливе при максимальному використанні оксидів заліза на його окислення, тобто чим меншого вмісту вуглецю досягнуто, тим більше витрачено оксидів заліза, тим менше їх залишилося в шлаці.

В таблиці 3 показано зміну показників плавки при додувці різними газами. При додувці киснем вміст FeO в шлаці підвищується на 18,2%, втрати заліза зі шлаком - на 32,6 кг/т сталі, при додувці кисеньневмістними газами вміст FeO в шлаці знижується на 0,8-1,2%, а втрати заліза зі шлаком - на 2,3-4,1 кг/т сталі.

Таблиця 3

Зміна показників плавки при додувці різними газами

Зміна* параметрів при додувці	Одиниця виміру	Додувка киснем	Додувка CO	Додувка аргоном і азотом
1	2	3	4	5
Вміст FeO в шлаку	%	+18,2(2,5)**	-1,2(3,1)	-0,8(1,0)
Вміст Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в шлаку	%	+6,0(1,4)	-0,8(1,3)	-1,0(1,7)
Вміст MnO в шлаку	%	-0,5(0,3)	0(0,3)	0(0,4)
Основність шлаку	од.	+2,0(1,0)	-0,2(0,8)	-0,2(0,4)
Коефіцієнт розподілу фосфору	од.	-21,7(15,4)	+54,8(41,7)	+85,8(51, 6)
Коефіцієнт розподілу сірки	од.	+5,2(4,2)	+3,4(3,7)	+0,5(1,2)
Втрати заліза зі шлаком	кг/т сталі	+32,6(6,0)	-4,1(2,8)	-2,3(2,0)
Вміст кисню	%	+0,035(0,014)	-0,01(0,014)	0(0,01)
Вміст азоту	%·10	+1,6(0,6)	+0,02(0,3)	+0,018(0, 018)
Вміст водню	см <sup>3</sup> /100г	1,6(0,86)	+1,1(0,22)	+0,4(0,7)

\* + - збільшення, - - зменшення при додувці.

\*\* - цифри в дужках - середньоквадратичне відхилення

При додувці киснем помітно зменшується вміст сірки, фосфору - зменшується незначно, при додувці кисеньневмістними газами фосфор видаляється легко, сірка - мало.

Дуже цікавий той факт, що при додувці азотом не відбувається підвищення азоту в металі, цей факт підтверджено і в промислових конвертерах ємністю 250 т.

До теперішнього часу вирішено проблеми видаляння сірки з чавуну і сталі. Перед конвертером залишились завдання видаляння

вуглецю та підвищення температури, які можуть бути виоішені і у конвертері з кислою футеровкою. Ці міркування стали основою для розробки та досліджень кислого конвертерного процесу, перша стадія яких була виконана в лабораторних конвертерах Інституту чорної металургії.

Установлено, що окислення вуглецю в кислому процесі (КП) іде більш інтенсивно і в значно більшій мірі, ніж в основному процесі (ОП), залежить від маси присаджуваних залізоокисних охолоджувачів, що зв'язано зі значно меншою кількістю шлаку.

На відміну від ОП, де кремній окислюється практично повністю вже в період 20-40% часу продувки, решта вмісту кремнію в КП не опускається нижче 0,02%, а в останній період продувки спостерігається навіть деяке відновлення кремнію (рис.7).

На всьому протязі продувки вміст марганцю в металі в КП нижче, ніж в ОП - в кислих шлаках, в яких оксиди марганцю міцно зв'язані в силікати, константа реакції окислення марганцю в 3-4 рази вище, ніж в основних.

Активність оксиду заліза в шлаці КП практично в 2 рази нижче, ніж в шлаці ОП. Ця обставина поряд з більш високим вмістом кремнію в металі пояснює той факт, що вміст кисню в металі КП в 1,5-2 рази нижче, ніж в металі ОП.

В зв'язку з більш низькою азото- та водневопроникністю кислих шлаків вміст азоту та водню в металі КП в 1,5-2 рази нижче, ніж в металі ОП.

Механічні властивості сталі досліджені на листах товщиною 50 і 12 мм, прокатаних на стані 400 (ступінь обтиску відповідно 23 і 81%). Хімічний склад кислого та основного металу відповідає сталі марки Зсп. Міцнісні властивості кислого металу децю нижчі, ніж основного, що очевидно зв'язано з більш низьким вмістом азоту, ударна в'язкість при 20 С в 1,2-1,6 разу, а при -20 С в 2,1-3,7 разу вище, анізотропія ударної в'язкості нижче (табл.4).

