

опоки к резиновому уплотнению бункера дозирования песка. Затем открывается перфорированный затвор бункера и включаются вибраторы. Песок засыпается в полуформу и уплотняется вибратором. После заполнения песок выравнивается по верхней поверхности опоки задвижкой и накрывается покровной пленкой.

После создания вакуума в опоке песок сжимается атмосферным давлением, и на этом процесс формовки заканчивается. Опока очередным поворотом стола передается на станцию передачи опок и после отключения вакуума в держателе модели приподнимается устройством захвата, подъема, передачи и поворота опок и передается с поддержанием вакуума: нижняя – к транспортным тележкам стержнеукладчика; верхняя – к промежуточной станции хранения верхних опок. При этом нижняя опока всегда поворачивается на 180°, а верхняя – по необходимости. Нижние опоки транспортируются тележками к участку простановки стержней. После завершения операции по простановке стержней нижние опоки транспортируются на участок спаривания опок, где накрываются верхними опоками, которые до этого были предварительно подготовлены (установлены литниковые воронки, приклеены питатели).

Во время заливки и затвердения сплава формы остаются подключенными к вакуумной системе. Вакуумная система включает в себя вакуумно-насосное отделение, сеть вакуумных трубопроводов, стойки с гибкими трубопроводами для ручного подключения вакуума к формам, систему подачи и охлаждения рабочей жидкости вакуумных насосов.

После остывания отливки форма отключается от вакуума и транспортируется на станцию выбивки, где отливка извлекается из формы.

Выводы. Технология литья с применением вакуумно-пленочной формовки, имеет ряд основных преимуществ, которые невозможно получить при других технологиях:

- минимальные припуски на механообработку отливок, особо точные геометрические размеры;
- точное воспроизведение форм и маркировок;
- высокое качество поверхности, которое часто не требует дополнительной финишной обработки;
- существенное уменьшение условий для возникновения «горячих трещин»;
- обновление свежего песка не более 10%, что позволяет значительно снизить затраты на его сушку и транспортировку;
- сокращение расходов за счет увеличения полезного срока использования моделей;
- исключение сушки форм, что приводит к значительной экономии газа и углекислоты;
- исключение значительной части связующих материалов и от смесеприготовления в целом;
- сводится к минимуму утилизация и захоронение отработанной формовочной смеси и, как следствие, отсутствие загрязнения окружающей среды.

Список литературы

1. Штольцель К. Технологические процессы литейного производства/ М.:«Машиностроение», 1975.- 255с.
2. Сафронов В.Я. Справочник по литейному оборудованию/ М.: «Машиностроение», 1985.-320 с.

Рукопись поступила в редакцию 19.02.12

УДК 669.162.1.001.57

С.Г. САВЕЛЬЕВ, канд. техн. наук, доц., Я.А. СТОЙКОВА, аспирант
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ОКУСКОВАННОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ

Выполнен сравнительный анализ существующих методов математического моделирования процессов производства окускованного железорудного сырья, показана целесообразность применения многоцелевых микропроцессорных комплексов для исследования процессов спекания и обжига.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Процессы производства агломерата и окатышей связаны с технически и технологически сложными операциями, важнейшими из которых являются спекание аглошихты и обжиг сырых окатышей. Для исследования процессов, протекающих в ходе осуществления данных операций, широко применяется математическое моделирование, при котором исследуемые процессы заменяются моделями.

Моделирование процессов спекания и обжига должно вмещать совокупность важнейших свойств, присущих объектам исследования. При построении моделей спекания и обжига необходимо учитывать многочисленные параметры этого процесса. Важными входными параметрами являются: содержание основных компонентов в шихте; влажность шихты; газопроницаемость шихты; высота слоя шихты; расход воздуха на процесс; условия зажигания – температура горна (температура среды в горне), температура зажигания (температура над поверхностью спекаемой шихты), обобщенная температура термообработки. Важными выходными параметрами являются: скорость спекания; состав и температура отходящих газов; массовая доля закиси железа в готовом продукте; разряжение; время спекания. Возмущающие воздействия: изменение состава шихты; изменение влажности шихты; изменение степени уплотнения шихты; изменение высоты слоя шихты; изменение скорости движения аглоленты; подсосы холодного воздуха; изменение разряжения над зажигаемым слоем; изменение соотношения «топливо-воздух». В настоящее время распространение получило компьютерное моделирование, делающее возможным переработку больших количеств информации в составе математических моделей сложных металлургических процессов.

