

## Анотація

Кочура В. В., Ярошевський С. Л., Попов В. Є., Купенко В. І., Храпко А. В.,  
Іванов С. А., Брага В. В.

Дослідження повноти згорання пиловугільного палива в доменній печі № 1  
ПрАТ «Донецьксталь» – металургійний завод»

Наведено дослідження повноти сгорання пиловугільного палива, що вдувається до горна доменних печей, за петрографічним аналізом продуктів доменної плавки.

## Ключові слова

вугілля, ПВП, кокс, колошниковий пил, шлак, шлак, доменна піч

## Summary

Kochura V., Yaroshevsky S., Popov V., Kupenko V., Khrapko A., Ivanov S., Braga V.  
Investigations of pulverized coal combustion efficiency in blast furnace № 1  
of JSC (Private) «Donetskstal» – Iron and Steel Works»

Investigation of pulverized coal combustion being injected into hearth of the blast furnaces with petrographic analysis of blast furnace melting products was described.

## Keywords

coal, PC, blast furnace dust, sludge, slag, blast furnace

УДК 669.162.267.642

**Б. П. Крикунов, В. П. Ивлев, В. Е. Попов, С. А. Иванов, А. И. Дрейко, А. В. Храпко,  
Н. Ф. Анищенко\*, А. М. Зборщик\*, А. В. Дидевич\*, В. П. Стец\*, М. В. Рыжов\*\***

ПрАО «Донецксталь» – металлургический завод», Донецк

\*Донецкий государственный научно-исследовательский институт черной металлургии, Донецк

\*\*ЧАО «НПП „Техмет“», Донецк

## Исследование десульфурации чугуна рафинирующей смесью ИРС-2 при выпуске в 100-тонные ковши

Проанализированы результаты исследования десульфурации чугуна рафинирующей смесью ИРС-2 во время выпуска в 100-тонные чугуновозные ковши, проведена оценка экономической эффективности работы доменной печи № 2 ПрАО «Донецксталь» – металлургический завод» на шлаках низкой основности с последующей десульфурацией чугуна смесью ИРС-2.

**Ключевые слова:** чугун, внедоменная десульфурация, рафинирующая шлакообразующая смесь ИРС-2

Известно, что работа доменных печей (ДП) на шлаках пониженной основности дает возможность снизить себестоимость чугуна за счет уменьшения удельных расходов кокса, известняка и увеличения производительности печи. Однако при работе печей на коксе, полученном из высокосернистых углей Донбасса, по мере понижения основности печного шлака содержание серы в чугуне увеличивается. При этом увеличивается количество чугуна, который должен подвергаться внедоменной десульфурации из-за превышения содержания в нем серы сверх допустимого ГОСТ уровня.

Производительность установки внедоменной десульфурации чугуна доменного цеха ПрАО «Донецксталь» – металлургический завод» в настоящее время

не позволяет регулярно проводить обработку больших масс металла. Альтернативным решением может быть десульфурация чугуна рафинирующей смесью ИРС-2 на литейных дворах ДП.

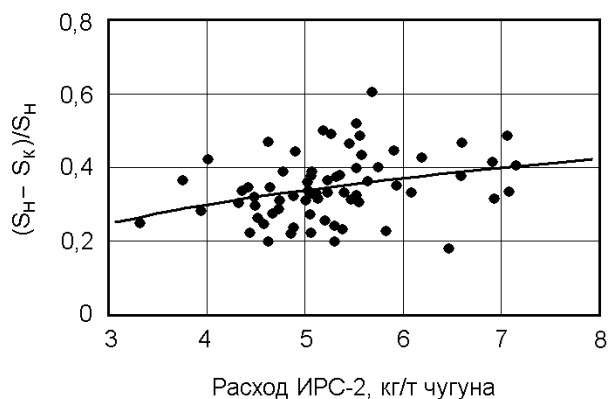
Сведения о химическом составе смеси ИРС-2 и результаты ее использования для обработки чугуна на литейных дворах ДП при выпуске плавки в 140-тонные чугуновозные ковши приведены в работах [1, 2]. Показано, что решающее влияние на эффективность десульфурации металла оказывает величина основности шлака в чугуновозных ковшах, которая определяется состоянием подаваемых под обработку ковшей и удельным расходом рафинирующей смеси. Кроме того, на результаты обработки влияют продолжительность и интенсивность перемешивания

металла и шлака, которые при наполнении ковшей различного тоннажа могут существенно меняться. Поэтому в данной работе изучали эффективность использования рафинирующей смеси ИРС-2 для десульфурации чугуна при выпуске плавки в 100-тонные ковши.

