

Д.Н. Тогобицкая, д.т.н., проф., зав.отделом, ORSID 0000-0001-6413-4823

А.С. Вергун, д.т.н., с.н.с., ORSID 0000-0001-5493-9214

Л.С. Молчанов, к.т.н., с.н.с., ; ORSID 0000-0001-6139-5956

В.Г. Кисляков, к.т.н., с.н.с., зав. отделом, ORSID 0000-0002-1775-5050

Ю.М. Лихачев, н.с.,

Н.Е. Ходотова, м.н.с.

ПОДСИСТЕМА «ВОЧ» В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОЙ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ В СЛОЖИВШИХСЯ СЫРЬЕВЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины

Аннотация. Создание сквозной технологии производства конкурентоспособной металлопродукции в современных условиях ставит на повестку дня задачу оптимизации многозвеньевой цепи получения металла. В решении указанной задачи значительная роль принадлежит разработке информационно-моделирующей системы анализа и принятия решений для выбора оптимальной схемы технологии. Важным звеном сквозной технологии является внепечная обработка чугуна. Как показал анализ различных технологических решений по десульфурации чугуна, в настоящее время наиболее экономичным, рациональным и предпочтительным является процесс, разработанный в Институте черной металлургии. Процесс реализуется путем вдувания через погружаемые фурмы диспергированного зернистого магний без добавок. Используются специальная системы дозирования и инжекции. Показано, что разработанный процесс прошел многочисленное промышленное опробование на отечественных и зарубежных заводах. Для оптимизации процесса сквозной технологии и ее информационно-математического обеспечения разработаны модульные математические модели. Создана интегрированная база данных, обобщающая информацию о параметрах технологии десульфурации чугуна зернистым магнием. Описана и представлена экспертная система «Внепечная обработка чугуна», позволяющая обеспечить получение высококачественной металлопродукции. Изучена адекватность разработанной модели для прогнозирования удельного расхода магния при внепечной обработке чугуна. Выполненные разработки создали предпосылки для построения архитектуры Экспертной системы принятия решений. Пополнение базы данных информацией текущих и других технологий десульфурации чугуна позволит уточнить существующие и получить описательные модели для различных реагентов, которые послужат основой для алгоритмического обеспечения аналитического блока экспертной системы.

Ключевые слова: десульфурация, чугун, магний, информационная система, модель.

Ссылка для цитирования: Тогобицкая Д.Н., Вергун А.С., Молчанов Л.С., Кисляков В.Г., Лихачев Ю.М., Ходотова Н.Е. Подсистема «Внепечная обработка чугуна» в решении задач выбора рациональной технологии получения качественной металлопродукции в сложившихся сырьевых и технологических

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2019. - Вып.33

«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy»». – 2019. – Collection 33

ISSN 2522-9117 «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2019. – Vypusk

условиях. //«*Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*». – 2019. - Вып.33. – С.3-32. (In Russian). DOI 10.52150/2522-9117-2019-33-105-115

Современное состояние вопроса. Метод комплексной оценки показателей процессов внепечной десульфурации чугуна глубоко и всесторонне проанализирован в работе [1]. Как показал анализ различных технологических решений, в настоящее время из всех применяемых процессов внепечной десульфурации наиболее экономичным, рациональным и предпочтительным является разработанный в Институте черной металлургии процесс внепечной десульфурации чугуна вдуванием диспергированного (зернистого) магнезия без разубоживающих добавок через погружаемые фурмы с применением специальной системы дозирования и инъекции.

Задачи внедоменной обработки чугуна, в большинстве своем физико-химически сложные и многофакторные. Они зависят от множества различных факторов, изменяющихся с течением времени и влияющие на формирование конечного продукта. Реальные эксперименты по исследованию поведения реальных параметров сложны, экономически затратные, а часто их проведение просто невозможно. Решить данную проблему помогают модели. Единая методология создания моделей по переделам по модульному принципу, в котором каждый вариант технологии представлен соответствующим модулем, позволяют обеспечить их наращивание в процессе развития алгоритмов и осуществить генерацию моделей металлургических процессов в единую сквозную модель с целью организации оптимальной схемы производства металла заданного качества при минимальных энергетических и сырьевых затратах.