Анализ исследований и публикаций. Появление в последнее время мощных компьютерных систем и специального программного обеспечения позволяет решать такие задачи, о которых 20 лет назад можно было только мечтать. В основе этого программного обеспечения лежат модели. Математическое моделирование – практически единственный метод решения научных задач особой сложности. А.И. Цаплин и И.Л. Никулин в работе [1] представляют общую схему технологического объекта исследования (рис. 1).

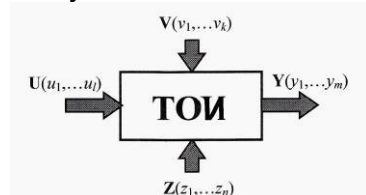


Рис. 1. Технологический объект исследования

Данная схема учитывает все входные, выходные и возмущающие параметры, о которых говорилось выше: U – вектор контролируемых управляющих входов (расходы сырых материалов, энергии, топлива и т.д.); V – вектор контролируемых возмущений (качественные показатели сырья, параметры состояния оборудования, и т.д.); Z – вектор неконтролируемых возмущений; Y – вектор выходов объекта (показатели состояния технологического процесса (температура, давление, состав вещества), качественные и количественные показатели промежуточных или конечных продуктов, технико-экономические показатели производства). Математическая модель представляет собой зависимость $Y = f(U, V, Z)$. Однако вид данной функции зависит от предмета исследования и определяет метод построения модели. В исследовании процессов спекания и обжига функция может зависеть от времени или иметь существующие ограничения на переменные. Когда речь идет о процессе функционирования системы со сложной внутренней структурой, аналитическое описание делается обычно практически невозможным, потому что характеристики модели должны отвечать с достаточной точностью характеристикам моделируемого процесса. Общая элементарная модель в результате проведения на ней экспериментов систематизируется в отдельные блоки. Модель, предложенная Л.А. Люстерником [2], состоит из блоков, отвечающих отдельным этапам работы над моделью так, что всякое изменение программы, вызванное изменением стратегии на каком-нибудь этапе исследования или большей детализацией отдельной работы, сводится в основном к изменению одного блока.

С.Н. Калашников в работе [3] предложил методы моделирования на основе формально-математического описания физико-химических явлений и реализации вычислительного эксперимента. В работе так же указана необходимость создания гибких и универсальных технологий математического моделирования, позволяющих эффективно решать различные научные и технические проблемы.

В работе [4] изложены основные этапы разработки комплексной математической модели, отвечающей требованиям максимальной адекватности реальным теплофизическим и физико-химическим процессам, протекающим в слое при обжиге железорудных окатышей. Разработанная математическая модель рассматривает обжиговый агрегат в целом и затрагивает лишь некоторые аспекты процесса обжига окатышей. Применение данной модели целесообразно лишь для решения технологических задач. Учтены взаимосвязи коллекторов на современных обжиговых машинах за счет рециркуляции газовых потоков, что позволило обрабатывать и оптимизировать тепловые схе-

мы при реконструкции действующих и создании новых агрегатов. Приведены примеры решения технологических задач с использованием математической модели.

Попытка сравнить и структурировать существующие математические модели агломерационного процесса была проведена в работе [5]. В этой работе дан исчерпывающий анализ существующих математических моделей аглопроцесса с учетом многочисленных характеристик основных входных, выходных и возмущающих параметров процесса. В большинстве случаев математические модели в публикациях излагаются не полностью, ряд процессов и их эффектов в моделях учтены в упрощенном виде или не приведены. Возникают трудности при воссоздании их с целью исследования процесса спекания в каких-либо конкретных условиях. Рассмотрены математические модели различных типов, построенных в основном с помощью методов статической термодинамики, которая не учитывает время протекания процессов. Влияние параметра времени протекания процессов спекания и обжига изучают с помощью динамических типов моделей. А интерпретация моделей, описывающая с высокой точностью технологию протекания процессов, производится с помощью имитационных типов математических моделей. Численные методы решения существующих математических моделей являются приближенными, и их погрешность по координате во времени обычно не приведена. Так же возникают трудности при проверке адекватности, какой либо модели. Однако в работе [5] использован принцип системного подхода. Все рассматриваемые процессы сгруппированы в подсистемы: 1 - газодинамики; 2 - тепловых процессов; 3 - массообмена при сушке; 4 - горения топлива; 5 - диссоциации известняка; 6 - формирования состава газовой смеси в слое. Предложенная структурная схема системы процесса спекания, построенная на основе общей схемы технологического объекта исследования (см. рис. 1), является наиболее полной из всех существующих. Многочисленные подсистемы развернуты в отдельных схемах. Это дает возможность исследовать как процесс спекания или обжига в целом на данной модели, так и его конкретные особенности: например, массообмен при сушке или особенности горения топлива. Совместить данные подсистемы не представляется возможным на данном этапе. Поэтому в работе [5] выполнено тестирование отдельных основных алгоритмов и взята за основу лишь модель конвективного теплообмена с добавками других расчетных алгоритмов в качестве подмоделей. И окончательная проверка адекватности данной структурной модели возможна лишь путем проведения промышленных испытаний на производственных агрегатах.

