



УДК 669.187:541.123

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ И ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «DESIGNINGMELT»

Р. В. Синяков

Представлено описание программного комплекса «DesigningMelt», предназначенного для разработки технологических процессов, оценки применения новых видов материалов и оборудования. Благодаря использованию «DesigningMelt» можно моделировать технологические процессы, протекающие в большинстве используемых сталеплавильных агрегатов (конвертер, дуговая сталеплавильная печь, печь-ковш, вакууматор), а также создавать оптимальные технологические маршруты выплавки и обработки стали.

Description of programming complex "DesigningMelt", designed for development of technological processes, assessment of application of new types of materials and equipment, is given. Using the "DesigningMelt", it is possible to model technological processes, proceeding in most of used steel melting units (converter, arc steel melting furnace, furnace-ladle, vacuumator) as well as to create the optimum technological routes of melting and processing of steel.

Ключевые слова: выплавка стали; технологический процесс; моделирование; программный комплекс; разработка технологии

Введение

С каждым годом повышаются требования к уровню качества стальной продукции, производственной гибкости и длительности разработки технологии выплавки той или иной марки стали в конкретных производственных условиях. В настоящее время решение поставленных задач возлагают на автоматизированные системы управления технологическими процессами (ТП) [1–3]. Внедрение подобных систем позволяет не только эффективно контролировать процесс, но и повышать производительность, улучшать экономические показатели производства и качество продукции [4, 5].

Однако в случае необходимости разработки технологии выплавки стали новой марки в конкретных производственных условиях, модернизации оборудования, оценки использования новых материалов и т. д. существующие системы не всегда имеют соответствующие инструменты для решения данных задач. Это связано, во-первых, с необходимостью привлечения аппарата проектирования, что применительно к металлургическим процессам отличается сложностью и значительным объемом работ; во-

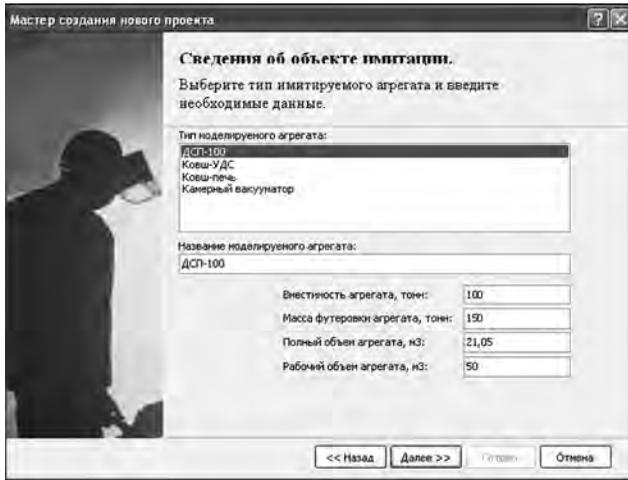
вторых, — с использованием в системах автоматизации полуэмпирических моделей, описывающих процессы, протекающие в сталеплавильной ванне, что подтверждается сообщениями об оптимизации производственного процесса за счет использования автоматизации (они носят частный характер и находятся в рамках существующей технологии).

Постановка задачи

В данной работе поставлена задача создать инструмент, с помощью которого технолог может разработать и оценить технологический процесс выплавки или внепечной обработки заданной марки стали, технологический маршрут обработки, а также определить влияние модернизации оборудования на технологические и экономические показатели.

Основные материалы исследования

При создании программного комплекса «DesigningMelt» приняли, что все алгоритмы и расчеты должны опираться на строгую теоретическую модель, позволяющую даже без статистической привязки решать широкий круг практических задач. Поэтому в качестве остова системы использовали подход, реализованный в программе «Excalibur» [6].



