

УДК 669.013:669.013.6.7

А.В. Харченко, доцент, к.т.н.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАСКИСЛЕНИЯ СТАЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «МАСТЕР»

*Запорожская государственная инженерная академия*

Использование аппаратно-программного комплекса «Мастер» в мартеновском цехе ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь» позволило получить экономию средств за счет оптимизации расхода ферросплавов и материалов для раскисления кипящей и полуспокойной стали, а также снижения брака передельного металла. Оптимизация расхода ферросплавов и материалов достигается путем использования алгоритма симплекс-метода линейного программирования в сочетании с термодинамической моделью системы «металл-шлак-газ». Снижение брака передельного металла достигнуто за счет стабилизации степени его окисления и более точного прогнозирования химического состава ковшевой пробы.

Ключевые слова: раскисление, система «металл-шлак-газ», ферросплавы, программный комплекс, оптимизация, термодинамическая модель

Використання апаратно-програмного комплексу «Майстер» у мартенівському цеху ВАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» дозволило одержати економію коштів за рахунок оптимізації витрати феросплавів і матеріалів для розкислювання киплячої та напівспокійної сталі, а також зниження браку передільного металу. Оптимізація витрати феросплавів і матеріалів сягається шляхом використання алгоритму симплекс-методу лінійного програмування у поєднанні з термодинамічною моделлю системи «метал-шлак-газ». Зниження браку передільного металу досягнуто за рахунок стабілізації ступеня окиснення металу та точнішого прогнозування хімічного складу ковшевої проби.

Ключові слова: розкислювання, система «метал-шлак-газ», феросплави, програмний комплекс, оптимізація, термодинамічна модель

Use of a hardware-programmatic complex «Master» in the open-hearth shop of OAJ «Metallurgical combine «Zaporozhstal'» allowed to get economy of costs due to optimization of expense of ferroalloys and materials for desoxydating of unrolled and semikilled steel, and also decline of flaw of rerolling-quality metal. Optimization of expense of ferroalloys and materials is arrived at the use of algorithm of simplex-method for the linear programming in combination with the thermodynamics model of the system «metal-slag-gas». The decline of flaw of rerolling-quality metal has been reached due to stabilizing of its oxidation level and more exact prognostication of chemical composition of ladle sample.

Keywords: desoxydating, the system «metal-slag-gas», ferroalloys, programmatic complex, optimization, thermo-dynamics model

*Введение.* Известно, что себестоимость мартеновской стали превышает аналогичный показатель для других современных способов ее выплавки. В ситуации, когда мартеновский цех ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь» будет производить продукцию еще в течение нескольких лет до начала выпуска конвертерной стали (оценочно, до 2018 г.), предприятие вынуждено искать способы удешевления производства для обеспечения конкурентоспособности своей продукции в этот период. Одним из резервов по снижению себестоимости выплавляемой стали и повышению ее качества является оптимизация расходов раскислителей и легирующих добавок. Решение данной задачи требует, с одной стороны, привлечения последних достижений теории металлургических процессов, с

другой – использования возможностей современной вычислительной техники.

*Постановка задачи.* Существующая методика расчета раскислителей не учитывает ряд ключевых параметров: температуру металла в печи перед выпуском, окисленность металла перед выпуском из печи и в ковше после выпуска, содержание углерода, марганца, серы и фосфора на выпуске из печи, состав шлака, попадающего в ковш на выпуске из печи и др. В работе ставится задача предложить методику расчета расхода раскислителей с учетом вышеперечисленных параметров и внедрить аппаратно-программный комплекс для ее реализации.

*Основная часть исследований.* В состав аппаратно-программного комплекса входят технические и программные средства. Технические средства предусматривают автоматизированные рабочие места (АРМ) мастеров печей, АРМ лаборантов хи-

мических экспресс-лабораторий, инженерную станцию-сервер и комплекс телекоммуникационных средств.

К числу программных средств аппаратно-программного комплекса (АПК) относятся программа «*Мастер*» для оптимального расчета раскислителей; программа «*Химлаборант*» для ведения электронного журнала проб металла, а также программа «*Конвертер*» для периодической зачатки актуальных данных.

Программа «*Мастер*» служит главным компонентом АПК для расчета оптимального количества раскислителей и легирующих материалов при производстве стали в мартеновском цехе ОАО «Металлургический комбинат «*Запорожсталь*» и является наукоемким продуктом. Основу алгоритма программы составляют положения теории металлургических процессов [1-4] применительно к мартеновскому процессу.

По своему функциональному назначению программа «*Мастер*» является советчиком мастера печи. Основные задачи, решаемые программой: оптимизация расхода материалов, загружаемых в ковш для раскисления и легирования стали, а также прогнозирование химического состава металла в ковшевой пробе.

Критерием оптимальности служит минимум стоимости набора материалов, обеспечивающих выполнение всех заданных ограничений по химическому составу стали, степени окисления металла в ковше, а также массе газа и материалов.