Моделирование всей совокупности процессов протекающих при технологических операциях спекания и обжига является сложной технической задачей, которую можно решить путем применения системного подхода к процессу как к сложному структурированному объекту исследования. Математическая модель сложного процесса спекания или обжига должна включать равнозначные подмодели, которые учитывают основные входные, выходные и возмущающие параметры; объединять в себе несколько методологий моделирования, а также учитывать погрешности округления и аппроксимации. Основная структура модели, ее подсистем и взаимосвязь между ними должна быть сформулирована до создания модели как таковой. А дальнейшие изменения или дополнения могут быть внесены в процессе выполнения модели, проверки ее адекватности и в процессе проведения исследовательской работы с помощью данной универсальной модели.

Постановка задачи. В результате сравнительного анализа существующих методов математического моделирования выявлена необходимость разработки универсальной, адекватной комплексной модели. Существующие на сегодня математические модели процессов, происходящих при спекании железорудных материалов и обжиге железорудных окатышей, позволяют описать лишь точно происходящий процесс или явление. Практическая ценность существующих моделей заключается в определенном объекте исследования, для которого построена модель. На сегодняшний момент, технические возможности позволяют создать универсальную модель для исследования, как всего процесса в целом, так и отдельных его явлений. Описать процесс спекания агломерата или обжига окатышей в целом с учетом различных теплофизических, массообменных и др. процессов, определить динамические характеристики расчетов, связать аналитически основные подсистемы, при этом учитывать адекватность и практическую ценность - главные задачи, которые можно решить с помощью создания универсального комплекса моделирования процесса спекания и обжига. Основная цель данной работы заключается в оценке реальности решения задачи создания универсальной аналитической модели, описы-

вающей сложные физико-химические процессы, протекающие при спекании агломерата и обжиге окатышей.

Изложение материалов и результатов. Математическое моделирование сложных систем - новый метод научного исследования и практически единственный метод решения научных задач особой сложности. Создание универсальной математической модели процессов спекания агломерата и обжига окатышей является достаточно сложной задачей. Ведь характеристики создаваемой модели должны включать алгоритмы, позволяющие воспроизвести с той или иной степенью точности ход этого процесса в разные моменты времени.

Реализация столь сложной задачи на сегодняшний момент является осуществимой. Техническая и программная база позволяет создать универсальный программный комплекс процесса спекания и обжига или взять за основу существующие пакеты программ для проведения инженерных расчетов. Ввиду сложности описания всех параметров процессов спекания и обжига, проблемы взаимосвязи различных явления и факторов процесса, сегодня не существует единой универсальной математической модели, которая позволит проводить разного рода исследования. Определить эффективность влияния совокупности интенсифицирующих факторов и вследствие этого изменения качества готового продукта не представляется возможным. Математическая модель агломерационного процесса или процесса обжига окатышей должна включать все основные этапы математического моделирования.

Постановка задачи должна включать равнозначные по влиянию системы входных, выходных и возмущающих воздействий, учитывать их взаимовлияние. Теплофизические, конвективные процессы при восстановлении, горении топлива и диссоциации карбонатов происходят одновременно в одном спекаемом пористом слое материала либо в слое обжигаемых гранул на одном агрегате.

Поэтому постановка задачи моделирования процесса спекания или обжига является главной и наиболее важной проблемой перед вторым этапом – построением математической модели процесса. Структурная схема модели процесса спекания, предложенная в работе [5], включающая в себя подсистемы газодинамики слоя, процессов теплообмена, процессов массообмена при сушке, горения твердого топлива в слое, диссоциации известняка, формирования газовой смеси в слое, является наиболее широкой и функциональной на сегодняшний день. Но разработана лишь точечная модель системы на основе фазовых превращений в соответствии с диаграммой состояния $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3$, которая реализована с помощью языка программирования Turbo Pascal. Однако это первый значимый шаг на пути к созданию универсальной математической модели процессов спекания агломерата и обжига окатышей.