Слід відмітити, що приведені результати одержані при вмісті фосфору 0,06-0,08% в кислому металі і 0,007-0,012% в основному.

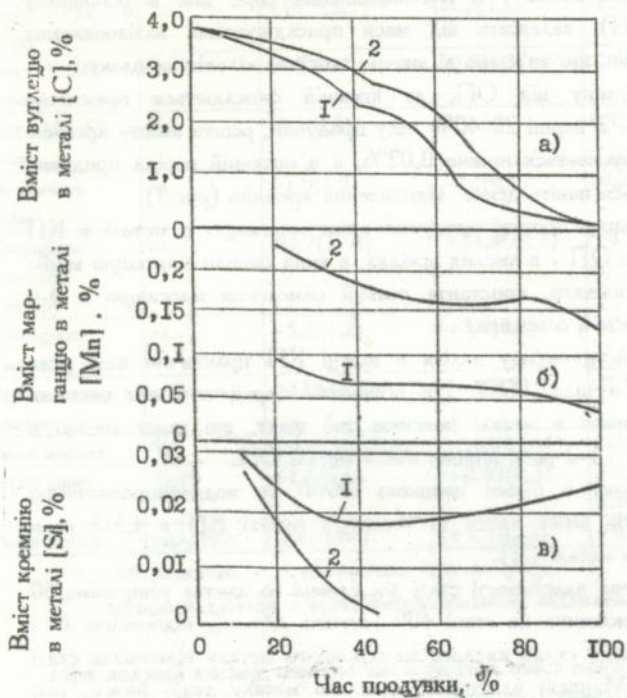


Рис. 7. Зміна вмісту вуглецю (а), марганцю (б) та кремнію (в) в металі в залежності від часу продувки

1 - кислий процес;

2 - основний процес.

Таблиця 4

Зіставлення ударної в'язкості (KCV) кислого та основного металу

Товщина на листа, мм	Відношення KCV кислого металу до KCV основного металу			Відношення анізотропії за KCV кислого металу до анізотропії за KCV основного металу		
	Напрямок відносно прокатки	Тем-ра випробувань, С, +20	Тем-ра випробувань, С, -20	Напрямок відносно прокатки	Тем-ра випробувань, С, +20	Тем-ра випробувань, С, -20
50	повздожний	1,2	2,1	повздожний /поперечний	0,82	0,57
50	поперечний	1,5	3,7	повздожний /торцевий	0,78	0,78
50	торцевий	1,6	2,7	повздожний /торцевий	0,78	0,78
12	повздожний	1,2	1,4	повздожний /поперечний	0,93	0,88
12	поперечний	1,2	1,6			

Досліджено 4 види вогнетривів для КП. Установлено, що максимальну стійкість має спробний динас, розроблений Укр НДІВ\*. Для забезпечення стійкості кислих вогнетривів на рівні основних необхідно зниження температури випуску металу, що потребує установки в цеху агрегатів піч-ківш. Слід відмітити, що запаси кварцитів - сировини для виробництва динасу, на Україні практично необмежені.

При заміні основного процесу кислим витрата чавуну може бути знизена на 115 кг/т сталі при збільшенні витрати брукхту на 85 кг/т сталі, витрата металопилки в цілому скорочується на 30 кг/т сталі, вапна - на 60-70 кг/т, кисню - на 6 м<sup>3</sup>/т, вихід шлаку зменшується на 90 кг/т, вихід газу - на 15 м<sup>3</sup>/т.

Розроблено кризу техніко-економічну модель виробництва рідкого металу, яка включає технології доменної та конвертерної плавки, позапечної обробки чавуну та сталі.

\* Під керівництвом к.т.н. Дрозда В.І.

## ВИСНОВКИ

Виходячи з того, що практично всі показники конвертерного процесу в тій чи іншій мірі залежать від вмісту оксидів в шлаці, з цієї точки зору проаналізовано різні аспекти технології конвертерної плавки, внаслідок чого подальший розвиток набула теорія та технологія конвертерного процесу.

1. Проведено теоретичний аналіз впливу втрати кисню і висоти фурми над ванною на питомий тиск струменя на ванну, визначаючий співвідношення швидкостей окислення вуглецю та заліза, в результаті виведено теоретичне рівняння для визначення оптимальної висоти фурми над ванною за основний час продувки.

