

## Анализ технологической эффективности различных способов внепечной десульфурации чугуна

*Рассмотрены вопросы внепечной десульфурации жидкого чугуна. Проанализированы основные достоинства и недостатки существующих технологий обессеривания чугуна. Определены наиболее перспективные технологии внепечной десульфурации чугуна для отечественных предприятий.*

**Ключевые слова:** десульфурация, технологическая эффективность, энергоёмкость, чугун, анализ

**П**остановка задач исследования. Производство качественных марок сталей связано с получением гарантированно низкого содержания вредных примесей в конечной продукции. Поскольку удаление серы из железоуглеродистого расплава значительно усложнено непосредственно в плавильном агрегате из-за термодинамических особенностей этого процесса (необходима низкая окисленность шлака, высокое содержание СаО в шлаке, относительно низкая температура расплава), то на большинстве современных предприятий операция удаления серы из расплава осуществляется вне плавильного агрегата.

В современных условиях мировой интеграции для отечественной металлургии очень остро становятся вопросы соответствия конечной продукции стандартам ISO 90001, поэтому целью данной работы является определение наиболее перспективной технологии внепечной десульфурации чугуна для отечественных предприятий.

**Методика проведения исследований.** В ходе проведения исследований выполнен анализ технологических особенностей процессов, реагентов-десульфураторов и результатов, которые достигаются при применении различных технологий внепечного удаления серы из расплава. В качестве технологических особенностей процессов внепечной десульфурации рассматривали режимы введения реагентов-десульфураторов в расплав, а также необходимость использования дополнительного оборудования непосредственно на рабочей площадке. Анализ реагентов-десульфураторов предусматривал определение химического состава и их затрат на десульфурацию. Эффективность результатов внепечного удаления серы из расплава определяли по показателям максимальной степени десульфурации расплава, которая может быть достигнута при использовании конкретного реагента-десульфуратора в определенном количестве. В процессе определения энергоэффективности проведено моделирование влияния степени процесса десульфурации на прирост энергоёмкости наиболее удачных технологий внепечной десульфурации расплавов. Моделирование проводилось на математико-статистических моделях, разработанных сотрудниками

кафедры металлургии стали Национальной металлургической академии Украины.

В соответствии с результатами проведенного исследования определены лучшие по основным показателям технологии внепечной десульфурации, которые наиболее полно соответствуют условиям отечественных металлургических предприятий.

**Результаты проведенных исследований.** Результаты сравнительного анализа существующих технологий внепечной десульфурации железоуглеродистых расплавов приведены в таблице.

Сравнительный анализ эффективности применения различных технологий внепечной десульфурации представлено на рис. 1.

Таким образом, в соответствии с представленными данными наиболее эффективны технологии инъекции порошкообразных реагентов на основе чистого магния, извести или их смесей, технология ДГВ, обработка ЖШС, а также десульфурация содой. Это вызвано использованием для рафинирования активных реагентов (металлический магний, мелкодисперсная известь, сода или жидкие шлаки) и возможностью их подачи непосредственно в объем жидкого металлического расплава.

Сравнительный анализ максимального расхода десульфураторов, которые применяются в различных технологиях внепечной десульфурации, приведены на рис. 2. Согласно данным рис. 2 наименее затратными являются технологии инъекции смесей на основе магния, ДГВ и обработка порошковой проволокой. При этом расход активного реагента составляет менее 5 кг/т расплава, что вызвано использованием более активных реагентов и успешной организацией их усвоения непосредственно в объеме жидкого расплава.

Сравнение энергоэффективности наиболее удачных технологий внеагрегатной десульфурации расплавов представлена на рис. 3. В соответствии с данными, представленными на нем, наименьший прирост энергоёмкости вызывает применение технологий инъекции извести, гранулированного магния и ДГВ.

Анализируя технологические особенности десульфурации расплавов по различным технологиям, можно сделать следующий вывод: большинство