Важность оперативной оценки металлургических свойств железорудного сырья и продуктов доменной плавки, а также отсутствие на металлургических предприятиях соответствующих установок для испытания материалов обусловили работы по созданию в Институте черной металлургии баз данных «Железорудные материалы», «Шлак», «Шлак-Металл-Газ» [2–5]. Результаты экспериментальных исследований, накопленных в базах, используются для разработки прогнозных моделей свойств железорудных материалов и получаемых из них расплавов с целью совершенствования методов управления производством высококачественного сырья и получения из них качественных продуктов плавки. В работе под руководством Старова Р.В. [6] для подсистемы «Внепечная обработка чугуна» получены уравнения, описывающие зависимость расхода реагента от начального и конечного содержания серы в чугуне, а также типа ковша.

Целью работы являлась разработка концептуальных основ и создание информационного ресурса подсистемы для изучения, выявления закономерностей и моделирования процессов внепечной обработки чугуна.

Основные результаты исследования. Согласно принятой концепции основой информационной технологии являются данные, учитывающие характеристики ковшей, химический состав и температуру чугуна, материалы-десульфураторы, а также состав чугуна и шлака по окончании обработки. Информация организованная в базу данных (БД), адекватно отражает реальные параметры технологий внепечной обработки чугуна. База данных (БД) представляет собой совокупность взаимосвязанных файлов данных определенной

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2019. - Вып.33

«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33

ISSN 2522-9117 *«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2019. – Выпуск 33*

организации, регламентируемой соответствующим машинным паспортом в строгом соответствии с паспортизацией, принятой при создании отраслевого банка данных «Металлургия». [7]

Концептуально информационная система (ИС) предназначена для сбора и накопления информации, характеризующей технологию внепечной обработки чугуна и ее эффективного использования для всевозможных целей. Для работы с базой данных использована Информационная поисковая система (ИПС) разработки ИЧМ созданной с целью мобильности изменения средств ИПС и ее быстрой адаптации к реалиям технологии металлургии чугуна и стали, так и к потребностям Пользователей.

Основные компоненты ИПС – это программные средства, поисковый массив документов, средства поддержки информационного языка системы, обеспечивающий организацию и управление данными (ввод, хранение, защита, поиск и выдача) соответствующей информации. Он представляет собой набор ссылок на документы (или их описаний), хранящей основную информацию о них и организованный так, чтобы обеспечить оперативный поиск. Созданная БД организована для Пользователя, не имеющего опыта работы с информационными технологиями баз данных.

База данных по внепечной обработки чугуна «ВОЧ» является полнотекстовой формой организации документальной БД. Именно хранение текста (в полном или сокращенном объеме) дает возможность обеспечить тематический поиск по определенной проблеме или определенному вопросу, что регламентируется определенным запросом, обеспеченным гибким интерфейсом.

Адаптированная ИПС дает возможность:

- ввести документ, отредактировать его, произвести поиск и сформировать отчетные документы по результатам поиска в формате пользователя;
- хранить в БД документы разного типа (форматов);
- использовать для записи данных поля переменной (нефиксированной) длины;
- обеспечить хранение и работу с несколькими значениями одной характеристики в одном поле;
- реализовать гибкие поисковые функции (при работе с текстом).

Документ базы данных состоит из нескольких полей, которые объединяются в группы. Группа 1 описывает документальную часть базы (Таблица 1). Фактографическую часть описывает Таблица 2. Для поиска информации используются поля «Ключевые слова», «Авторы» и т.д.

Разработки информационно-математического обеспечения по созданию Экспертной системы «Десульфурация чугуна зернистым магнем» велась в трех направлениях.