а



б

Рис. 1. Описание металлургического агрегата (а) и структуры технологического процесса (б)

Ядро программы основано на термодинамической модели конденсированной фазы и энтальпийном тепловом балансе. Это позволяет рассчитывать термодинамическое равновесие в многокомпонентной гетерогенной системе металл–шлак–газ; температуру системы на основе энтальпийного теплового баланса; парциальные давления всех атомарных и молекулярных составляющих газовой фазы; все интегральные и парциальные термодинамические функции составляющих системы, а также учитывать тепло энергоносителей, температуру и агрегатное состояние материалов.

В разработку новой технологии дополнительно включены мероприятия по созданию проекта плавки во времени, согласованию режимов работы оборудования, вводу материалов, оценке изменения основных параметров плавки (химический состав, масса и температура продуктов плавки) во времени и т. д.

Для построения проекта плавки (обработки) во времени использовали принципы проектирования, изложенные в работе [7], а учет кинетики протекающих процессов выполнили согласно методике, описанной в статье [8].

Предлагаемый программный комплекс содержит четыре основных режима работы: разработку новой плавки, создание сквозного технологического процесса, проигрывание ретроспективных плавки и создание на их основе проекта оптимальной плавки.

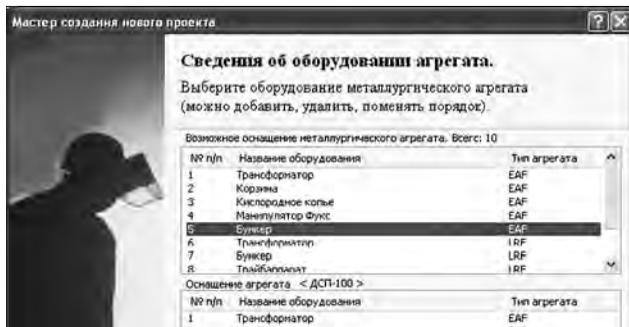


Рис. 2. Оборудование сталеплавильного агрегата

Разработку нового технологического процесса начинают с создания описания металлургического агрегата (рис. 1, а) и структуры технологического процесса (рис. 1, б) посредством диалоговых окон.

В описание агрегата входят такие данные, как вместимость, масса футеровки, полный и рабочий объемы. Структура технологического процесса представляет собой последовательность периодов плавки определенной длительности. Например, для дуговой сталеплавильной печи с одной завалкой и одной подвалкой периодов будет пять (рис. 1, б). Большинство периодов содержится в базе данных программы и технологу достаточно выбрать нужный, указать его длительность и время начала.

Далее сталеплавильный агрегат оснащают необходимым оборудованием для ведения плавки (рис. 2). Довольно большой выбор оборудования современных сталеплавильных агрегатов представлен в базе данных программы. Если же требуемое оборудование в доступном перечне отсутствует, следует выбрать подобное. В будущем это оборудование можно отредактировать и уже сохранить в базе данных с целью дальнейшего использования. Для редактирования доступно много параметров, в качестве основных следует выделить тип используемого мате-

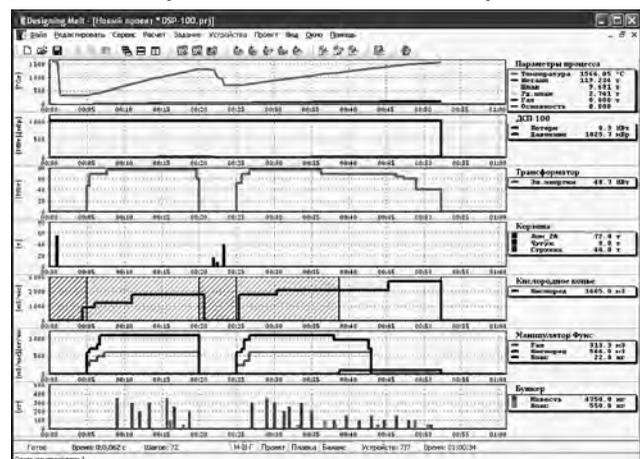


Рис. 3. Вид главной формы программного комплекса «Designing-Melt»