## Результаты сравнительного анализа технологий внепечной десульфурации чугуна

Название технологии	Особенности ввода	Состав реагента, %	Расход реагента, кг/т расплава	Степень десульфурации, %	Источник
Обработка твердыми шлаковыми смесями (ТШС)	вводят на поверхность расплава при наполнении заливочного ковша	CaO = 65-85; CaF <sub>2</sub> = 10-25; Al = 5-10	15-20	30-75	[1, 2]
Обработка жидкими синтетическими шлаками (ЖСШ)	ЖСШ вводят в жидком состоянии в ковш перед наполнением	CaO = 50-65; SiO <sub>2</sub> ≤ 3; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 30-45; MgO = 3-5; FeO ≤ 1; CaF <sub>2</sub> ≤ 10	10-50	60-80	[3]
Обработка Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> *	порошок Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> вдувают в объем жидкого расплава через фурму в струе газа-носителя	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ≈ 100	5-10	70-80	[4, 5]
Обработка порошкообразной смесью, содержащей известь	смесь подают на поверхность расплава, который перемешивается роторной мешалкой и инертным газом	CaO = 90; CaF <sub>2</sub> = 5; кокс = 5	5-10	60-80	[6, 7]
Инжекция смесей на основе извести и магния	реагенты инжeksiруются в объем жидкого расплава через фурму в струе инертного газа-носителя	Mg = 30; CaO = 70	5-8	65-75	[8, 9]
Инжекция смесей на основе магния	гранулированный магний, покрытый солями натрия, инжeksiруют в объем жидкого расплава через фурму в струе природного газа	металлический магний ≈ 100	0,3-0,5	70-80	[4, 7]
Ввод магния в кусках	куски магния вводятся в испарителях колокольной формы в объем жидкого расплава	металлический магний ≈ 100	1,0-8,0	50-60	[5, 7]
Обработка по технологии дугового глубинного восстановления (ДГВ)	активный реагент вводят в форме оксида, который восстанавливается непосредственно в объеме расплава по средству теплоты электрической дуги	Al = 15-25; MgO = 25-65; CaO = 25-50	1,5-3,0	70-80	[10]
Обработка порошковой проволокой	порошковую проволоку, содержащую активный реагент вводят непосредственно в объем расплава при помощи трайбаппаратов	Mg = 78; CaC <sub>2</sub> = 22	0,3-0,6	50-60	[5]

\* Применение Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> требует использования систем аспирации и газоочистки

технологий, которые рассматривались, связанные с использованием дополнительного оборудования, размещение которого требует наличие свободного места непосредственно на производственном участке. Среди всех рассмотренных способов удаления серы из расплава наименьшими габаритами оборудования отличаются технологии ДГВ и обработка порошковой проволокой с активными реагентами.

Учитывая приведенные выше сведения, для использования на отечественных предприятиях можно рекомендовать технологии инъекции смесей на основе магния, извести и магния, а также ДГВ. Однако их

внедрение требует наличия свободного места непосредственно на производственном участке для установки дополнительного оборудования и проведения частичной модернизации производственного цикла.

### Выводы

Рассмотрены современные технологии внепечной десульфурации железоуглеродистых расплавов.

Проанализированы технологические особенности и основные показатели применения различных технологий внепечной удаления серы из жидких чугунов.

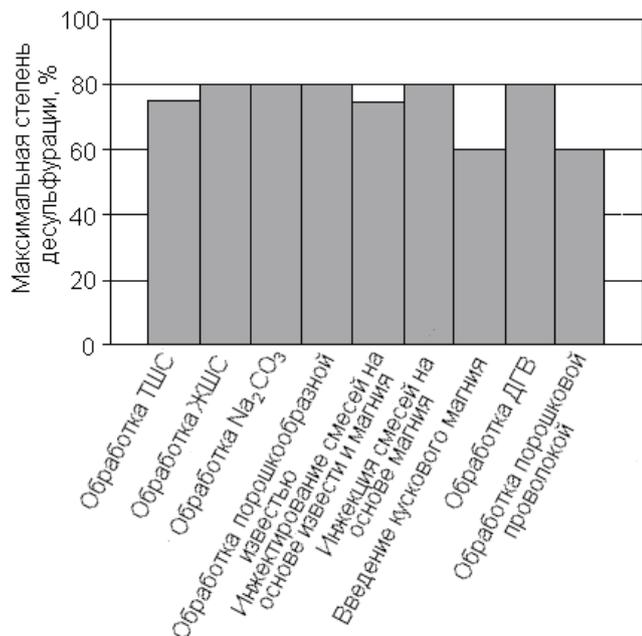


Рис. 1. Сравнительный анализ максимальной степени десульфурации расплава при обработке по различным технологиям внепечного рафинирования

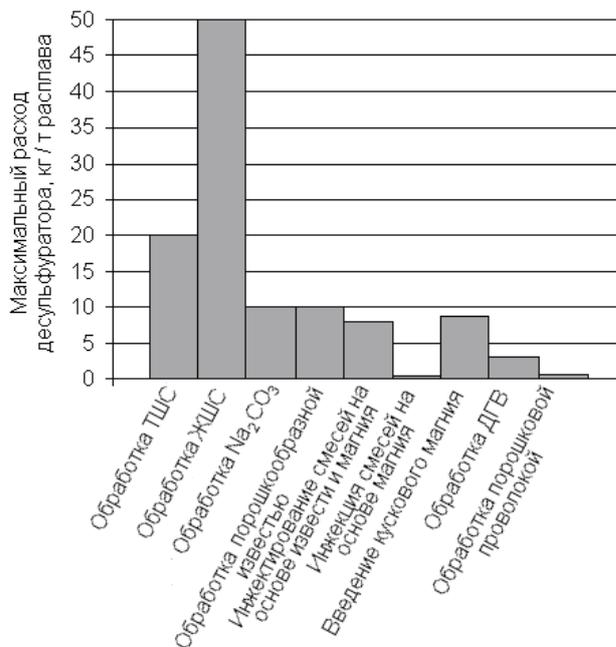


Рис. 2. Сравнительный анализ максимального расхода реагентов, применяемых в различных технологиях внепечной десульфурации