Первое связано с развитием подсистемы информационного обеспечения. Разработан программный модуль автоматизированной процедуры пополнения форматизованных по специальному шаблону машинных паспортов из архива технологической информации Пользователя в среде Excel. Для актуализации базы данных и

многопланового поиска по поисковым образам (ключевые слова, авторы, предприятие, показатели технологии и т.д.) разработана программа, которая позволяет конвертировать информацию из Excel-файлов в структуру ИПС с целью пополнения ранее разработанной сотрудниками Отдела внепечной обработки чугуна технологической базы и формировать адекватные индексные и поисковые образы. Сервис работы с ИПС как указано ранее обеспечивает многоплановый поиск Пользователя, просмотр и выгрузку информации по любому реквизиту (ключевые слова, авторы, технология, предприятие и т.д.).

Таблица 1. Документальная часть базы

Ключевые слова	Магний, азот, фурма с испарителем
Авторы	к.т.н. Двоскин Б.В.
Название	Разработка технологических решений и документации в комплексе работ по проектированию и освоению УДЧ сталь завода №2 Тангшаньского МК
Издание	РМ.07.04 г., Днепропетровск. - 2005. - 44 с.
Реферат	Освоена технология десульфурации магнием со снижением содержания серы до 0,002%
Референт	к.т.н. Кисляков В.Г.
Эксперт	д.т.н. Шевченко А.Ф.
Предприятие	Тангшань – 2
Методика	Проведен осмотр и подготовка оборудования к работе. Проведены "холодные", "горячие" и гарантийные испытания работы установки. Химанализ проб чугуна выполнялся в хим. лаборатории предприятия и ИЧМ

Таблица 2 – Фактографическая часть базы

Параметры технологии										
Масса чугуна, т	Тем-ра нач., °С	Тем-ра кон., °С	Масса реаген-та, кг	Сера исх., %	Сера кон., %	Глубина погружения, м	Масса шлака, т	Интенсивность ввода, кг/мин	Расход газа носителя, нм ³ /ч	Время обработки, мин:сек
39,5	1286	1256	19,75	0,027	0,006	1,70	1,1	4	45	5:30
41,6	1322	1293	25,79	0,032	0,004	1,85	0,9	4	35	6:00
34,0	1351	1335	18,70	0,024	0,005	1,70	0,8	4,5	30	4:00
38,5	1317	1280	23,10	0,026	0,006	1,80	0,8	4,5	35	5:06
37,0	1286	1255	23,31	0,034	0,005	1,85	0,8	4,5	35	5:01
38,5	1240	1208	23,49	0,055	0,005	1,80	0,8	4,5	35	5:08

Второе направление разработок связано с изучением адекватности разработанной модели прогнозирования удельного расхода металлического магния при внепечной обработке чугуна, а также оценки роли отдельных составляющих модели (1).

$$Mg_{Mg}^* = X1 \cdot (X2 + X3 + X4 - X5 - X6) \quad (1)$$

где:

$$X1 = 10,5475 \cdot S_{\text{нач.}} + \frac{0,00095}{S_{\text{кон.}}} \quad ; \quad X2 = \frac{M_{\text{чуг}}^{\Phi}}{52,4} \quad ;$$

$$X3 = \frac{(T_{\Phi} - 1325)}{100} \cdot \left(\frac{112,605 + (0,1844 \cdot T_{\Phi} - 385,22)}{112,605} \right) \quad ;$$

$$X4 = (I_{\Phi} - 5,26) \cdot 0,0979 \quad ;$$

$$X5 = (H_{\Phi} - 1,86) \cdot \left(\frac{-108,63}{0,00004 \cdot H_{\Phi}^2 - 0,0005 \cdot H_{\Phi} - 108,63} - 1 \right) ;$$

$$X6 = (q_{\text{шл}}^{\Phi} - 2,8) \cdot 0,019.$$

Здесь: $S_{\text{нач.}}$ – начальное содержание серы в чугуне, %;

$S_{\text{кон.}}$ – конечное содержание серы в чугуне после обработки, %;

$M_{\text{чуг}}^{\Phi}$ и 52,4 – фактическая и стандартная масса чугуна соответственно, т.;

T_{Φ} и 1325 – температура фактическая обработки и стандартная для ядра модели, соответственно, °С;

H_{Φ} и 1,86 – глубина погружения фурмы при обработке фактическая и стандартная для ядра модели, м;

I_{Φ} и 5,26 – интенсивность ввода магния фактическая и стандартная для ядра модели, кг/мин.;

$q_{\text{шл}}^{\Phi}$ и 2,8 – количество шлака до обработки фактическое и стандартное для ядра модели, %.