2. Виведено теоретичне рівняння для визначення кута розкриття сопла, яке дає змогу отримати максимальну далекобійність струменя та емпіричний вираз для визначення числа сопел у фурмі та кута нахилу осі до вертикалі, що дозволило розробити типову методику розрахунку кисневих фурм.

3. Удосконалено критерій дуттьового режиму, який включає висоту фурми над ванною, інтенсивність верхнього і донного дуття, частку кисню у дутті, показано тісний зв'язок запропонованого критерію з вмістом оксидів заліза в шлаці, кисню і марганцю в металі. Критерій - математичний вираз "керованості" процесу дає змогу здійснити інженерні розрахунки параметрів різних конвертерних процесів.

4. Розроблена та впроваджена технологія конвертерного процесу з регламентованою по ходу продувки зміною інтенсивності дуття. Показано, що такий режим не тільки дозволяє вирішити завдання скорочення тривалості продувки при обмеженій пропускній спроможності газовідвідного тракту, але є найкращим і з суто технічного погляду. Виведено рівняння для визначення параметрів регламентованого режиму.

5. З використанням виведених раніше теоретичних положень та емпіричних закономірностей розроблено та впроваджено на 350-тонних конвертерах дуттьовий режим з максимальної в галузі абсолютною та питомою інтенсивністю продувки.

6. Запропоновано теоретичне рівняння, яке враховує температуру плавлення сполучень, що утворюються при розчиненні твердих пористих тіл в багатокомпонентних розплавах; з використанням цього рівняння проаналізовано дані промислових та лабораторних досліджень розчинення вапна по ходу конвертерної плавки. Показано, що використання цього рівняння дає змогу точніше описувати процес розчинення вапна. Відповідно рівнянню та даним промислових плавок максимальна швидкість розчинення вапна спостерігається на початку та в кінці продувки, а в середині її падає практично до нуля, причому найагресивнішим компонентом шлаку є  $FeO$ , тоді як вплив  $MnO$  в 3-5 разів слабкіший.

7. Виходячи з установлених закономірностей зміни швидкості розчинення вапна по ходу продувки, запропоновано та реалізовано раціональний режим присадки вапна; в початковому періоді присаджується вапно з розрахунку одержання основності 2-2,5 од., в заключному (після 60-70% часу продувки) - решта. Показано, що використання запропонованого режиму дозволяє зменшити кількість плавок з викидами та підвищити ступінь засвоєння вапна.

8. Для конвертерних цехів з дефіцитом вапна розроблено та впроваджено малошлаковий конвертерний процес зі значним зменшенням кількості присаджуваного вапна та проміжним скачуванням кислого шлаку. Впровадження технології дає змогу збільшити частку брухту в шихті на 2-5% (абс.), знизити витрату вапна на 4т/т кремнійю чавуну при однаковій або децю вищій основності кінцевого шлаку та однаковому вмісті  $FeO$  в ньому. Вихід шлаку скорочується приблизно на 30%, а втрати заліза зі шлаком - на 5-6 кг/т сталі.

9. Проведено масштабне вивчення шлакоутворення при використанні в конвертерній плавці різних флюсів та охолоджувачів (всього 13 варіантів). Для оцінки шлакоутворення запропоновано комплексний показник - КГПШ, який являє собою частку від ділення суми індексів, що характеризують рівень основності шлаку, коефіцієнтів розподілу сірки і фосфору та вмісту  $Fe_2O_3$  в шлаці, на індекс, характеризуючий вміст  $FeO$  в шлаці. Найвищі значення КГПШ одержані на плавках з використанням високоосновних

агломератів без вживання металобрухту, найнижчі - з присадкою  $Al_2O_3$ , при охолодженні брухтом та низькоосновним агломератом або залізорудними обкатишами, присадкою твердого мартенівського шлаку та при складанні частини кінцевого конвертерного шлаку. Використання агломерату основністю 7 од. дає змогу вже при вмісті вуглецю 3,5% мати основність шлаку 2,35 од., а далі - більш 3-х од. при максимальних значеннях коефіцієнтів розподілу сірки і фосфору та вмісту  $Fe_2O_3$  в шлаці і мінімальному вмісту  $FeO$  в шлаці - в середньому 4,7%.

Розроблена та реалізована методика використання еволюційного планування для визначення оптимальних витрат вапна та плавикового шпату на плавку.