Применение существующих пакетов программ для проведения инженерных расчетов в области моделирования термодинамических процессов является целесообразным. Необходимо изучить имеющееся разнообразие уже готового и мощного инструментария высокого качества. Все эти пакеты созданы командами профессионалов со значительным опытом работы в своих предметных областях, поэтому не стоит сразу бросаться за создание своих собственных программ. Первым делом нужно аккуратно оценить, что уже сделано профессиональным сообществом, что доступно и чем можно воспользоваться для решения стоящих задач. Для исследования процессов, происходящих при спекании агломерата или обжиге окатышей, можно применять следующие программные комплексы: STAR-CD - многоцелевой программный комплекс, предназначенный для проведения расчетов в области механики жидкости и газа, тепло- и массопереноса, процессов горения и решения других задач; GDT (GasDynamicsTool) - пакет для моделирования газо-динамических процессов в широком диапазоне граничных и начальных условий, расчет газовых струй, решение задач внутренней и внешней аэродинамики, баллистики, горения и детонации и др. Например, пакет прикладных программ ANSYS, возможности которого присущи и всем основным пакетам для проведения инженерных расчетов, позволяет:

строить компьютерные модели или импортировать уже построенные CAD-модели конструкций, моделей, компонентов или систем;

прикладывать действующие нагрузки или задавать любые другие условия работы конструкций и систем;

изучать физические отклики системы или конструкции на различные воздействия (уровни напряжений, распределение температуры, электромагнитные поля);

оптимизировать конструкцию на ранних стадиях проектирования, что позволяет снизить производственные затраты;

создавать прототипы реальных конструкций, действующих в реальных условиях, даже в тех случаях, когда невозможно или нежелательно использовать физическое моделирование (биомедицинские приложения).

Пакет прикладных программ ANSYS обладает следующими возможностями: решение задач различной физической природы: прочность, динамика, теплофизика, гидродинамика, газодинамика, электромагнетизм, а также возможность решения связанных задач. Визуализация исследований на данной прикладной программе может быть представлена цветовыми эпюрами на плоскости или поверхности; векторами, изолиниями, изоповерхности; 3D-траекториями течений; распределениями любой характеристики вдоль кривой; анимировании результатов; расчетами характеристик в точках; вывод в MS Excel и Word.

Рассмотрев некоторые существующие пакеты для проведения инженерных расчетов, изучив их структуру, адекватность и целесообразность, можно решить задачу создания целостной, универсальной модели процессов спекания агломерата и обжига окатышей. Решение данной задачи на сегодняшний момент является актуальным и необходимым этапом, который даст возможность исследовать процессы спекания и обжига как в научных целях, так и в масштабах всего производства.

Создать комплексную модель данных процессов возможно на базе существующих микропроцессорных программных комплексов, или в результате составления новой программы, взяв за основу опыт существующих моделей процесса спекания и опыт имеющихся программных пакетов для решения инженерных задач. Сложность описания всего процесса в целом вызывает необходимость создания различных моделей, которые целесообразно объединить в структурированную схему с подсистемами и подмоделями, связать подмодели между собой путем поиска одинаковых параметров в различных подмоделях. Создав четкую структуру и модель, необходимо учитывать потребность во внесении изменения в процессе исследования данной модели, анализе результатов моделирования и выработке практических рекомендаций. Поэтому важной задачей при создании данной модели является возможность быстрого доступа к регулированию отдельных подсистем и внесение новых параметров процесса при необходимости. Структура комплексной модели с наличием подмоделей и подсистем этих моделей позволит легко дорабатывать большую комплексную модель сложного процесса спекания или обжига уже после ее создания, что даст возможность постоянного совершенствования и беспрепятственного интегрирования универсальной модели для изучения отдельных факторов, параметров или явлений.

Выводы и направления дальнейших исследований. На основе анализа существующих на сегодняшний момент математических моделей процессов спекания агломерата и обжига окатышей доказана целесообразность применения многоцелевых программных комплексов для разработки универсальной модели сложного процесса. Существует необходимость объединения многочисленных параметров в структурную схему с наличием подсистем: газодинамики слоя, процессов теплообмена, процессов массообмена при сушке, горения твердого топлива в слое, диссоциации известняка, формирования газовой смеси в слое. На данном этапе можно сказать, что не все процессы, происходящие при термообработке, нашли отражение в моделях.

В дальнейшем процессе работы с моделью важно иметь возможность добавлять подсистемы или изменять подмодели в данных системах. Закономерность взаимовлияния отдельных подмоделей и подсистем еще не определена полностью. Однако учитывая современный уровень развития вычислительной техники и высокий уровень исследования спекательных и обжиговых процессов, можно считать реальным создание комплексных моделей спекания аглошихты и обжига окатышей.