Опытно-промышленные исследования выполнялись в доменном цехе ПрАО «Донецксталь» – металлургический завод на ДП № 2 объемом 1033 м<sup>3</sup>. В ходе исследования обработку чугуна проводили в чистых ковшах без остатков металла и нескантованного шлака. При этом масса обрабатываемого чугуна изменялась от 41,9 до 95,4 т, в среднем составляя 71,6 т, время наполнения ковшей – от 7 до 33 мин (в среднем 18,75 мин). Расход ИРС-2 на обработку одного ковша изменялся от 150 до 465 кг. Рафинирующую смесь подавали на поверхность чугуна в транспортном желобе за скиммерной плитой. Обычно подачу смеси начинали после выпуска в ковш 5-7 т металла и заканчивали к моменту наполнения ковша на 50 % его номинальной вместимости.

Во время наполнения ковша из чугуновыпускного желоба ДП отбирали 2-3 пробы металла, по результатам анализа которых рассчитывали содержание серы в чугуне на выпуске. Содержание серы в чугуне после обработки определяли по результатам анализа проб, отобранных на участке разливочных машин через 100-130 мин после наполнения ковша.

Установленная по результатам обработки 70 ковшей зависимость степени десульфурации чугуна от удельного расхода рафинирующей смеси показана на рис. 1. Обработка экспериментальных данных



**Рис. 1.** Зависимость степени десульфурации чугуна от удельного расхода ИРС-2 при обработке в 100-тонных ковшах

с использованием пакета прикладных программ Statgraphics Plus 3.0 показала, что из имеющихся в пакете стандартных статистических моделей эту зависимость точнее других описывает статистическая модель Logarithmic – X вида

$$(S_n - S_k)/S_n = 0,0519879 + 0,178624 \ln q, \quad (1)$$

где  $S_n$  и  $S_k$  – концентрация серы в чугуне на выпуске из печи и на участке разливочных машин, %;  $q$  – расход ИРС-2, кг/т чугуна.

В ходе исследования ставилась задача оценить удельный расход ИРС-2, который обеспечивает степень десульфурации чугуна не менее 0,2. Согласно протоколу статистической обработки эксперимен-

тальных данных для получения требуемой степени десульфурации металла с вероятностью 90 % расход рафинирующей смеси должен составлять 5,2 кг/т чугуна. Для получения той же степени десульфурации чугуна с вероятностью 95 % расход рафинирующей смеси потребуется увеличить до 6 кг/т.

При выпуске плавки в чугуновозный ковш неизбежно попадает некоторое количество высокосернистого печного шлака, что является причиной ресульфурации чугуна, наблюдаемой обычно при наполнении и транспортировании ковшей [2, 3]. Можно предполагать, что при обработке чугуна рафинирующей смесью понижение основности доменного шлака может стать причиной снижения основности ковшового шлака и эффективности десульфурации металла.

Чтобы определить возможное влияние основности печного шлака на эффективность десульфурации чугуна в ковшах, проанализировали результаты обработки двух массивов экспериментальных данных. Первый массив из 33 ковшей составляли результаты обработки чугуна, выплавленного под шлаками основностью 1,18-1,23 (средняя 1,21). Второй массив из 37 ковшей представляли результаты обработки чугуна, выплавленного под шлаками основностью 1,12-1,17 (средняя 1,15).

Статистическая обработка результатов исследования показала, что для первого массива экспериментальных данных зависимость степени десульфурации чугуна от удельного расхода смеси точнее других описывает статистическая модель Double reciprocal вида

$$(S_n - S_k)/S_n = 1/(1,32933 + 8,12701)q. \quad (2)$$

Для второго массива экспериментальных данных аналогичную зависимость наиболее точно описывает линейная функция вида

$$(S_n - S_k)/S_n = 0,128801 + 0,0385567q. \quad (3)$$

При изменении удельного расхода рафинирующей смеси от 3,5 до 7,0 кг/т максимальное различие между рассчитанными по уравнениям (2) и (3) средними значениями степени десульфурации чугуна не превышает точности ее определения в промышленных условиях. Таким образом, по результатам исследования заметного влияния изменения основности печного шлака в указанных выше пределах на эффективность десульфурации чугуна в ковшах не обнаружено.