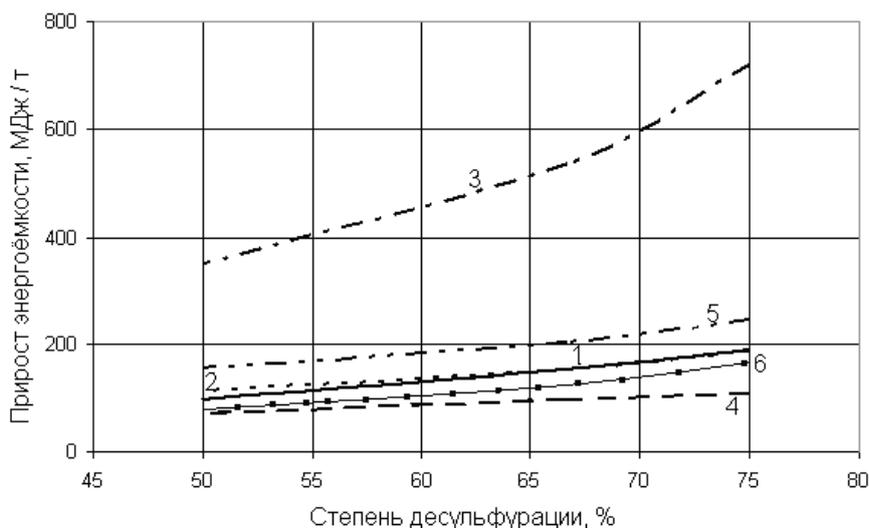
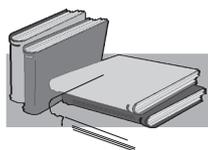


Рис. 3. Зависимость прироста энергоёмкости чугуна от степени десульфурации при использовании различных технологий: 1 – инъекция гранулированного магнезии; 2 – инъекция смеси гранулированного магнезии и извести; 3 – введение проволоки, содержащей карбид кальция; 4 – инъекция пылевидной извести; 5 – введение проволоки, содержащей магнезии; 6 – обработка по технологии ДГВ



## ЛИТЕРАТУРА

1. Десульфурация конвертерной стали в ковше кусковыми и порошкообразными шлаковыми смесями на основе извести / А. М. Поживанов, В. Ф. Поляков, В. А. Одинцов и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1991. – № 3. – С.13-15.
2. Борнацкий И. И., Мачкин В. И., Живченко В. С. Внепечное рафинирование чугуна и стали. – Киев.: Техника, 1979. – 168 с.
3. Эффективность использования известково-глиноземистого шлака при внепечной обработке стали / А. А. Фетисов, А. Я. Кузовков, В. А. Ровнушкин и др. // *Сталь*. – 1990. – № 5. – С. 24-26.
4. Величко О. Г., Бойченко Б. М., Стоянов О. М. Технології підвищення якості сталі. Дніпропетровськ: Системні технології, 2009. – 234 с.

5. *Поживанов М. А.* Внепечная металлургия чугуна. – К.: ФТИМС НАН Украины. – 2006. – 78 с.
6. *Носкова Т. В., Перевалов Н. Н.* Обработка стали вне плавильного агрегата порошкообразными реагентами // Ин-т «Черметинформация», 1981. – Обзор информ. Сер. Сталеплавильное производство. Вып. 1. – 38 с.
7. *Бойченко Б. М., Охотський В. Б., Харлашин П. С.* Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія: Підручник. – Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2006. – 456 с.
8. *Dukelow Donald A.* Denelphunijation of National Steel Corporation // Proc. Low-Sulphur Steel. Symp. Ann Arbor. – Mich. – 1985. – P. 107.
9. *Ехансон Р.* Инжекционная металлургия // Труды Международной конференции. Лулеа (Швеция). – М.: Металлургия. – 1982. – С.174-181.
10. Экспериментальные исследования десульфурации чугуна магнезитом в условиях ДЗПВ / К. Г. Низяев, А. Г. Величко, Б. М. Бойченко и др. // Теория и практика металлургии. – 2001. – № 6. – С. 16-19.

### Анотація

*Молчанов Л. С., Низяев К. Г., Бойченко Б. М., Стоянов О. М., Синегін Є. В., Трохінін О. В.*

Аналіз технологічної ефективності різних способів позапічної десульфуратії чавуну

*Розглянуто питання позапічної десульфуратії рідкого чавуну. Проаналізовано основні переваги та недоліки існуючих технологій видалення сірки з чавуну. Визначено найбільш перспективні технології позапічної десульфуратії чавуну для вітчизняних підприємств.*

### Ключові слова

*десульфуратія, технологічна ефективність, енергоємність, чавун, аналіз*

### Summary

*Molchanov L. S., Niziaev K. G., Boichenko B. M., Stoianov A. N., Sinegin I. V., Trohinin O. V.*

The technological efficiency analysis of different ways hot metal desulfurization

*The article describes topical issues – problems of hot metal desulphurization. The main advantages and disadvantages of existing technologies of hot metal desulphurization were analyzed. The most perspective technologies of cast iron desulfurization for Ukrainian steelmaking plants were determined.*

### Keywords

*desulfurization, technological efficiency, energy consumption, cast iron, analysis*

Поступила 08.04.14