10. Розроблена та впроваджена технологія переділу низькомарганцевистого ( $Mn < 0,20\%$ ) чавуну. Установлено, що заміна частини  $CaO$  на  $MgO$  спроможна компенсувати зменшення вмісту  $MnO$  при зниженні вмісту марганцю в чавуні. На всьому протязі продувки підвищення вмісту  $MgO$  супроводжується зниженням вмісту  $FeO$  в шлаці. Показано, що зниження вмісту марганцю повинне супроводжуватися зниженням вмісту кремнію в чавуні.

Розроблена та впроваджена технологія виробництва рейкової сталі з зупинкою на заданому вмісті вуглецю при переділі низькомарганцевистого чавуну, яка відзначається розосередженою присадкою вапна до 7-ї хвилини продувки, присадкою плавикового шпату 20% - на 2-й хвилині продувки, 30% - на 6-й хвилині, 50% - за 2-3 хвилини до кінця продувки (сумарна витрата шпату - 4-7 кг/т сталі), періодичними підйомами фурми та обмеженням швидкості повороту конвертера після закінчення продувки. Технологія забезпечила приблизно однакову з технологією виробництва низьковуглецевого металу основність кінцевого шлаку, вищий коефіцієнт розподілу сірки та припустимий ступінь дефосфорації при меншому вмісті  $FeO$ .

11. Проведено масштабне використання взаємодії шлаку і футеровки. В ході лабораторних експериментів встановлено механізм такої взаємодії. Відомо, що оброблена цегла на вуглецевому зв'язку

складається з трьох зон: офлюсованої, зневуглецьованої, з яку не проникнув шлак, та незміненої. Взаємодія оксидів шлаку з вуглицем зв'язку відбувається через газову фазу ( $\text{CO}$  і  $\text{CO}_2$ ), тиск якої перешкоджає проникненню шлаку в зневуглецьовану зону; швидкість зносу футеровки визначається швидкістю реакції газифікації вуглицю.

Показано, що більшість технологічних факторів конвертерної плавки в тій мірі впливає на швидкість зносу футеровки, в якій вони зв'язані зі зміною активності оксиду заліза в шлаці та температури ванни по ходу продувки.

12. Проведено дослідження впливу різних технологічних факторів на коефіцієнт розподілу сірки і фосфору по ходу конвертерної плавки. На всьому протязі плавки збільшення вмісту марганцю в чавуні приводить до збільшення  $k_s$ , до 60% часу продувки підвищення температури сталі призводить до зменшення  $k_s$ , починаючи з 80% часу продувки - до збільшення  $k_s$ , до 40% часу продувки збільшення вмісту  $\text{FeO}$  в шлаці призводить до зниження, а з 60% часу продувки - до збільшення  $k_s$ ; для кожного часу продувки існує своя оптимальна основність, пониження та зниження основності призводить до зниження  $k_s$  та  $k_p$ .

13. Досліджено вплив різних факторів на коефіцієнт розподілу фосфору по ходу продувки. На всьому протязі плавки підвищення вмісту  $\text{FeO}$  в шлаці призводить до збільшення  $k_p$ , а підвищення вмісту марганцю - до зменшення  $k_p$ ; підвищення температури практично на всьому протязі продувки (за винятком перших 25% продувки) зникає  $k_p$ , для кожного часу продувки для  $k_p$ , як і для  $k_s$ , існує своя оптимальна основність шлаку, їх значення збігається з аналогічними для  $k_s$ . Незалежно від часу продувки оптимальні значення комплексного показника  $\frac{(\text{CaO})}{(\text{FeO})}$  дорівнюють 0,35-0,40.

14. Вивчено поведінку кисню в металі по ходу продувки в кисневих та томасівських конвертерах. Показано, що вміст кисню в металі визначається рухомою рівновагою між значеннями вмісту кисню, рівноважними з вуглицем металу, шлаком та газовою

фазою. На початку продувки різниця між цими значеннями велика, до кінця продувки вона зникає.

15. Вивчено зміну вмісту азоту та водню по ходу виробництва рідкого металу від конвертера до МЛБЗ. Установлено, що в добре розкисленому металі та при низькому вмісті сірки приріст вмісту азоту та водню може перебільшувати їх вихідні вмісти, одержані в конвертері.

16. Розроблено технологію виробництва низьковуглецевих сталей в глухдонних конвертерах при додувках через верхню фурму азоту, аргону, СО. Показано, що можлива виплавка сталі з 0,01-0,02% С в глухдонному конвертері при значно менших втратах заліза в порівнянні з продувкою киснем та значній простоті процесу в порівнянні з комбінованою продувкою.