В расчетах, выполняемых программой «*Мастер*», учитываются нижеприведенные факторы, оказывающие влияние на усвоение элементов из ферросплавов:

- температура металла перед выпуском из печи и в ковше после выпуска;
- масса и химический состав металла, включая степень его окисления, перед выпуском из печи и в ковше после выпуска;
- взаимное влияние добавок и содержания одних элементов на усвоение и содержание других элементов;
- масса и среднестатистический химический состав шлака, попадающего в ковш;
- химический состав используемых материалов;
- количество и состав газа, выделяющегося в объеме металла, с учетом гидростатического давления расплава.

Программа «*Мастер*» имеет интуитивный дружественный интерфейс, что позволяет пользователю эффективно работать с ней, опираясь на минимальную теоретическую подготовку в области металлургии черных металлов и информатики. В программе имеется два режима работы: интерактивный, доступный только мастерам печей, и режим

пассивного просмотра плавов для всех остальных пользователей. Интерактивный режим является основным, с его помощью мастер выполняет следующие действия:

- выбирает печь и плавку;
- корректирует при необходимости заказ по марке стали, ее назначению и ГОСТ (ТУ);
- корректирует при необходимости экспресс-анализ пробы металла и температуру металла, если после экспресс-анализа пробы металла и замера температуры продолжали интенсивную продувку металла;
- оптимизирует расход материалов, используемых для раскисления;
- вводит или корректирует расход материалов и виртуально проплавляет их, получая при этом прогноз химического состава готового металла;
- вводит замечания по плавке;
- принимает плавку (заносят информацию о плавке в базу данных).

Интерактивный режим работы доступен мастеру только для активных (то есть не принятых) плавов. После принятия какой-либо плавки (то есть занесения информации в базу данных) отображение информации о ней возможно только в режиме пассивного просмотра для всех пользователей, включая мастеров печей. В этом режиме пользователь может выбрать печь и плавку; произвести поиск и просмотр плавов по временному периоду, группам, маркам и назначению сталей, а также мастерам; оптимизировать расход материалов, используемых для раскисления; вводить материалы, виртуально раскислять металл, получать прогноз химического состава готовой стали. Пользовательский интерфейс программы «*Мастер*» спроектирован таким образом, чтобы все его основные компоненты были представлены на главной форме. Общий вид главной формы программы приведен на рис. 1.

В таблице химических составов (поз. 1) имеется несколько строк, в которых отображаются химический состав пробы металла, регламентируемый стандартом верхний и нижний пределы содержания элементов, прогноз химического состава металла ковшевой пробы и фактический состав ковшевой пробы по данным центральной химической лаборатории. Все химические составы измеряются в процентах по массе.

Таблица плановых и фактических показателей плавки (поз. 2) служит для отображения марки стали, ее назначения и стандарта – ГОСТ или ТУ. До выпуска, разлива и прокатки плавки в таблице (в колонке «План») содержатся только плановые показатели плавки: марка стали, ее назначение и ГОСТ (ТУ).

Марку и назначение стали мастер принимает к исполнению, однако им может соответствовать несколько ГОСТ (ТУ). В этом случае плановый ГОСТ

(ТУ) выделяется серым цветом, а мастеру предоставляется возможность выбрать необходимый стандарт из «выпадающего списка». Кроме того, в случае оперативного изменения последовательности выполнения заказа мастер имеет возможность выбирать марку стали и просматривать все допустимые назначения и соответствующие стандарты. При интерактивном выборе марки стали, назначения или стандарта программа автоматически пересчитывает оптимальный набор материалов, если к этому времени поступили данные экспресс-анализа пробы металла, содержащие по крайней мере количество углерода и марганца.

Строка материалов (поз. 3) является многофункциональным элементом формы, состоящим из шести полей редактирования и отображения массы материалов в килограммах. В результате оптимизации в этих полях отображается рациональный набор материалов, который является рекомендацией для мастера. При ручном вводе или редактировании массы материалов происходит автоматическое виртуальное раскисление металла в ковше с отображением соответствующего прогноза в таблице химических составов.

МАСТЕР - операционный режим																		
Печь 1		Печь 2		Печь 5		Печь 6		Печь 7		Печь 8		Печь 10		Печь 11		Печь 12		
Пл. 0141684		Ковш 1		План		Факт		Выбор		11		17.05.14		14:32:23		D		
Выпуск - факт		Ст.		08КП		08КП		08КП								Мастер 8		
17.05.14 01:45		Назн.		ЭКСП.РУЛ		ЭКСП.РУЛ		ЭКСП.РУЛ								Тодорюк		
ГОСТ				2		1050-88		1050-88										
Печь	01:43	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	O	t°C	7	Пр					
	Проба 4	0,10	0,06		0,033						315	1627						
	Прогноз	0,069	0,055		0,032						469	1640						
Ковш	Макс	0,12	0,50	0,03	0,040	0,035	0,10	0,25	0,30	650			План					
	Мин	0,05	0,25							250			08КП					
	Прогноз	0,061	0,32	0,007	0,029					527			Факт					
	Факт	0,07	0,33	0,01	0,028	0,011	0,02	0,02	0,02					246,5 т				
Оптим	FeMn	SiMn	FeSi	Кокс	АВ-87	Окал.						Оптимизировать						
Селох	1000											4 Проплавить						
X/анализ	1000		3									Текущая плавка						
Прогноз	1100				70							Принять						
Факт	1200																	
График		Выпуск		Чугун		Зам.		10										
Текущий прогноз температуры металла в печи, С													Газ: 221 кг		Т = 1630С		9546	

