ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ВЫПЛАВКЕ СТАЛИ

ФАЛЬК-ФЛОРИАН ХЕНРИХ, ОТМАР ЯННАШ*

*Smart Steel Technologies GmbH, Берлин, Германия:

Докт. Фальк-Флориан Хенрих, исполнительный директор и основатель;
Докт. Отмар Яннаш, вице-президент по металлургии;

Эл. почта: henrich@smart-steel-technologies.com; otmar.jannasch@smart-steel-technologies.com

Контроль температуры

Строгий температурный контроль в сталеплавильном производстве, начиная с конвертера или дуговой сталеплавильной печи (ДСП), включая процессы вторичной металлургии и заканчивая установкой непрерывной разливки стали (УНРС) является обязательным для обеспечения стабильности процесса и условий затвердевания, необходимых при получении литой продукции требуемого качества. Температурное поведение стали в ковше зависит от различных переменных. В традиционных моделях невозможно точно учесть все будущие параметры и неопределенности, учитываемые при точном контроле температуры.

Smart Steel Technologies (SST) предлагает программное обеспечение (ПО) SST Temperature Optimization AI, основанное на искусственном интеллекте и содержащее точные температурные модели для всего процесса выплавки стали, основанные на передовых технологиях машинного обучения (**рис. 1**).

Благодаря повышению точности, обеспечиваемому Smart Steel Technologies, температурные буферы надежно минимизируются, что позволяет снизить энергопотребление, уменьшить выбросы CO_2 в атмосферу и повысить стабильность разливки. В то же время ПО обеспечивает прочную основу для оптимизации времени и анализа нерегулярных температурных отклонений.

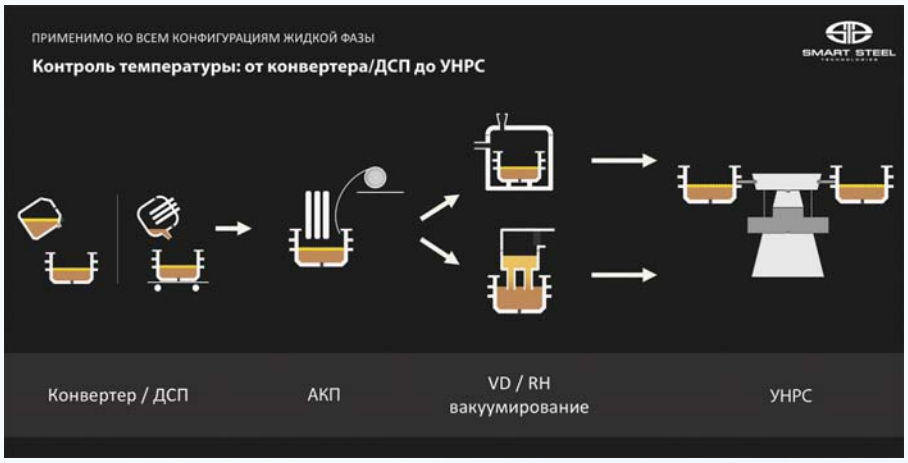

Рис. 1. Управление температурой от выпуска стали до разливки

Фундаментальные отличия от традиционной оптимизации процессов

Традиционная оптимизация процесса основана на рукописных формулярах и усредненных измеренных значениях на единицу. Временные ряды с высоким разрешением сокращают до одного числа. Чрезмерное упрощение приводит к постоянной потере информации:

– сложные температурные кривые сводятся к нескольким числам;

– тепловое поведение ковшей представляется одним числом;

– не учитываются сложные и нелинейные взаимозависимости в производстве стали, например незначительные отклонения во времени могут быть усреднены.

Традиционный подход к оптимизации процесса требует ручной настройки моделей в течение многих лет, и в случае существенных изменений в процессе, эту настройку следует выполнить заново. Дальнейшее повышение производительности и качества требует применения передовых нелинейных методов к данным высокого разрешения. Подход компании Smart Steel Technologies предусматривает следующие аспекты:

– полная обработка информации временных рядов без потери информации;

– многомерное моделирование, включающее все сигналы и данные уровней 1 и 2;

– внедрение наиболее успешных на сегодняшний день методов контролируемого обучения в сталелитейном производстве;

– установка глубокого ноу-хау производства стали во всех моделях.