17. В лабораторних умовах розроблено та досліджено киснево-конвертерний процес в конвертерах з кислою футеровкою. Установлено, що марганець в кислому процесі окислюється більше, ніж в основному, а вміст кремнію в металі на всьому протязі продувки не знижується нижче 0,02%. Вміст азоту, кисню та водню в 1,5-2 рази нижче, ніж в основному металі. Заміна основної футеровки на кислу дозволяє скоротити втрату на 1 т сталі: чавуну - на 115 кг, металошихти - на 30 кг, вапна - на 70 кг, кисню - на 6 м<sup>3</sup>. вихід шлаку зменшується - на 90 кг, вихід газу - на 15 м<sup>3</sup>.

Ударна в'язкість кислого металу при 20 С вище в 1,2-1,6 разу, при -20 С - в 2,1-1,7 разу, а анізотропія властивостей - нижча.

18. Розроблено концепцію та алгоритми кризової техніко-економічної моделі виробництва сталі високої якості, включаючи технологію доменної та конвертерної плавок, позапічної обробки чавуну і сталі, яка дає змогу обрати з багатьох варіантів (тільки можливих варіантів виробництва сталі з низьким вмістом сірки налічується більш 10 ) оптимальний для даних конкретних умов.

19. Технологічні та технічні рекомендації, одержані при проведенні досліджень, включені в типові технологічні інструкції по виплавці сталі в кисневих конвертерах 1980 та 1986 р.р., а також при розробці вихідних даних технологічних рекомендацій і

технологічних завдань (ТЛЗ) на розробку проектів реконструкції та нового будівництва конвертерних цехів металургійних комбінатів "Криворіжсталь", "Запоріжсталь", "Азовсталь", ДМК ім. Держинського, металургійного заводу ім. Петровського.

Сумарний економічний ефект від впровадження розробок 112,555 млн.крб., частка автора 8,09 млн.крб. (в цінах 1990 р.).

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНО В СЛІДУЮЧИХ РОБОТАХ

### Монографії

1. Старов Р.В., Нагорских В.А. Производство стали в конвертерах.  
- Киев.: Техніка, 1987 -167 с.
2. Технология производства стали в современных конвертерных цехах /С.В. Колпаков, Р.В. Старов, В.В. Смоктий и др.// М.: Машиностроение, 1991 - 464 с.

### Брошури

3. Сокращение расхода чугуна на производство конвертерной стали /В.В. Смоктий, Р.В. Старов, Э.С. Белокуров и др. // М.: (Обзорная информация / Ин-т "Черметинформация", 1987 - 34 с.
4. Снижение себестоимости кислородно-конвертерной стали.  
/ Л.Г. Кацен, С.М. Буйневич, Р.В. Старов и др. // Донецк "Донбасс, 1972 -114 с.

### Статті

5. К вопросу о шлакообразовании в кислородно-конвертерном процессе /А.В. Маринин, Е.В. Третьяков, Р.В. Старов и др.// В сб. "Производство стали", ДонНИИЧМ, Донецк, 1970, С - 26-29.
6. К вопросу о выравнивании в кислородно-конвертерном процессе./С.К. Соболев, В.В. Богушевский, Р.В. Старов и др.// В сб."Система и средства автоматического управления". Киев, КИА, 1970, С - 173-177.
7. Повышение стойкости футеровки кислородных конвертеров.  
/ Р.В.Старов, Н.Н. Еднук, Н.И. Буравицкий и др. // "Металлургическая и горнорудная промышленность", Днепропетровск, 1971, N 2. С - 13-15.