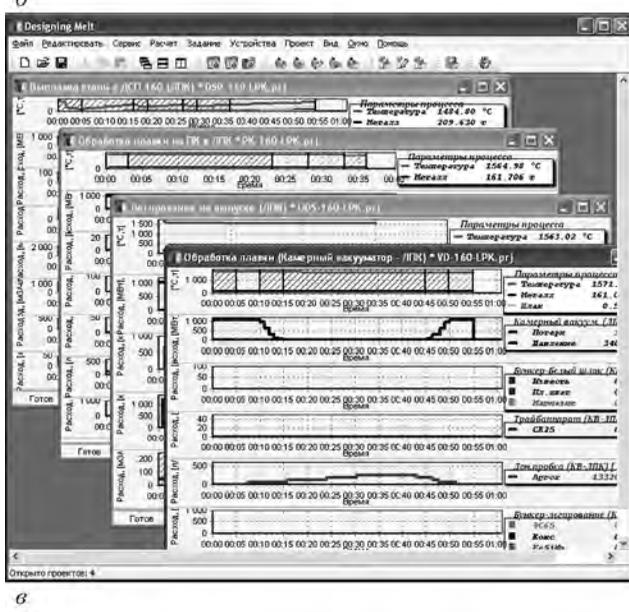
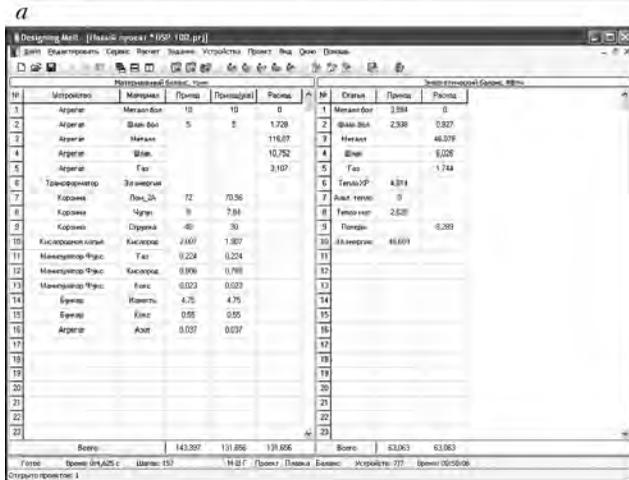
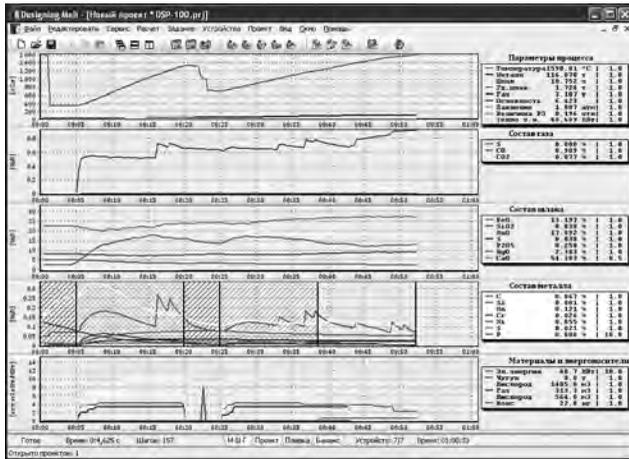


Рис. 4. Вид формы с информацией о результатах имитации ведения плавки (обработки) (а), о тепловом и материальном балансах плавки (обработки) (б) и доступных проектах выплавки и обработки стали (в)

риала, технические и технологические ограничения на режим ввода материала. После выполнения всех указанных процедур переходят в главную форму проекта плавки (рис. 3) со среднестатистическими режимами (временными