Не обнаружено также существенного влияния изменения содержания серы в чугуне на эффективность обработки. Чтобы рассчитать возможное влияние содержания серы в чугуне на выпуск из доменной печи на эффективность десульфурации металла, проанализировали результаты обработки 39 ковшей с исходным содержанием  $S$  0,024-0,060 % и 31 ковша с содержанием  $S$  0,062-0,095 %. Установлено, что для первой группы ковшей зависимость степени десульфурации чугуна от удельного расхода ИРС-2 точнее других отражает статистическая модель Reciprocal – X вида

$$(S_n - S_k)/S_n = 0,498401 + 0,75795/q. \quad (4)$$

Для второй группы ковшей аналогичную зависимость лучше всего описывает линейная функция вида

$$(S_n - S_k)/S_n = 0,123906 + 0,0405215q. \quad (5)$$

При изменении удельного расхода ИРС-2 от 3,5 до 7,0 кг/т максимальное различие между рассчитанными по уравнениям (4) и (5) средними значениями степени десульфурации чугуна также сопоставимо с точностью ее определения в промышленных исследованиях.

В настоящее время с учетом сложившихся цен на рафинирующую смесь ИРС-2, как следует из результатов обработки данных на рис. 1, затраты на десульфурацию чугуна могут составлять 22,5-26 грн./т. Однако результаты оценочных расчетов свидетельствуют о том, что при переводе ДП на работу на шлаках пониженной основности такие затраты могут быть оправданы.

В качестве примера в таблице приведены для сравнения основные показатели работы ДП № 2 «Донецксталь» – металлургический завод» в базовом и расчетном периодах на шлаках основностью 1,20 и 1,14 соответственно. Расчеты с использованием данных таблицы показывают, что перевод печи на работу на шлаках пониженной основности, с учетом затрат на десульфурацию, сопровождается уменьшением себестоимости чугуна на 5-10 грн./т.

В заключение следует отметить, что в дальнейшем можно будет сократить затраты на десульфурацию чугуна рафинирующей смесью ИРС-2 на литейных дворах ДП за счет освоения современных способов контроля химического состава металла.

На рис. 2 показаны результаты исследования зависимости между содержанием серы в чугуне и основностью печного шлака для условий ДП № 2 «Донецксталь» – МЗ». Обработка экспериментальных данных показывает, что эта зависимость может быть описана статистической моделью Reciprocal – X вида

$$[S] = -0,163056 + 0,24676/B, \quad (6)$$

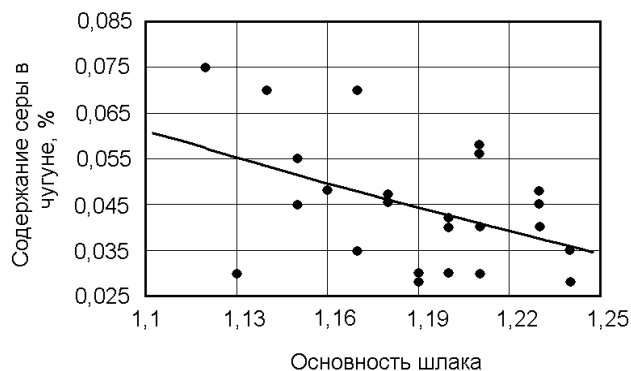


Рис. 2. Зависимость содержания серы в чугуне от основности печного шлака для условий ДП № 2 ПрАО «Донецксталь» – металлургический завод»

где [S] – содержание серы в чугуне, %; В – основность шлака (CaO/SiO<sub>2</sub>). При этом содержание серы в чугуне отдельных выпусков изменяется в широких пределах.

Обычно наиболее высокое содержание серы в чугуне наблюдается в начальном периоде выпуска. Поэтому количество обрабатываемых ковшей можно значительно сократить, если до начала подачи рафинирующей смеси во время выпуска первых 5-10 т чугуна выяснить химический состав металла, что позволяет использование электрохимических датчиков контроля химического состава чугуна, которые могут измерять содержание серы непосредственно в жидком металле. В настоящее время такое оборудование успешно прошло промышленное опробование и широко выпускается [4].