Разработка универсальной модели поможет исследовать сложный процесс спекания и обжига, оптимизировать технологический процесс путем применения комплекса мероприятий, изучить их совместное влияние на готовый продукт, агрегат, выявить экономическую эффективность и целесообразность проведения различных интенсифицирующих мероприятий одновременно. Необходимость создания такой модели сегодня обусловлена потребностями ученых и производственников в мобилизации и объединении усилий при поиске различных оптимизационных мероприятий. Процесс разработки модели не будет завершен при её создании, поскольку модель в дальнейшем будет дорабатываться с учетом новых закономерностей, устанавливаемых в результате исследования процессов производства агломерата и окатышей. Таким образом, комплексная математическая

модель процесса спекания или обжига будет являться универсальной и современной на протяжении своего существования. Для того чтобы осуществить создание такой модели, необходимо объединить усилия ученых и производителей, умения программистов, используя современные технические возможности программного обеспечения.

Список литературы

1. Цаплин А.И. Моделирование теплофизических процессов и объектов в металлургии: учеб. пособие / А.И. Цаплин, И.Л. Никулин // Из-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011. - С. 19-20.
 2. Люстерник Л.А. Краткий курс функционального анализа / Л.А. Люстерник, В.И. Соболев // Высшая школа, 1982. – С. 128.
 3. Калашников С.Н. Математическое моделирование тепло-массообменных процессов в металлургических агрегатах на основе объектно-ориентированной технологии: Дис. д-ра техн. наук: 05.13.18: Новокузнецк, 2002. - С. 18, 276-278.
 4. Боковиков Б.А. Математическая модель обжиговой конвейерной машины как инструмент для оптимизации тепловой схемы агрегата / Б.А. Боковиков, В.В. Брагин, В.М. Малкин и др.// Сталь, 2010. - №9. - С. 84-87.
 5. Елисеев А.А. Исследование тепло-массообменных процессов про агломерации шихты / А.А. Елисеев // Дис. канд. техн. наук: 05.14.04: Череповец, 2006. - С. 51-63, 163-165.
- Рукопись поступила в редакцию 12.03.12

УДК 622.7:621.1.016

В.В. ТКАЧ, канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «Криворізький національний університет»

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЕКСЕРГЕТИЧНОГО АНАЛІЗУ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ

Облік і контроль витрачання енергоматеріальних ресурсів на різних етапах технологічного циклу в ГМК здійснюється із застосуванням різних методик, заснованих на аналізі процесів з використанням вузькоспеціалізованих критеріїв. Ексергетичний аналіз процесу механотермохімічної переробки мінеральної сировини є необхідним для отримання повної характеристики термодинамічних втрат від безповоротності внутрісистемних процесів.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. В умовах зростаючої енергетичної кризи і дефіциту власних енергетичних ресурсів перед українськими підприємствами гірничо-металургійного комплексу стоїть серйозна проблема, пов'язана з енергетичним і матеріальним забезпеченням існуючих обсягів виробництва. При цьому слід звернути увагу не лише на економію енергетичних ресурсів, але й розробити сучасну єдину методологію і методику обліку споживання та нормування енергоматеріальних ресурсів, оцінки технологій за параметром енергоємності, їх впливу на довкілля.

Аналіз досліджень і публікацій. За минулі десятиліття проведена значна кількість досліджень з ефективного використання енергоресурсів в багатьох галузях промисловості і сферах соціального життя суспільства. Питанню розробки методології оцінки енергоспоживання приділяється усе більш зростаюча увага [1-3]. Запропоновані різні методики, розроблені принципи, математичні, термодинамічні критерії оцінки енергоспоживання в технологічних процесах, окремих апаратах, технічних пристроях, у різних сферах діяльності людини.

У ряді публікацій пропонується методологія і різні методики розрахунку показників енергоспоживання й енергоємності технічних об'єктів та технологічних систем [4-6]. Разом з цим звертають на себе увагу такі недоліки методик :

при розрахунках і аналізі витрат енергії на виробництво продукції, як правило, енергоємність розподіляють на енергетичну (електроенергія) і паливну складові. При цьому враховуються статті балансів енергоносіїв, що тільки вводяться в технологічну систему без урахування енергетичної складової вироблюваної енергоматеріальної продукції і відходів виробництва;

усі складові енергоємності об'єднуються шляхом перерахунку їх в умовне паливо по перевідних коефіцієнтах;

під час розробки енергозберігаючих заходів для технологічного процесу, аналізу нових технологій не враховуються потенційна хімічна енергія мінеральних речовин сировини і продуктів виробництва, енергоекологічні дії виробництва на довкілля, величина і кваліфікаційні параметри трудовитрат персоналу, енергетичний потенціал інформаційного забезпечення виробничого процесу та ін.