© Фальк-Флориан Хенрих, Отмар Яннаш, 2020

Рис. 2. Прогноз температуры стали в промежуточном ковше на УНРС для плавки Н6 в ковше L1 во время обработки этой плавки на АКП

Smart Steel Technologies регулярно обрабатывает тысячи технологических сигналов, автоматически извлекает соответствующие комбинации технологических параметров из больших данных и предоставляет модели, специально разработанные для анализа процессов производства стали. Smart Steel Technologies значительно превосходит рыночный стандарт машинного обучения и включает последние разработки в области причинно-следственных связей в разработку ПО.

Металлургические экспертные знания и технологические ноу-хау, которыми обладает команда Smart Steel Technologies, являются неотъемлемой частью ПО. Поэтому из аналитических результатов исключают выводы, не имеющие значения в металлургическом или техническом смысле. Результаты оптимизации процессов SST содержат конкретные рекомендации к действиям с надежным соотношением затрат и эффективности.

Обзор сталеплавильного производства на 360 градусов

Smart Steel Technologies включает все релевантные параметры процесса и данные измерений в расчеты модели, особенно параметры, установленные последними, и самые последние измерения.

На **рис. 2** показан прогноз температуры стали в промежуточном ковше на УНРС для плавки Н6 в ковше L1 во время обработки плавки на агрегате ковш-печь (АКП). В текущей последовательности разливки плавки Н1 в ковше L1, Н2 в L2 и Н3 в L3 уже были разлиты на УНРС. В момент времени, когда выполняется прогноз температуры для плавки Н6, на УНРС производится разливка плавки Н4 из ковша L4, в то время как плавка Н5 в ковше L5 находится в пути от АКП до УНРС.

Для расчета прогноза температуры для плавки Н6 Smart Steel Technologies берет во внимание следующие параметры в соответствии с **рис. 3**:

– все параметры процессов и данные измерений, начиная с выпуска плавки Н6 из конвертера/дуговой печи;

– история ковша L1 — ход температуры в предыдущих циклах ковша L1, т. е. история температуры во время обработки и разливки плавки Н1 в ковше L1;

– история использования промежуточного ковша;

– положение текущей плавки Н6 в последовательности разливки;

– обстоятельства текущей последовательности разливки — уже измеренная температура стали в промежуточном ковше плавки Н4 на момент прогнозирования для плавки Н6.

На основе полученных данных температурная модель Smart Steel Technologies благодаря машинному обучению автоматически подстраивается под конкретные условия каждого плавильного цеха, учитывая его технологические маршруты, оборудование и производимые марки стали. Контролируемая система самообучения постоянно, день за днем, оптимизирует модель плавку за плавкой.

На **рис. 4** показаны потоки данных и принципы работы модели оптимизации температуры SST Temperature Optimization AI.

Рис. 3. Параметры процесса, учитываемые при расчете

Контроль температуры на конвертерах/дуговых печах, АКП и УНРС

Контроль температуры на конвертерах или ДСП, АКП и на УНРС осуществляют следующим образом.

Дуговая сталеплавильная печь: оптимизация энергозатрат во время фазы плоской ванны. Во вре-

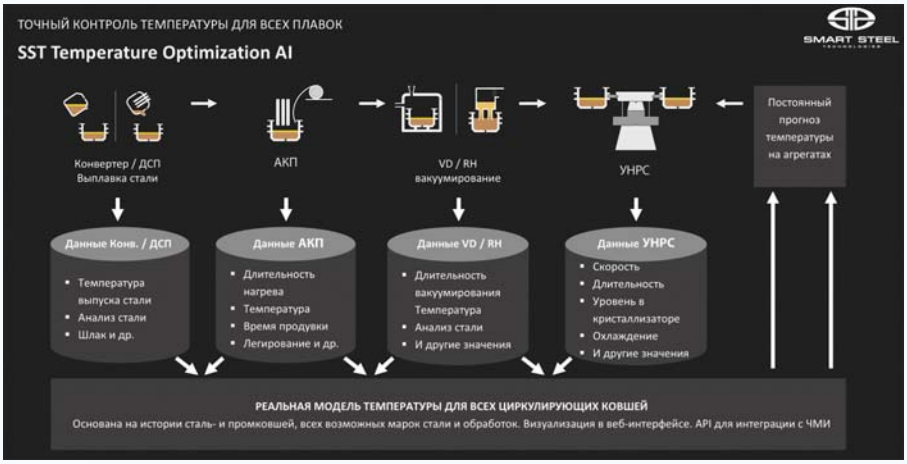

Рис. 4. Принцип работы модели оптимизации температуры SST Temperature Optimization AI

мя фазы плоской ванны или фазы перегрева в сталь через электроды вводят электрическую энергию, а углерод и кислород, реагирующие в CO, впрыскивают для образования вспененного шлака. Это и потери углерода электродами привносят в сталь химическую энергию. В начале фазы плоской ванны ПО SST вычисляет следующие значения параметров:

– ожидаемая фактическая температура выпуска стали;

– ожидаемая температура окончания разливки (последняя фактическая температура стали в промежуточном ковше в момент закрытия ковша);

– рекомендуемая оптимальная температура выпуска стали.