1 - таблица химических составов; 2 - таблица плановых и фактических показателей плавки; 3 - строка с редактируемыми полями для ввода и/или отображения оптимальной массы материалов; 4 - блок управления; 5 - панель поиска плавков; 6 - переключатель печей; 7 - температура металла; 8 - фамилия мастера, выпустившего плавку; 9 - строка состояния; 10 - замечания мастера по плавке; 11 - хронометр (дата и время)

Рисунок 1 – Главная форма программы «Мастер»

Блок управления (поз. 4) содержит крупные кнопки, с помощью которых мастер выполняет основные действия при работе с программой. Некоторым кнопкам соответствуют сочетания «горячих клавиш».

Панель поиска плавков (поз. 5) содержит «выпадающий список» номеров плавков, поле для отображения даты и времени выпуска плавки и кнопку для поиска плавков по дате выпуска, группам и маркам сталей, их назначению и мастерам.

В зависимости от того, выпущена плавка или нет, отображается либо фактическое, либо плановое время выпуска. Соответственно ярлык даты и времени выпуска имеет текст «Выпуск – факт» или «Выпуск – план».

С помощью «выпадающего списка» плавков (поз. 5) можно отобразить информацию о любой плавке за последние двое суток. Доступная информация о выбранной таким образом плавке отображается на форме. Режим отображения плавки зависит от того, была ли принята данная плавка мастером или нет.

В режиме поиска плавков можно просматривать информацию о любом подмножестве плавков за все время работы АПК с использованием простых и сложных критериев поиска.

АПК «Мастер» также имеет ряд дополнительных функций, таких как визуальный контроль температурно-углеродного режима по ходу плавки, контроль качества и количества чугуна, поступаю-

щего в печной пролет, ведение баз данных по основным характеристикам плавки с возможностью их просмотра за предыдущие периоды с разбивкой по мастерам, группам, маркам и назначению сталей. Все эти функции доступны мастерам всех печей мартеновского цеха.

*Перспективы развития аппаратно-программного комплекса.* С целью улучшения технико-экономических показателей мартеновского цеха, расширения его информационной инфраструктуры предполагается АПК «Мастер» оснастить усовершенствованными датчиками давления и расхода природного газа и кислорода, что позволит: точно и достоверно контролировать расход природного газа и кислорода по цеху, по каждой печи и бригаде сталеваров с сохранением данных в компьютерной базе; снизить удельный расход природного газа и среднюю продолжительность плавки за счет более точного прогнозирования химического состава жи-

дкого металла и его температуры в период доводки и на выпуске, а также оптимизации температурно-углеродного режима плавки; снизить удельный расход ферросплавов за счет снижения количества передувов и средней степени окисления металла на выпуске из печи; снизить процент брака передельного металла и процент отсортировки слябов, повысить выход годного металла за счет оптимизации степени окисления металла на выпуске из печи.

*Выводы.* Использование АПК «Мастер» позволяет получить экономию средств за счет оптимизации расхода ферросплавов и материалов для раскисления кипящей и полуспокойной стали, а также снижения брака передельного металла и повышенной головной обрезки. Снижение брака достигается за счет стабилизации степени окисления металла и более точного прогнозирования химического состава металла ковшевой пробы.

### Библиографический список

1. **Харченко, А. В.** Дифференциальные коэффициенты усвоения в компьютерных системах управления плавкой и внепечной обработкой стали [Текст] / А. В. Харченко, А. Г. Пономаренко, С. В. Довгонюк // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2002. – № 10 (215). – С. 131-137. – Библиогр.: с. 137.
2. **Казаков, С. В.** Прогнозирование состава стальных расплавов во время выплавки и внепечной обработки [Текст] / С. В. Казаков // *Металл и литье Украины*. – 2005. – № 3-4. – С. 17-20. – Библиогр.: с. 20.
3. **Пономаренко, А. Г.** Развитие интеллектуальных систем управления технологическими процессами выплавки стали [Текст] / А. Г. Пономаренко, Р. В. Синяков, С. В. Довгонюк и др. // *Труды Седьмого конгресса сталеплавильщиков*. – Магнитогорск, 15-17 октября, 2002. – М.: , 2003. – С. 293-297. – Библиогр.: с. 297.
4. **Харченко, А. В.** Разработка информационно-технологической системы «Форвард» для управления металлургическими процессами в реальном масштабе времени [Текст] / А. В. Харченко, А. Г. Пономаренко, С. А. Храпко, Е. Н. Иноземцева // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 1991. – № 12. – С. 89-91. – Библиогр.: с. 91.

Стаття надійшла до редакції 09.01.2015 р.  
Рецензент, проф. С.О. Гаврилко

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука  
<http://www.zgia.zp.ua>