Как следует из рис. 1 основной вклад в описательную модель вносит факторная составляющая $X1$ (ядро), которая описывает соотношение требуемого и начального содержания серы в чугуне [8].

Используемая ранее аппроксимация этой составляющей аналитическим выражением (2) в отдельных случаях несколько повышает точность модели (рис.1), однако в случае выражение структуры (1) является более предпочтительным.

$$q = 0,2765 + 19,2042 \cdot (S_{\text{нач}} + 0,008) - 40,759 \cdot S_{\text{кон}} - \\ - 149,14 \cdot (S_{\text{нач}} + 0,008)^2 + 76,19 \cdot (S_{\text{нач}} + 0,008) \cdot S_{\text{кон}} + 441,63 \cdot S_{\text{кон}}^2$$

(2),

где: q – удельный массовый расход реагента, кг/т.

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2019. - Вып.33

«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33

ISSN 2522-9117 «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2019. – Vypusk 33

Третье направление связано с разработкой архитектуры модельной системы для экспертной оценки внепечного рафинирования чугуна.

Выполненные разработки создали предпосылки для построения архитектуры Экспертной системы принятия решений, макросхема которой представлена на рис. 2.

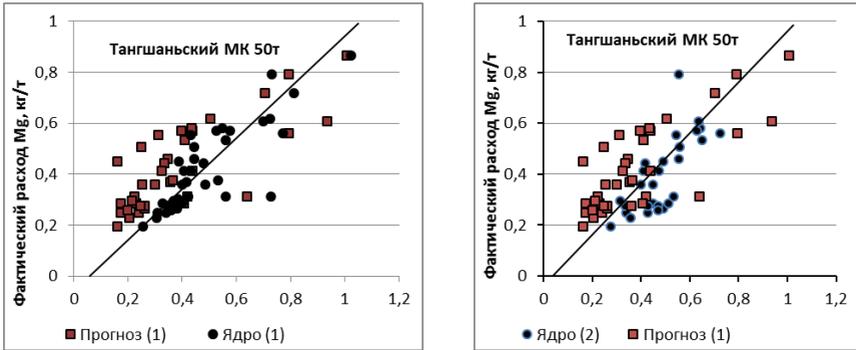


Рисунок 1 – Сопоставительный анализ расчетных и фактических значений расхода металлического магния на десульфурацию чугуна

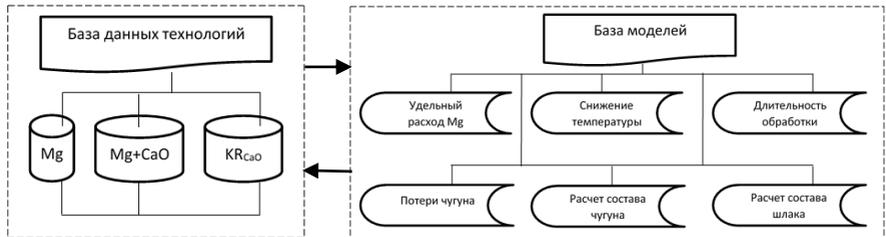


Рисунок 2 – Схема информационно-математического обеспечения алгоритма системы внепечной обработки чугуна

Выводы.

1. Создана интегрированная база данных, обобщающая информацию о параметрах разработанной и прошедшей многочисленное промышленное опробование на отечественных и зарубежных условиях десульфурация чугуна зернистым магнием. В комплексе с разработанной ИПС обеспечивается оперативный поиск информации как в полном так и в любом усеченном виде с выгрузкой данных в Excel формате.