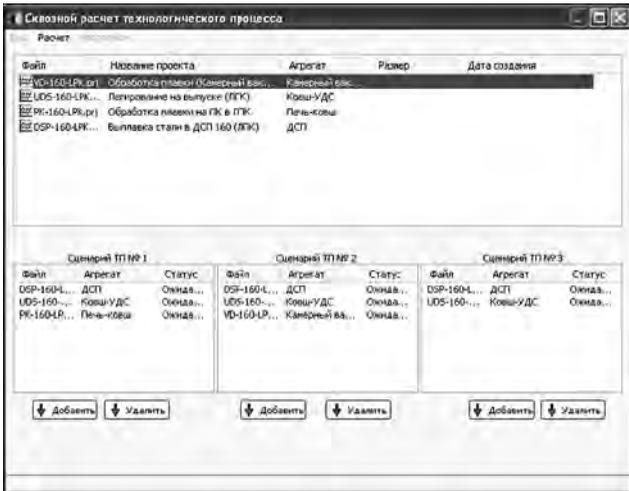


Рис. 5. Вид формы для вычисления сквозного просчета технологического процесса

моментами, расходами) ввода материалов и энергоносителей. Вверху отображается предварительная информация о траектории технологического процесса (температуре, массе металла и шлака, удаленного шлака и образующегося газа; основности шлака).

Здесь же появляется возможность проектировать технологический процесс — изменять режимы ввода материалов, временные моменты отдачи материалов (ввода металлолома), длительность отдельных периодов и всей плавки, добавлять или удалять материалы, а также добавлять, удалять и редактировать используемое оборудование. Окончанием создания технологического процесса является имитация ведения плавки согласно созданному проекту.

По заданным интенсивностям ввода материалов и энергоносителей, с учетом полного материального и энергетического балансов, термодинамического расчета и кинетической коррекции (скорость поступления реагентов, растворение, скорость усреднения ванны по химическому составу и температуре), имитируется плавка с заранее заданным (довольно малым) шагом по времени.

После окончания расчета оператору (технологу) предоставляется окончательная детальная информация о траектории процесса (рис. 4, а, б).

Помимо указанных параметров, здесь можно увидеть изменение химического состава металла и шлака по ходу плавки, состав выделяющихся газов, а также материальный и тепловой балансы технологического процесса.

При необходимости оператор (технолог) может вернуться на главную форму (рис. 3), внести любые изменения в проект и вновь выполнить имитацию плавки, оценить не только рассчитанную технологию плавки, но и сравнить ее с предыдущим вариантом. Таких результатов может быть сколько угодно. Из них выбирают оптимальный.

Критерием оптимизации могут быть и затраты по переделу, длительность плавки, момент выпуска, согласование со смежными переделами и т. д. Это касается внедрения новых и модернизации име-



ющихся устройств, замены одних материалов другими, переноса ряда операций из печи на внепечную обработку, оценки целесообразности применения новых материалов, определения оптимального времени и количества подвалок, изменения шлакового режима и т. п.

Все результаты сохраняются в базе данных для последующего анализа или использования при проектировании сквозного технологического процесса.

Сквозной технологический процесс представляет собой временную последовательность операций по выплавке и обработке стали, другими словами, технологический маршрут. Для разработки и оценки того или иного технологического маршрута сначала открывают ранее созданные проекты, например выплавки в дуговой сталеплавильной печи, легирования и обработки на выпуске, обработки на печи-ковше и вакуумировании металла (рис. 4, в).

С помощью соответствующего пункта меню главной формы открывают форму сквозного просчета ТП (рис. 5). В верхней таблице отображаются доступные проекты ТП со следующей информацией: название файла проекта; расширенное название проекта; тип агрегата, к которому относится проект. Из открытых проектов создают возможные сценарии выплавки и обработки стали, выполняют имитацию. По окончании обработки сценариев результаты расчета будут сохранены в файл или файлы для дальнейшего рассмотрения.

Для анализа и коррекции существующей технологии в программе предусмотрена возможность ввода ретроспективной информации о прошедшей плавке (обработке) на главную форму программы. Специальный модуль дает возможность конвертировать информацию о прошедших плавках и отображать ее в виде проекта, что позволит анализировать, редактировать и имитировать технологический процесс.