Программное обеспечение формирует рекомендации для оператора, основанные на разнице между рекомендуемой оптимальной температурой выпуска стали и ожидаемой фактической температурой. Как температура, так и рекомендуемые изменения отображаются в главном человекомашинном интерфейсе (ЧМИ). Таким образом, оператор может адаптировать заданные значения.

Кроме того, ПО SST Temperature Optimization AI предоставляет обширный интерфейс визуализации для анализа корреляции между температурой выпуска стали и активностью кислорода.

Конвертер: оптимизация динамической фазы обезуглероживания. В конце основной фазы обезуглероживания отбирают образец для определения температуры и химического анализа стали. На основе этих значений динамическое обезуглероживание контролируют относительно потока кислорода, высоты фурмы и длительности продувки для достижения конечного содержания углерода и конечной температуры.

Содержание углерода на данный момент времени уже является низким. Дальнейшее повышение температуры стали посредством окисления углерода и даже железа появляется во время динамического обезуглероживания, компенсируемого добавлением хладагентов по запросу. В конце происходит фаза восстановления. Во время взятия пробы ПО SST вычисляет значения следующих параметров:

– ожидаемая фактическая температура выпуска;

– ожидаемая фактическая температура на входе в АКП;

– ожидаемая температура окончания разливки (последняя фактическая температура стали в промежуточном ковше в момент закрытия ковша);

– рекомендуемая оптимальная температура выпуска.

На основании разницы между рекомендуемой оптимальной температурой выпуска стали и ожидаемой фактической температурой ПО предоставляет рекомендации для минимизации этой разницы:

– оптимизация фазы динамического обезуглероживания относительно продолжительности продувки, расхода кислорода и положения фурмы;

– минимизация добавления охладителя и расхода кислорода.

Прогнозы и рекомендуемые изменения отображаются в главном терминале ЧМИ для удобства работы.

Агрегат ковш-печь: оптимизация энергозатрат во время электрического нагрева. Непосредственно в момент наличия анализа стали на входе в АКП и температуры стали ПО SST рассчитывает следующие параметры:

– ожидаемая фактическая температура конца нагрева;

– ожидаемая температура окончания разливки (последняя фактическая температура стали в промежуточном ковше в момент закрытия ковша);

– рекомендуемая оптимальная температура конца нагрева.

На основании разницы между рекомендуемой оптимальной температурой нагрева и ожидаемой фактической температурой нагрева ПО предоставляет рекомендации, отображаемые в существующем ЧМИ, для минимизации этой разницы.

Установка непрерывной разливки стали: прогнозирование температуры стали в промежуточном ковше для текущей и последующей плавок. На УНРС ПО SST вычисляет следующие параметры:

– температура конца разливки текущей плавки;

– температура конца разливки последующей плавки;

– ожидаемая фактическая температура обрабатываемой плавки на выходе из АКП непосредственно после окончания нагрева.

Программное обеспечение постоянно обновляет все вычисленные значения температур и может предоставить прогноз полной температурной кривой для промежуточного ковша. Все результаты вычислений отображаются в главном терминале ЧМИ. Таким образом, оператор может адаптировать заданные значения. ЧМ

SMART STEEL
TECHNOLOGIES

SST CASTING OPTIMIZATION AI

- *Снижение уровня дефектов поверхности за 6 месяцев*

SST SURFACE INSPECTION AI

- *Точная классификация дефектов поверхности за 2 месяца*

SST TEMPERATURE OPTIMIZATION AI

- *Повышение энергетической и CO_2 эффективности плюс стабильность за 5 месяцев*

SST ROLLING OPTIMIZATION AI

- *Повышение качества прокатки, сокращение прерываний за 6 месяцев*

SST ON-PREMISES STEEL AI PLATFORM

- *Платформа автоматизированной интеграции и курирования данных, охватывающая все производственные процессы*

* СККП – Система Контроля Качества Поверхности

www.smart-steel-technologies.com - Willi-Schwabe-Straße 1, D-12489 Berlin - +49 30 403 673 720

Реклама