2. Созданная база технологических данных позволила разработать соответствующие прогнозные модели благодаря заложенной концепции работы баз данных и моделей в режиме взаимной дополнителности.

3. Пополнение базы данных информацией текущих и других технологий десульфурации чугуна позволит уточнить существующие и

получить описательные модели для различных реагентов, которые послужат основой для алгоритмического обеспечения аналитического блока Экспертной системы.

Бibliографический список

1. Шевченко А.Ф. Комплексный подход при выборе и оценке технологии внепечной десульфурации чугуна // Сб. трудов ИЧМ НАН Украины. Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – К.: Наукова думка. 2010. – С. 106-120.
2. Приходько Э.В. Базы физико-химических и технологических данных для создания информационных технологий в металлургии / Э.В. Приходько, Д.Н. Тогобицкая // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1999. – №3. – С. 17-21.
3. Приходько Э.В. Прогнозирование физико-химических свойств окисленных систем. / Э.В. Приходько, Д.Н. Тогобицкая, А.Ф. Хамхотько, Д.А. Степаненко. – Днепропетровск: Пороги, 2013. – 344 С.
4. Скачко А.С. Базы данных и моделей для прогнозирования свойств железорудных материалов / А.С. Скачко, Д.Н. Тогобицкая, А.И. Белькова, Ю.М. Лихачев // Материалы XIII Всеукраинской научно-практической конференции «Специальная металлургия: вчера, сегодня, завтра» – г. Киев, 21 апреля 2015 г. – С. 816-826.
5. Тогобицкая Д.Н. Белькова А.И., Гринько А.Ю. Моделирование процессов взаимодействия расплавов в восстановительных условиях доменной плавки. // Математичне моделювання. – Дніпродзержинськ. – 2011. – №2(25). – С. 54-59.
6. Старов Р.В. Сквозная модель производства жидкого металла, включающая технологию доменной и конвертерной плавки, внепечной обработки чугуна и стали / Р.В. Старов, Д.Н. Тогобицкая, В.С. Харахулах, Н.А. Гладков, Г.Г. Магучио // Металл и литье Украины. – Киев. – 1995 №1. – С. 10-15.
7. Жмойдин Г.И. О паспортизации экспериментальных материалов для банка данных «Металлургия» / Г.И. Жмойдин, Э.В. Приходько, Д.Н. Тогобицкая, А.Ф. Хамхотько, Ю.М. Лихачев // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 1988. – №8. – С. 136-139.
8. Шевченко А.Ф., Маначин И.А., Вергун А.С. и др. Внепечная десульфурация чугуна в ковшах. Технология. Исследования. Анализ. Совершенствование. Днепропетровск. "Дніпро-VAL". – 2017. – 253 с.

Reference

1. Shevchenko A.F. (2010). Kompleksnyj podhod pri vybore i ocenke tehnologii vnepechnoj desulfuracii chuguna [An integrated approach to the selection and assessment of the technology for secondary desulfurization of cast iron]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy chernoј metallurgii. Sb. trudov ISI NAN Ukrainy [Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy. Collection of scientific articles ISI NANU]*. Kiev: Naukova dumka, 2010, 106-120. (In Russian).
2. Prihod'ko E.V., & Togobickaya D.N. (1999). Bazy fiziko-himicheskikh i tehnologicheskikh dannyh dlya sozdaniya informacionnyh tehnologij v metallurgii

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2019. – Вип.33
«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33

