

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ АСУ ВЫПЛАВКИ И РАЗЛИВКИ СТАЛИ В СИСТЕМЕ СТАБИЛИЗАЦИИ КАЧЕСТВА ЗАГОТОВОК МНЛЗ

Скрябин В.Г.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина

С целью уменьшения брака и стабилизации качества непрерывно-литых заготовок рассмотрены перспективы применения математического моделирования и оптимизации процессов в АСУ выплавки, доводки и разливки стали

Существующий контроль химического состава, температуры стали и ряда режимов технологии, их оперативная (часто интуитивно-профессиональная) корректировка недостаточны для стабилизации требуемого качества непрерывно литых заготовок (НЛЗ). В производстве известны случаи, когда при одинаковости контролируемых параметров на одной из двух плавов НЛЗ выявляются с недопустимыми дефектами, например, трещинами. Иногда преобладающая причина появления брака неочевидна и для ее выявления проводят специальные исследования. Обычно причин появления какого-либо дефекта несколько. Количество и уровень дефектов НЛЗ зависит от содержания углерода, серы, фосфора, меди, легирующих элементов, газов и НВ (обычно неконтролируемых), от температуры разливаемой стали, от согласованности режимов работы отдельных систем МНЛЗ. Многофакторная зависимость образования дефектов, недостаток контролируемых параметров делает стабилизацию требуемого качества НЛЗ сложной задачей.

Значительное упрощение этой задачи, облегчение выявления причин возникновения браковочных дефектов заготовок, определение диапазонов технологических режимов выплавки, раскисления, легирования, внепечной обработки и разливки, стабилизирующих качество слитков, можно достичь с привлечением значительно большего числа недостающих и неопределяемых, но рассчитываемых текущих параметров при математическом моделировании всей цепочки сталеплавильных процессов. Математическое моделирование необходимо, прежде всего, для предварительного проектирования графика и режимов работы устройств основных агрегатов, автоматического управления ими и автоматизированного ведения выплавки, раскисления, внепечной обработки и разливки стали.

Математические модели в алгоритмах и программах системы ОРАКУЛ разработаны на основе фундаментальных термодинамических и физико-химических закономерностей. При автоматическом ведении плавки в ДСП под управлением системы ОРАКУЛ входами моделей является текущая информация о количествах всех видов материалов, газов и электроэнергии, поступающих в печь.

С периодичностью, например 5 секунд, рассчитывается большое количество выходных переменных, по вычислению текущих материального и теплового балансов средняя температура металла, доля и количество расплавленного металлолома. Это необходимые входные переменные для модели прогноза текущих масс и химических составов расплавов стали и шлака на основе расчета межфазного термодинамического равновесия, гидродинамики ванны и материального баланса. Модели имеют алгоритмы адаптации по замерам температуры, по химическому составу проб и алгоритмы самонастройки. Можно выбрать из нескольких сотен набор интересных переменных и визуализировать их в виде графиков во времени на мониторе. С помощью этих моделей предварительно осуществляется проектирование графиков и режимов работы всех устройств ДСП для автоматического ведения плавки по данным принятой (или задаваемой) технологии, целевого химического состава стали сразу после получения информации о массе металлолома по видам, загруженного во все бады. При автоматическом ведении плавки проект выдает управляющие сигналы всем устройствам печи (переключение ступеней напряжения, набор материалов из бункеров и отдача их в печь, режимы работы ТКГ и продувочных фурм). Система ОРАКУЛ установлена на ДСП-1 БМЗ и ее усовершенствованная версия на ДСП-2 ММЗ. При работе системы ОРАКУЛ, например на ДСП-2 ММЗ, для разных групп марок сталей снижены длительность работы печи под током до 7 мин, удельный расход электроэнергии от 1,8 кВтч/т до 100 кВтч/т, удельные расходы извести в среднем на 5,4 кг/т и порошкообразного коксика в среднем на 1,9 кг/т, увеличен выход годного от 1,2 т до 9,6 т. Эти показатели свидетельствуют о преимуществе расчетов перед обычно применяемыми управленческими решениями ведения плавки. Технологи получили возможность («инструмент») анализа текущей плавки, прошедших плавков и поиска лучших технологических режимов.

Автоматическое ведение плавки под управлением системы ОРАКУЛ, кроме экономической эффективности, стабилизировало по группам марок сталей параметры, которые могут влиять на образование дефектов НЛЗ – содержание фосфора, азота и окисленность стали.

На следующем этапе система ОРАКУЛ решает задачу оптимизации отдачи материалов в ковш на сливе перед окончанием плавки, когда по текущему химическому составу металла уже можно гарантировать

прогнозный состав и окисленность стали перед выпуском. Решением задачи минимизации специально составленной функции с наложением на переменные ограничений (составы, стоимость ферросплавов и материалов, целевой химический состав стали, тип НВ и др.) является марки и количество ферросплавов и материалов, порядок и временная последовательность их отдачи в ковш при выпуске металла. Набор ферросплавов и материалов в промежуточные бункера и отдачу их в ковш система ОРАКУЛ может вести в автоматическом режиме. Выпуск в ковш металла и взаимодействие его с вводимыми из бункера материалами система ОРАКУЛ сопровождает расчетом и визуализацией температуры, изменяющегося химического состава металла и шлака, количества образующихся НВ с учетом фактической скорости наполнения ковша и соответственно развития процесса вторичного окисления.

