

С.В. Бейцун, Н.В. Михайловский

АСУ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКОЙ СТАЛИ

Аннотация. Разработана структура АСУ, которая на основе прогноза температуры и химического состава расплава в операциях внепечной обработки стали вырабатывает управляющие воздействия, обеспечивающие сокращение времени обработки ковшей, а также экономию энергетических и сырьевых ресурсов.

Ключевые слова: внепечная обработка стали, сталеразливочный ковш, автоматизированное управление.

Постановка проблемы

Металлургическая промышленность – одна из самых энергоемких и ресурсоемких промышленных отраслей. В современных условиях одним из важнейших вопросов производства является получение ликвидной продукции при минимальных энергетических и материальных затратах.

Для получения качественной стали на металлургических предприятиях сегодня все более широкое применение находят агрегаты внепечной обработки. К ним относятся установки ковш-печь (УКП), на которых проводится доводка стали по химсоставу и нагрев ее до заданной температуры, и вакууматоры, предназначенные для снижения концентрации растворенных газов и неметаллических включений в расплаве.

Согласно стандартам ISO 9000 по управлению качеством для решения этой задачи необходимо обеспечить полный контроль параметров технологических процессов за счет внедрения автоматических систем управления.

Анализ публикаций по теме исследования

Прогноз изменения температуры и химического состава расплава в операциях внепечной обработки стали в последнее время привлекает внимание исследователей. В частности, в [1] авторами описана математическая модель нестационарного теплопереноса через огне-

упорную футеровку ковша, которая позволяет рассчитывать изменение температуры расплава в зависимости от состава и толщины слоев футеровки ковша за счет потерь тепла для различных производственных условий. Ранее предложены локальные модели: удаления растворенных газов и неметаллических включений во время вакуумирования [2], контроля уровня расплава в ходе вакуумирования [3], изменения химического состава по ходу внепечной обработки [4]. С использованием модели [1] НТЦ «Прибор» (Россия) разработал технологию автоматического определения теплосодержания сталеразливочного ковша [5], которая позволяет стабилизировать технологические режимы.

Формулировка целей статьи

С целью экономии энергетических ресурсов необходимо провести подготовку стали к вакуумированию за минимально возможное время с минимальными тепловыми потерями и закончить сам процесс вакуумирования до достижения заданной температуры. Таким образом, температура является фактором, ограничивающим длительность вакуумирования. Минимальная длительность вакуумной обработки определяется требуемым содержанием в стали растворенных неметаллических включений и газов, в частности водорода. Сократить время вакуумной обработки, необходимое для получения заданной концентрации водорода, можно только интенсифицировав продувку стали в ковше инертным газом. Но чрезмерно интенсивная продувка может привести к выплескам расплава из ковша.

Поэтому совершенствование управления процессом ковшового вакуумирования требует комплексного решения задач прогнозирования температуры и химического состава стали во время внепечной обработки для выработки управляющих воздействий, обеспечивающих сокращение времени обработки ковшей, а также экономию энергетических и сырьевых ресурсов.

Основная часть

На основании проведенных авторами экспериментальных и теоретических исследований особенностей процесса вакуумирования сталеплавильных ковшей определены задачи автоматизации участка внепечной обработки стали, сформулированы технологические требования к системам автоматического контроля и управления агрегатами и разработаны предложения по режимам ковшевого вакуумирования.

Разработанные авторами математические модели [1–4] позволяют на основании информации о текущих значениях параметров технологического процесса прогнозировать ход внепечной обработки. С использованием этих моделей разработана автоматизированная система управления участком внепечной обработки стали, структурная схема которой представлена на рисунке.

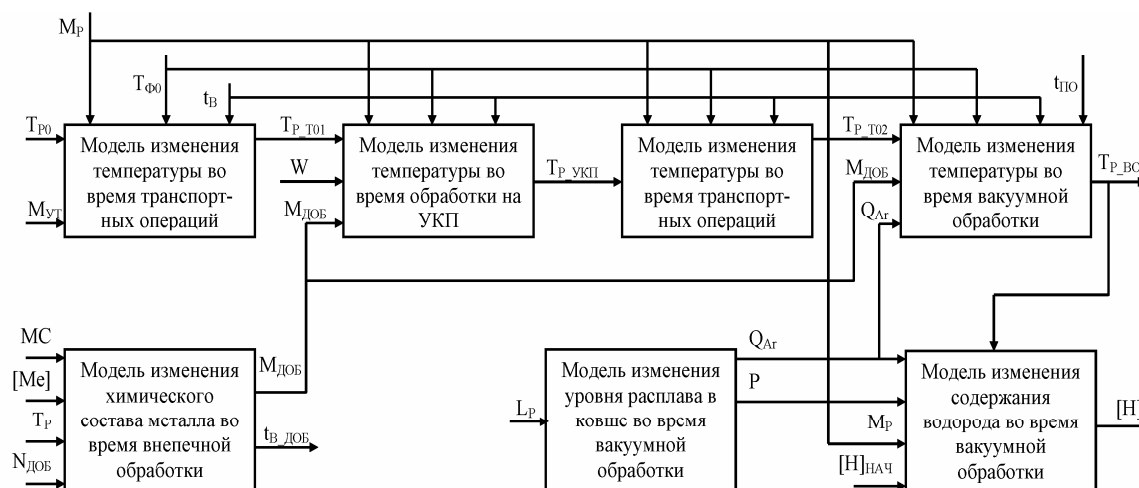


Рисунок – АСУ внепечной обработкой стали

АСУ состоит из следующих подсистем:

- прогнозирования изменения температуры расплава в ходе внепечной обработки,
- прогнозирования изменения химического состава по ходу внепечной обработки,
- прогнозирования удаления растворенных газов и неметаллических включений во время вакуумирования,
- контроля уровня расплава в ходе вакуумирования.