8. Влияние технологических параметров на газовыделение по ходу плавки в 130-т конвертере /В.Г. Мелихов, Ю.Ф. Михневич, Р.В. Старов и др.// "Сталь", 1971, N 8, С - 702-705.
9. Работа кислородных конвертеров на магниезиальных шлаках. /Н.И.Ярошенко, Р.В. Старов, Е.В. Третьяков и др. // "Сталь", 1971, N 9, С - 793-796.
10. К вопросу проектирования дутьевых сопел кислородных фурм. /А.С.Горбик, Л.М. Гревцев, А.Т. Китаев, Р.В. Старов и др.// "Сталь", 1971, N 12, С - 1077-1079.
11. Технологические особенности и перспективность применения агломерата с различным содержанием СаО в кислородно-конвертерном производстве / А.В. Маринин, М.Я.Меджибожский, В.С. Буйневич, Р.В. Старов и др.// В сб. "Производство стали". Донецк, ДоНИИЧМ, 1971, С -81-90.
12. Влияние расхода извести и плавикового шпата на технологические показатели конвертерной плавки. / Р.В. Старов, Ю.М. Нечкин, В.И. Явойский и др.// В сб. "Производство стали", Донецк, ДоНИИЧМ, 1971, С - 108-124.
13. Исследование стойкости кислородных конвертеров методом радиоактивных индикаторов. / А.В. Пауков, О.В. Травин, Р.В. Старов и др.// "Бюллетень ДНИИЧМ", 1973, N 1, С - 31-32.
14. Применение агломерата различной основности для ускорения шлакообразования /В.С. Буйневич, А.В. Гейнман, Р.В. Старов и др.// "Сталь", 1972, N 11, С - 979-981.
15. Применение доломитизированной извести в конвертерной плавке. / В.К. Дидковский, Е.В. Третьяков, Р.В. Старов и др. // Бюллетень ДНИИЧМ, 1973, N 9, С - 41-42.
16. Старов Р.В., Явойский В.И., Нечкин Ю.М. Исследование взаимодействия конвертерных огнеупоров с металлом и шлаком. // В сб. "Физико-химические исследования процессов производства стали" вып. 74, М.: Металлургия, 1974, С - 98-104.
17. Старов Р.В., Тольский А.А., Борнацкий И.И. Десульфурция ванны кислородного конвертера по жоду продувки // Сталь, 1974, N 2, С - 112-114.

18. Десульфурация чугуна в 130-т конвертерах / Н.И. Ярошенко, Ю.Ф. Михневич, Р.В. Старов и др. // "Металлург", 1974, N 9, С - 18-20.
19. Исследование конвертерного процесса при регламентированной интенсивности продувки / Р.В. Старов., В.И. Ганошенко, В.К. Дидковский и др. // "Сталь", 1975, N 10, С - 885-887.
20. Технология производства и применения комплексного флюса. / В.К. Дидковский, Н.И. Роговцев, Р.В. Старов и др. // "Сталь", 1976, С - 410-412.
21. Старов Р.В. Некоторые вопросы организации дутьевого режима конвертерной плавки. // В сб. "Производство стали в кислородно-конвертерных и мартеновских цехах" М.: Metallurgia, 1978, С - 6-9.
22. Старов Р.В., Нечкин Ю.М., Явойский В.И. Влияние технологических особенностей конвертерной плавки на износ футеровки. // В сб. "Производство стали в кислородно-конвертерных и мартеновских цехах", М.: Metallurgia, 1978, С - 25-28.
23. Выплавка стали в конвертерах с использованием обессеренного чугуна. / Р.В. Старов, Л.Ю. Назюта, В.И. Ганошенко и др. // В сб. "Производство стали в кислородно-конвертерных и мартеновских цехах", М.: Metallurgia, 1981, С - 5-8.
24. Исследование тепловой работы наконечника кислородной фурмы. / Р.В. Старов, Г.В. Рыбалов, К.П. Кранцов и др. // В сб. "Технология производства конвертерной и мартеновской стали массового назначения", М.: Metallurgia, 1981, С - 11-16.
25. Техничко-экономическая эффективность применения обессеренного чугуна при выплавке стали в 350-т конвертерах / Р.В. Старов, И.Я. Емельянов, А.П. Адаменко и др. // "Металлургическая и горнорудная промышленность", Днепропетровск, 1982, N 3, С. 27-29.
26. Повышение эффективности сталеплавильного производства. / Я.А. Шнейсеров, Ю.Ф. Вяткин, Р.В. Старов и др. // Сталь, 1984, N 11, С - 19-24.