- [Databases of physical, chemical and technological data for the creation of information technologies in metallurgy]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost' [Metallurgical and mining industry]*, 1999, 3, 17-21. (In Russian).
3. Prihod'ko E.V., Togobickaya D.N., Hamhot'ko A.F. & Stepanenko D.A. (2013). *Prognozirovanie fiziko-himicheskikh svoystv oksislennykh sistem [Prediction of the physicochemical properties of oxidized systems]*. Dnepropetrovsk: Porogi, 2013, 344 p. (In Russian).
 4. Skachko A.S., Togobickaya D.N., Bel'kova A.I. & Lihachev Yu.M. (2015). Bazy dannyh i modelej dlya prognozirovaniya svoystv zhelezorudnykh materialov. [Databases and models for predicting the properties of iron ore materials]. *Materialy XIII Vseukrainskoj nauchno-prakticheskoy konferencii: Special'naya metallurgiya: vchera, segodnya, zavtra (21 aprelya 2015 g) [Materials of the XIII All-Ukrainian Scientific and Practical Conference: Special Metallurgy: Yesterday, Today, Tomorrow]*, Kiev, 2015, 816-826pp. (In Russian).
 5. Togobickaya D.N., Bel'kova A.I. & Grin'ko A.Yu. (2011). Modelirovanie processov vzaimodejstviya rasplavov v vosstanovitel'nykh usloviyah domennoj plavki [Modeling the processes of interaction of melts in the reducing conditions of blast furnace smelting]. *Matematichne modelyuvannya [Mathematical modeling]*. Dniprodzerzhyn'sk, 2011, 2(25), 54-59. (In Russian).
 6. Starov R.V., Togobickaya D.N., Harahulak V.S., Gladkov N.A. & Matuhio G.G. (1995). Skvoznaya model' proizvodstva zhidkogo metalla, vkluchayuschaya tehnologiyu domennoj i konverternoj plavok, vnepechnoj obrabotki chuguna i stali [End-to-end model for the production of liquid metal, including the technology of blast-furnace and converter smelting, secondary processing of cast iron and steel]. *Metall i lit'e Ukrainy [Metal and casting of Ukraine]*, 1995, 1, 10-15. (In Russian).
 7. Zhmojdin G.I., Prihod'ko E.V., Togobickaya D.N., Hamhot'ko A.F., & Lihachev Yu.M. (1988). O pasportizacii `eksperimental'nykh materialov dlya banka dannyh "Metallurgiya" [About certification of experimental materials for the database "Metallurgy"]. *Izv. VUZov. Chernaya metallurgiya [Izvestiya. Ferrous metallurgy]*, 1988, 8, 136-139. (In Russian).
 8. Shevchenko A.F., Manachin I.A. & Vergun A.S. et al. (2017). Vnepechnaya desulfuraciya chuguna v kovshah [Out-of-furnace desulfurization of cast iron in ladles]. *Tehnologiya. Issledovaniya. Analiz. Sovershenstvovanie [Technology. Research. Analysis. Improvement]*. Dnepropetrovsk: Dnipro-VAL, 2017, 253 p. (In Russian).

Д.М. Тогобицька, д.т.н., проф., зав.відділом, ORSID 0000-0001-6413-4823

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

Л.С. Молчанов, к.т.н., с.н.с., ; ORSID 0000-0001-6139-5956

В.Г. Кисляков, к.т.н., с.н.с., зав.відділом, ORSID 0000-0002-1775-5050

Ю.М. Ліхачов, н.с.

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. – 2019. - Вып.33

«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33

ISSN 2522-9117 «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2019. – Vypusk 33

Н.С. Ходотова, м.н.с.

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

Підсистема «ПЮЧ» у вирішенні завдань вибору раціональної технології отримання якісної металопродукції в сировинних і технологічних умовах, що склалися

Анотація. Створення наскрізної технології виробництва конкурентоспроможної металопродукції в сучасних умовах ставить на порядок денний завдання вибору оптимальної схеми технології отримання металу. У вирішенні зазначеної задачі значна роль належить розробці інформаційно-модельоючої системи аналізу та прийняття рішень. Важливою ланкою наскрізний технології є позапічна обробка чавуну. Як показав аналіз різних технологічних рішень з десульфурації чавуну, сьогодні найбільш економічним, раціональним і доцільним є процес, розроблений в Інституті чорної металургії. Процес реалізується шляхом вдування через занурювані фурми диспергированного зернистого магнію без добавок. Використовуються спеціальної системи дозування і інжекції. Розроблений процес пройшов численне промислове випробування на вітчизняних і зарубіжних заводах. Для оптимізації процесу наскрізної технології та її інформаційно-математичного забезпечення розроблені модульні математичні моделі. Створена інтегрована база даних, що узагальнює інформацію про параметри технології десульфурації чавуну зернистим магнієм. Описана і представлена експертна система «Позапічна обробка чавуну», що дозволяє забезпечити отримання високоякісної металопродукції. Вивчено адекватність розробленої моделі для прогнозування питомих витрат магнію при позапічній обробці чавуну. Виконані розробки створили передумови для побудови архітектури Експертної системи прийняття рішень. Поповнення бази даних інформацією поточних та інших технологій десульфурації чавуну дозволить уточнити існуючі та отримати описові моделі для різних реагентів, що послужать основою для алгоритмічного забезпечення аналітичного блоку експертної системи.