Подсистема прогнозирования изменения температуры расплава в ходе внепечной обработки, в свою очередь, включает модели прогноза изменения температуры при выполнении следующих операций:

- транспортировании сталеразливочного ковша между технологическими агрегатами,
- нагреве и доводке металла на УКП,
- обработке расплава в вакууматоре.

Входными параметрами этих моделей являются: распределение температуры слоев футеровки ковша перед выпуском в него расплава $T_{ф0}$, температура металла в ковше по окончании выпуска T_{P0} , момент времени окончания выпуска $t_{в}$, масса расплава в ковше M_p . На

основании этой информации рассчитывается рациональный режим нагрева металла на УКП до такого уровня, который, с учетом тепловых потерь во время транспортных операций и во время вакуумной обработки (длительность которой определяется подсистемой прогноза удаления растворенных в металле газов), позволит по окончании обработки получить значение температуры в требуемом диапазоне (кроме того, в модели учитывается влияние массы вводимых добавок $M_{\text{доб}}$ на изменение температуры расплава).

Входными параметрами подсистемы прогнозирования изменения химического состава по ходу внепечной обработки являются: марка стали $MС$, масса металла в ковше M_P , химический состав стали перед внепечной обработкой $[Me]$ и имеющиеся в бункерах добавки $N_{\text{доб}}$. На основании этой информации рассчитывается масса вводимых добавок $M_{\text{доб}}$ и определяется момент их ввода $t_{\text{в доб}}$. При этом вид и масса необходимых добавок рассчитываются исходя из минимума, который обеспечит попадание концентрации определенного химического элемента в диапазон, требуемый стандартом конкретной марки стали.

Подсистема прогнозирования удаления растворенных газов и неметаллических включений. Одной из главных задач вакуумной внепечной обработки является удаление водорода. Повышенное содержание водорода в стали приводит к образованию трещин и флокенов. Общеизвестно, что при концентрации водорода в стали менее $2 \cdot 10^{-4} \%$ флокены не образуются. Но также следует учитывать значение равновесной концентрации водорода в металле при определенных условиях окружающей среды, которая составляет $1,3...1,6 \cdot 10^{-4} \%$. В случае, если концентрация водорода после вакуумной обработки будет ниже равновесной концентрации водорода в металле, то во время разливки будет происходить адсорбция водорода металлом. То есть снижение концентрации водорода ниже равновесной нецелесообразно и ведет к дополнительным энергозатратам.

Для определения момента остановки процесса вакуумирования используется модель прогноза изменения концентрации водорода по ходу вакуумной обработки стали, по которой в зависимости от марки стали рассчитывается количество удаленного по ходу вакуумирования водорода через открытую поверхность, пузырями аргона и пузырями CO . Входными параметрами данной модели являются: температура

T_{P_BO} и масса расплава в ковше M_p , марка стали M_C , расход аргона Q_{Ar} и создаваемое в вакуум-камере разрежение P . Входной величиной данной модели также является начальная концентрация растворенного водорода $[H]_{нач}$, которая должна измеряться перед внепечной обработкой. Если такая информация отсутствует, то время процесса вакуумной обработки ковша выбирается с некоторым запасом, исходя из максимально возможной в данных условиях концентрации водорода в расплаве, а время обработки остальных ковшей корректируется по результатам химического анализа стали в первом ковше.

Подсистема радиолокационного контроля уровня предназначена для слежения за уровнем металла в ковше L_p по ходу внепечной обработки. Эта система используется для корректировки расхода аргона при наборе вакуума и рабочем режиме вакуумирования.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Экономический эффект от внедрения АСУ внепечной обработкой достигается за счет снижения затрат электроэнергии на обработку каждого ковша, экономии сыпучих материалов, аргона, пара, технической воды, сменных блоков измерителей. Кроме того, сокращение времени на обработку каждого ковша позволит увеличить пропускную способность участка внепечной обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бейцун С.В. Прогнозирование изменения температуры расплава во время вакуумной обработки стали / С.В. Бейцун, А.В. Жаданос, Н.В. Михайловский, С.В. Шаталюк // *Металургія: Збірник наукових праць*. – Запоріжжя: ЗДІА, 2004. – Вип. 9. – С. 33–38.
2. Бейцун С.В. Математическая модель удаления водорода из стали при ковшовом вакуумировании / С.В. Бейцун, О.Н. Кукушкин, Н.В. Михайловский // *Теория и практика металлургии*. – 2006. – № 6. – С. 96–100.
3. Кукушкин О.Н. Совершенствование управления процессом ковшового вакуумирования / О.Н. Кукушкин, С.В. Бейцун, Н.В. Михайловский // *Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. Том 9*. – Дніпропетровськ: «Системні технології», 2006. – Вип. 1. – С. 37–41.
4. Кукса О.В. Оптимизация процесса внепечной обработки на установке «печь–ковш» в условиях мартеновского цеха / О.В. Кукса, С.В. Бейцун // *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. Збірник наукових праць*. – Випуск 10. – Дніпропетровськ: ІЧМ, 2005. – С. 109–112.
5. Агеев С.В. Технология автоматического определения теплосодержания сталеразливочного ковша // С.В. Агеев, А.Д. Чернопольский, И.А. Петушков, В.И. Бойков, С.В. Быстров, А.А. Блинные. – *Металлург*. – 2011. – № 5. – С. 48–52.