27. Старов Р.В. Эффективность скачивания шлака из чугуновозных ковшей в условиях комбината "Азовсталь" // "Металлургическая и горнорудная промышленность", Днепропетровск, 1985, N 4, С - 19-20.
28. Выплавка рельсовой стали в 250-т конвертерах при переделе чугуна с 0.07 % марганца. / Р.В. Старов, Ю.Н. Гладилини, Ю.Н. Борисов и др. // "Металлургическая и горнорудная промышленность", Днепропетровск, 1985, N 4, С - 21-22.
29. Шнейеров Я.А., Старов Р.В. Пути снижения энергоемкости сталеплавильных процессов // "Сталь", 1985, N 5, С - 19-22.
30. Выплавка низкосернистой стали в конвертерах с использованием обессеренного чугуна / Р.В. Старов, Ю.Ф. Михневич, В.И. Михайлов и др. // В сб. "Совершенствование технологии производства стали в конвертерах и мартеновских цехах", М.: "Металлургия", 1985, С - 19-25.
31. О рациональном пределе передова конвертерной плавки при науглероживании стали в ковше / Р.В. Старов, А.П. Гавро, А.П. Адаменко и др. // В сб. Совершенствование технологии производства стали в конвертерах и мартеновских цехах", М.: "Металлургия", 1985, С - 28-31.
32. Старов Р.В. О методиках расчета наконечников фурмы для кислородных конвертеров // VI Всесоюзная научно-техническая конференция "Теория и практика кислородно-конвертерных процессов", Тезисы докладов, Днепропетровск, 1981, С. 18-22.
33. Исследование влияния MgO на температуру плавления конвертерных шлаков / Р.В. Старов, А.Ф. Хамхотыко, М.М. Шеенко и др. // В сб. "Повышение эффективности технологии выплавки конвертерной и мартеновской стали", М.: Металлургия, 1986, С - 22-26.
34. Комбинированная продувка металла с подачей нейтрального газа через днище конвертера / Р.В. Старов, Г.Ф. Кулагин, С.И. Куштарев и др. // "Сталь", 1987, N 5, С - 24-26.
35. Сопоставление результатов комбинированной и верхней

- продувки в конвертере методом математического моделирования. /Р.В. Старов, Г.Ф. Кулагин, С.И. Кушнарев и др. // "Металлург", 1987, N 10, С - 29-30.
36. Эффективность снижения содержания марганца в чугуне для условий комбината "Азовсталь" / Л.А. Смирнов, Р.В. Старов, Н.М. Снятинонская и др. // "Сталь", 1988, N 5, С - 18-21.
37. Эффективность использования обесфосфоренного чугуна при кислородно-конвертерном переделе / В.С. Плевако, А.С. Вергун, Р.В. Старов и др. // "Металлург", 1988, N 9, С - 25-27.
38. Старов Р.В. Классификация конвертерных процессов // "Сталь", 1988, N 5, С - 23-25.
39. Снижение расхода чугуна путем предварительного нагрева лома в конвертере. / В.Г. Горобец, Р.В. Старов, Н.П. Павлов и др. // "Сталь", 1988, N 9, С - 24-26.
40. Starov R.V., Smoktiy V.V. Combined Blowing Processes for Steelmaking in Convertors // Fifth Indo-Soviet Bilateral Symposium, Ranchi, India, 12-13 October, 1988, p. 13-23.
41. Международный конгресс по кислородно-конвертерному производству / Р.В. Старов, А.Д. Чертов, В.М. Кукарцев и др. // "Сталь", 1980, N 11, С - 36-37.
42. Малошлаковая технология конвертерной плавки / Р.В. Старов, В.Г. Горобец, В.В. Гришин и др. // Черная металлургия, 1988, N 18, С - 38-39.
43. Особенности определения экономической эффективности снижения содержания марганца в чугуне в условиях южных заводов на примере комбината "Азовсталь" / Л.А. Смирнов, Р.В. Старов, Н.М. Снятинонская и др. // В сб. "Технология производства стали в конвертерных и мартеновских цехах", МЧМ СССР (ИЧМ), М.: Металлургия, 1989, С - 93-97.
44. Старов Р.В., Смоктий В.В. Повышение эффективности кислородно-конвертерного производства // В кн. "Черная металлургия". Наука - технология - производство. МЧМ СССР. М.: Металлургия, 1989, С - 124-130.