Решение задачи оптимизации режима раскисления и легирования стали на сливе обеспечивает попадание в заданные химический состав (по нижнему пределу), температуру и исключает недораскисленность металла в начале доводки. Это позволяет уменьшить длительность внепечной обработки на печи-ковше (ПК) и стабилизировать перед разливкой более низкую концентрацию НВ. При необходимости частичного снижения содержания серы система предварительно рассчитывает количество отдаваемых в ковш десульфурирующих материалов. Тепловая модель рассчитывает температуру металла в ковше на отстое перед обработкой на ПК.

С целью автоматического ведения доводки на ПК для коррекции температуры, химического состава, науглероживания, десульфурации, снижения содержания газов и НВ система ОРАКУЛ (на принципах аналогичных для ДСП) предварительно проектирует работу всех устройств печи-ковша (трансформатор, продувка аргоном, система отдачи ферросплавов и сыпучих, трайб-аппараты). При проектировании модель решает задачу оптимизации технико-экономических показателей, например минимизацию стоимости, с нахождением технологических параметров доводки в заданных на них ограничениях. Проектируется минимально необходимое время доводки на печи-ковше или при его удлинении в случае неготовности МНЛЗ к разливке оптимальный вариант технологии обработки. Процесс ведется в автоматическом режиме управления устройствами ПК с регистрацией и визуализацией хода технологии и результатов расчета системы (температуры, химического состава). На входы моделей подается текущая информация о поступающих в ковш материалах, энергии и в случае возникающих отклонений (не зависящих от системы ОРАКУЛ) система осуществляет оперативную коррекцию технологического процесса.

Автоматическое ведение доводки на ПК под управлением системы ОРАКУЛ уменьшает (исключает) принятие интуитивно-

профессиональных решений («человеческий фактор»), стабилизирует качество стали от плавки к плавке, гарантирует заданный химический состав и температуру металла перед началом разливки.

В камерном вакууматоре при вакуумной, вакуумно-аргонной обработке стали протекают различные процессы дегазации восстановления углеродом НВ и др., при вакуумно-кислородной – обезуглероживания. Математическое моделирование этих процессов позволяет по исходному и целевому химическому составу и начальной температуре стали спроектировать оптимальные график и режимы вакуумной обработки, сопровождать расчетом и визуализацией, в том числе содержание водорода, азота, НВ, а, например, при обезуглероживании высокохромистого металла и минимальные потери хрома в шлак.

Если не согласованы режимы отдельных систем МНЛЗ, то при разливке жидкой стали требуемого качества можно получить заготовки с поверхностными и внутренними трещинами. Для предотвращения образования «разливочных» дефектов НЛЗ нужно управлять режимами охлаждения на основе расчетов тепловой математической модели. Основными входами модели являются температура (расчетная) разливаемого металла, скорость разливки, расходы охлаждающей воды кристаллизатора и в зоне вторичного охлаждения. Модель рассчитывает текущие температуру поверхности и толщину твердой корочки по длине слитка, глубину жидкого металла и полного затвердевания слитка, распределение температуры по поперечному сечению слитка. В результате тепловая модель может определять рациональные режимы расходов воды по секциям, чтобы снизить неравномерность температурного поля по длине и периметру слитка вдоль зоны вторичного охлаждения, как причину возникновения растягивающих напряжений и образования трещин; максимально возможную скорость вытягивания НЛЗ для предотвращения образования внутренних трещин при попадании двухфазной области слитка в тянущие валки.

Расчеты и опыт заводов БМЗ и ММЗ показали, что установление и применение автоматизированной системы управления на основе математического моделирования дают экономию электроэнергии, материалов, увеличение производительности, уменьшение брака, а затраты окупаются за короткое время – от нескольких месяцев до одного года.

Здесь уместно заметить, что такое поблочное введение и применение АСУТП последовательно для всех основных агрегатов имеет дальнейшую перспективу развития. На основе математических моделей и блоков АСУ с целью достижения максимальной эффективности (например, максимальное количество разливаемых плавков в серии) можно разработать автоматическое проектирование согласованного графика и режимов работы всех агрегатов сталеплавильного производства с коррекцией проекта в случаях непредвиденных отклонений от него. Поскольку

основное количество материальных потоков (ресурсов) проходит через сталеплавильные агрегаты, то в дальнейшем на основе таких математических моделей и блоков АСУТП можно разработать наилучшую автоматизированную систему планирования и управления производством. Дополнительную информацию о системе ОРАКУЛ можно прочесть на сайте www.oracul.org.

Таким образом, применение на БМЗ и ММЗ автоматического проектирования работы устройств агрегатов при выплавке и внепечной обработке стали под управлением системы ОРАКУЛ, разработанной на основе математических моделей расчета и визуализации текущих средней температуры, химического состава металла, решения условных задач минимизации функций себестоимости улучшило технико-экономические показатели, стабилизировало необходимые состав и температуру стали перед разливкой. Совместно с управлением расходами воды в секциях вторичного охлаждения на основе математического моделирования текущих температур поверхности по длине, периметру и поперечному сечению слитка стабилизирует качество непрерывно литых заготовок.