Пакетная имитация массива ретроспективных плавков с последующим анализом результатов позволяет создать рациональную (близкую к оптимальной в конкретных производственных условиях) технологию выплавки и обработки определенной марки стали. При таком подходе оцениваются не только интегральные показатели процесса, но и время, место, режим ввода материалов и энергоносителей, составы и масса образующихся металла и шлака, а также температура системы на каждом этапе плавки.

Выводы

1. Программный комплекс «DesigningMelt» представляет собой синтез последних достижений в теории и практике сталеварения, собранных в компактном программном продукте с дружественным интуитивно понятным интерфейсом.

2. Наличие детерминированного подхода при построении программного комплекса позволяет моделировать большинство существующих сталепла-

вильных агрегатов (конвертер, дуговая сталеплавильная печь, печь-ковш, вакууматор), рассматривая их как по отдельности, так и в виде единого технологического комплекса.

3. Помимо решения частных задач — расчет количества материалов (шихтовых, раскислителей, легирующих, шлакообразующих), необходимых для получения металла заданного химического состава, вычисление требуемых затрат энергоносителей на плавку, — «DesigningMelt» является инструментом, с помощью которого технолог может разрабатывать новые технологические процессы, оценивать применение новых видов материалов, оборудования, а также создавать оптимальные технологические маршруты выплавки и обработки стали. Возможно выполнение анализа проблемных плавков с целью выявления причин их появления и способов их устранения.

4. Использование «DesigningMelt» при разработке новой технологии дает возможность повысить производительность труда, качество работы и уменьшить количество ошибок технолога при проектировании, а также существенно сократить сроки разработки ТП.

5. Представленный программный комплекс может использоваться и в учебном процессе, позволяя студентам почувствовать себя сталеварами, при этом имея возможность ошибаться.

1. *Промышленное освоение компьютерного управления выплавкой стали на БМЗ и ММЗ на основе физико-химической модели «ОРАКУЛ»* / А. Г. Пономаренко, М. П. Гуляев, И. В. Деревянченко и др. // Труды пятого конгресса сталеплавыльщиков (Москва, май 1999 г.). — М.: ОАО «Черметинформация», 1999. — С. 174–177.
2. *Динамический контроль работы электродуговых печей, использующих наиболее современную технологию* / П. Клеричи, Ф. Делл'Аква, Д. Майоло, В. Скиполо // *Металлург. пр-во и технология*. — 2009. — № 1. — С. 6–9.
3. *Нацлегер С., Димитров С., Штоль К.* Оптимизация работы электродуговых печей // *Черные металлы*. — 2009. — № 10. — С. 37–43.
4. *Опыт внедрения новой системы управления плавкой на ДСП № 1 Белорусского металлургического завода* / Р. Н. Мартынов, М. П. Гуляев, В. Ю. Гуенков и др. // *Электрометаллургия*. — 2002. — № 6. — С. 36–40.
5. *Промышленное освоение системы управления внепечной обработкой стали (печь-ковш-вакууматор) ГИББС® на БМЗ* / Р. В. Синяков, М. П. Гуляев, Е. Н. Мартынов и др. // *Металл и литье Украины*. — 2005. — № 3-4. — С. 98–100.
6. *Харченко А. В., Синяков Р. В.* Программа «EXCALIBUR» — возможности и перспективы использования в металлургическом производстве // *Сб. тр. ДонНТУ*. — 2005. — № 102. — С. 82–91.
7. *Оперативное проектирование технологического процесса плавки в высокоомощной ДСП* / Р. В. Синяков, С. А. Храпко, А. Г. Пономаренко, А. В. Старососцкий // *Металл и литье Украины*. — 2001. — № 10-11. — С. 38–44.
8. *Термодинамика и кинетика в современных системах управления металлургической плавкой* / А. Г. Пономаренко, Р. В. Синяков, С. В. Довгонюк, Е. Л. Корзун // *Вестник ЮУрГУ*. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. — № 2. — С. 32–35.

ДонНТУ, Донецк
Поступила 17.01.2011