45. Малошлаковая технология конвертерной плавки / Р.В. Старов, Н.М. Омесь, В.Г. Горобец и др. // "Сталь", 1989, N 5, С - 25-27.
46. Тенденции производства стали в современных конвертерных цехах / С.В. Колпаков, В.И. Лебедев, Р.В. Старов и др. // "Сталь", 1989, N 10, С - 19-26.
47. Оценка использования углей Шубаркольского месторождения в конвертерном производстве / Р.В. Старов, М.Н. Едناк, С.В. Юзов и др. // "Металлургическая и горнорудная промышленность", 1980, N 1, С - 18-20.
48. Гидродинамика конвертерной ванны при вдувании нейтрального газа через погружную вспомогательную фурму / С.И. Кушнарев, Р.В. Старов, Г.Н. Гончаренко и др. // Известия ВУЗов, Черная металлургия, 1991, N 9, С - 26-28.
49. Старов Р.В. О направлениях развития сталеплавильного производства // Сталь, 1992, N 9, С - 23-24.
50. Старов Р.В., Едناк М.Н., Поляков В.Ф. Разработка технологии производства низкоуглеродистой стали в конвертере с верхним дутьем // Труды первого конгресса сталеплавильщиков (Москва 12-15 октября 1992 г.) М.: 1993, С - 54-55.
51. Старов Р.В. Кислый конвертерный процесс // Труды первого конгресса сталеплавильщиков (Москва 12-15 октября 1992 г.) М.: 1993, С - 59-60.
52. Повышение стойкости футеровки конвертеров путем ее оплакования / Р.В. Старов, Г.Ф. Боровиков, Г.Л. Шаповал и др. // Труды первого конгресса сталеплавильщиков (Москва 12-15 октября 1992 г.) М.: 1993, С - 99-101.
53. О направленности работ ИЧМ в области кислородно-конвертерного производства стали / В.Ф. Поляков, Р.В. Старов, В.В. Смоктий и др. // Международная научно-техническая конференция "Теория и практика кислородно-конвертерных процессов". Тезисы докладов, Днепродзержинск, 1994, С - 4-7.
54. Старов Р.В. Выплавка стали в конвертере с кислой футеровкой. // Сталь, 1993, N 10, С - 21-25.

55. Сквозная модель производства жидкого металла, включающая технологию доменной и конвертерной плавки, внепечной обработки чугуна и стали / Старов Р.В., Тогобицкая Д.Н., Харахулах В.С. и др. // Металл и литье Украины, 1995, N 1, С - 14-17.

56. Старов Р.В. Скорости окисления углерода по ходу конвертерной плавки // Металл и литье Украины, 1995, N 4, С - 6-7.

Авторські свідоцтва №№: 301569, 367151, 370242,  
372272, 440413, 427771, 495359, 513104, 561736, 574630,  
596837, 598938, 611936, 649965, 709973, 735639, 779936,  
779937, 785585, 821492, 827560, 829682, 859462, 939566,  
1057552, 1276672, 1280468, 1359310, 1541276, 1585340,  
1601133, 1718000, 1786093.

---

Подписано к печати 14 февраля 1996 г.  
Формат 60x84/16. Уч.-изд. л. 3,00  
Тираж 40 экз. Заказ № 120  
Изм. Днепропетровск, пл. Стародубова, 1

## АННОТАЦИЯ

**Старов Р.В.** Развитие теории и разработка оптимальной технологии конвертерного процесса на базе исследований изменения окисленности шлака по ходу продувки.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.02 - металлургия черных металлов. Государственная металлургическая академия Украины. Днепропетровск, 1996 г.

Защищается 56 научных работ (в т.ч. 2 монографии) и 33 авторских свидетельства, которые содержат теоретические исследования по определению влияния параметров дутьевого режима на окисленность шлака, определению полуугла раскрытия сопла, установлению механизма износа футеровки и скорости растворения извести в шлаке, а также экспериментальные исследования. В результате разработана типовая методика расчета кислородных фурм, внедрены технологии передела низкомарганцовистого чугуна, дутьевой режим при максимальной интенсивности дутья, малошлаковая технология, освоены новые марки высококачественной стали, а также разработаны основы новых вариантов конвертерных процессов.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** конвертер, окисленість шлаку, дутьєвий режим, якість сталі, стійкість футеровки, вапно, чавун, металобрухт.

## SYNOPSIS

**Starov R.V.** Development of Theory and Optimal Technology for Steel Converter Process on the Basis of Investigation of Slag Oxidation Variation During Blast Operation.

Dissertation for Doctor of Science degree on speciality 05.16.02 - ferrous metallurgy. State Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1996.

56 scientific works including two monographies and 33 Author Certificates are subject to defend, they contain theoretical studies on determination of effect of parameters of blast operation schedule on slag oxidation level, determination of half-angle of nozzle opening, discovery of lining wearing mechanism and velocity of lime soluting in slag as well as the experimental investigations concerned. As a result the typical method of calculation of oxigen tuyeres design has been developed; some new technologies of remelting low-manganese iron have been put into practice as well as blast operation schedule with maximum blast intensity, low-slag technology have been developed; new grades of steel have been introduced into production practice and new foundations for new versions of converter process have been developed.

**KEYWORDS:** converter; slag oxidation level; blast operation schedule; lining resistance; lime; iron; metal scrap.



AB 34.421