Ключові слова: десульфурація, чавун, магній, інформаційна система, модель.

D.N. Togobitskaia, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of the Department, ORSID 0000-0001-6413-4823

A.S. Vergun, Dr. Sci., (Engin.), Senior Research Scientist, ORSID 0000-0001-5493-9214

L.S. Molchanov, PhD (Engin.), Senior Research Scientist, ORSID 0000-0001-6139-5956

V.G. Kislyakov, PhD (Engin.), Senior Researcher, Head of Department, ORSID 0000-0002-1775-5050

Y.M. Likhachov, Researcher,

N.E. Khodotova, Junior Researcher,

Iron and Steel Institute named after Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine

«Out-of-furnace cast iron processing» subsystem in the solution of tasks for the choice of rational technology for producing quality metal products under the applicable conditions of raw material and technological.

Summary. The creation of end-to-end technology for the production of competitive metal products in modern conditions puts on the agenda the task of choosing the optimal metal production technology scheme. In solving this problem, a significant role belongs

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2019. – Вып.33

«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy»». – 2019. – Collection 33

ISSN 2522-9117 *«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii»». – 2019. – Выпуск 33*

to the development of an information-modeling system for analysis and decision making. An important link in end-to-end technology is the after-furnace treatment of cast iron. As the analysis of various technological solutions for pig iron desulfurization has shown, the process developed at the Institute of Ferrous Metallurgy is currently the most economical, rational and preferred. The process is carried out by blowing through the immersed tuyeres of dispersed granular magnesium without additives. A special dosing and injection system is used. The developed process has undergone numerous industrial testing at domestic and foreign factories. To optimize the process of end-to-end technology and its information-mathematical support, modular mathematical models have been developed. An integrated database has been created that summarizes information on the parameters of cast iron desulfurization technology with granular magnesium. The expert system «Out-of-furnace cast iron processing» is described and presented, which allows to obtain high-quality metal products. The adequacy of the developed model for predicting the specific consumption of magnesium in the after-furnace treatment of cast iron was studied. The completed developments created the prerequisites for building the architecture of the Expert Decision Making System. The replenishment of the database with information on current and other technologies for pig iron desulfurization will make it possible to refine the existing and obtain descriptive models for various reagents, which will serve as the basis for the algorithmic support of the analytical unit of the expert system. **Key words:** desulfurization, hot metal, magnesium, information system, model.

Key words: desulfurization, cast iron, magnesium, information system, model.

For citation: *Togobitskaya D.N., Vergun A.S, Molchanov L.S., Kislyakov V.G., Likhachev YU.M., Khodotova N.Ye. Podsystema «Vnepechnaya obrabotka chuguna» v reshenii zadach vybora ratsional'noy tekhnologii polucheniya kachestvennoy metalloproduksii v slozhivshikhsya syr'yevykh i tekhnologicheskikh usloviyakh. [Subsystem "Out-of-furnace iron processing" in solving the problems of choosing a rational technology for obtaining high-quality metal products in the current raw material and technological conditions.]. «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». [Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy] 2020, 34. 105-115. (In Russian). DOI 10.52150/2522-9117-2019-33-105-115*

*Статья поступила в редакцию сборника 25.09.2019 года,
прошла внутреннее и внешнее рецензирование (Протокол заседания
редакционной коллегии сборника №2 от 23 декабря 2019 года)*