### Выводы

1. В условиях доменного цеха «Донецксталь» – МЗ» на ДП № 2 проведены опытно-промышленные исследования технологии десульфурации чугуна рафинирующей смесью ИРС-2 при выпуске плавки в 100-тонные ковши. В ходе проведения исследований изучалось влияние различных факторов на процесс

### Показатели работы ДП № 2 на шлаках разной основности

Наименование показателей	Периоды	
	базовый	расчетный
Расход материалов, кг/т чугуна:		
– кокс сухой	437,000	425,400
– коксовый орешек	8,000	8,000
– окатыши офлюсованные	1617,000	1617,000
– известняк	168,000	149,300
Расход пылеугольного топлива, кг/т чугуна	135,000	135,000
Выход шлака, кг/т чугуна	389,000	279,000
Основность шлака (CaO/SiO <sub>2</sub> )	1,200	1,140
Химический состав чугуна, %:		
– кремний	0,700	0,700
– сера	0,037	0,049
Экономия материалов, кг/т чугуна:		
– кокс	—	11,100
– известняк	—	18,700
Увеличение производительности печи, %	—	2,830

десульфурации чугуна: основность печного шлака, удельный расход рафинирующей смеси ИРС-2 и др.

2. По результатам статистической обработки данных для получения требуемой степени десульфурации металла с вероятностью 90 % расход рафинирующей смеси должен составлять 5,2 кг/т чугуна. Для достижения той же степени десульфурации чугуна с вероятностью 95 % расход рафинирующей смеси потребуется увеличить до 6 кг/т.

3. Проведена оценка экономической эффективности работы доменной печи № 2 «Донецксталь» – МЗ» на шлаках низкой основности с последующей десульфурацией чугуна смесью ИРС-2. По результатам выполненных расчетов перевод ДП № 2 на работу на шлаках пониженной основности (с 1,20 до 1,14), с учетом затрат на десульфурацию, сопровождается уменьшением себестоимости чугуна на 5-10 грн./т.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Использование смеси ИРС-2 для десульфурации чугуна в доменном цехе ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича / А. М. Зборщик, Н. В. Косолап, Э. Н. Шебаниц и др. // Металл и литье Украины. – 2006. – № 6. – С. 20-22.
2. Влияние основности ковшового шлака на изменение содержания серы в чугуне в ковшах / А. М. Зборщик, Н. Ф. Анищенко, В. П. Стец и др. // Металл и литье Украины. – 2010. – № 12. – С. 14-17.
3. Воронова Н. А., Ткач Н. Т. Содержание серы в доменном чугуне на металлургических заводах страны / Производство стали в кислородно-конвертерных и мартеновских цехах: Сб. науч. тр. № 7. – М.: Металлургия, 1978 (МЧМ СССР). – С. 44-48.
4. Kromarec R., Koller A. EMF measuring probes for determining the sulfur content in the hot metal / The IX International symposium for desulphurization of hot metal and steel. September 18-21, 2006 in Galati, Romania. – P. 7-8.

### Анотація

*Крикунов Б. П., Івлєв В. П., Попов В. Є., Іванов С. А., Дрейко О. І., Храпко А. В., Аніщенко Н. Ф., Зборщик О. М., Дідевич А. В., Стец В. П., Рижов М. В.*

**Дослідження десульфуратії чавуну рафінувальною сумішшю ІРС-2 при випусканні у 100-тонні ковші**

*Проаналізовано результати дослідження десульфуратії чавуну рафінувальною сумішшю ІРС-2 під час випуску у 100-тонні чавуновозні ковші, проведено оцінку економічної ефективності роботи доменної печі № 2 ПрАТ «Донецьксталь» – металургійний завод» на шлаках низької основності з наступною десульфуратією чавуну сумішшю ІРС-2.*

### Ключові слова

*чавун, позадоменна десульфуратія, рафінувальна шлакоутворювальна суміш ІРС-2*

### Summary

*Krikunov B., Ivlev V., Popov V., Ivanov S., Dreyko A., Khrapko A., Anishchenko N., Zborshchik A., Didevich A., Stets V., Ryzhov M.*

**The research of iron desulphurization with refining mixture IRS-2 during tapping into 100-tonns ladles**

*The article deals with the analysis of research results of iron desulphurization with refining mixture IRS-2 during tapping into 100-tonns iron ladles and evaluation of economic efficiency of blast furnace № 2 operation (JSC (Private) «Donetsksteel» – Iron and Steel Works») on low basicity slags with further iron desulphurization with mixture IRS-2.*

### Keywords

*iron, out-of-furnace desulphurization, refining slag mixture IRS-2*