

УДК 681.515

ТКАЧЕНКО В.Н., д.т.н. (ІПММ НАН України),
ЧЕРНЫШЕВ Н.Н., к.т.н.,
ВОЛУЕВА О.С., ассистент (Донецкий НТУ)

Оценка зарастания канала дозирования жидкого металла в кристаллизатор МНЛЗ

Исследуется изменение расходной характеристики стопорного дозирующего устройства в процессе непрерывной разливки металла на МНЛЗ и его влияние на работу системы управления процессом непрерывной разливки. Разработан алгоритм оценки изменения пропускной способности канала дозирования жидкой стали в кристаллизаторе в процессе разливки на основе математической модели и данных измерений.

Ключевые слова: стопор, промковш, кристаллизатор, дозирование жидкого металла, расходная характеристика.

Введение (общая постановка проблемы)

Одной из основополагающих составляющих качества заготовки при непрерывной разливке стали является начальное формирование корочки сляба в зоне первичного охлаждения – кристаллизаторе, при этом важно поддерживать с высокой точностью постоянный уровень металла в кристаллизаторе. Наиболее рациональным способом автоматизации этого процесса в настоящее время является стабилизация уровня с применением стопорного затвора через стакан-дозатор. Для защиты струи от окисления используются погружные стаканы (разливка закрытой струей). Особенностью работы с погружными стаканами является их «зарастание» - отложение стали из-за недостаточно высокой температуры и неметаллических включений (частиц корунда, алюминатов, алюмосиликатов кальция, глиноземистых и прочих химических соединений) на стенках стакана в процессе непрерывной разливки (рис. 1) [1, 2, 3]. При длительной разливке зарастание внутренней полости погружного стакана является значительной проблемой, поскольку в зависимости от материала стакана, состава разливаемой стали, уже через несколько часов после начала разливки возникает необходимость в замене стакана. Это происходит вследствие уменьшения его рабочего диаметра до такой степени, что даже при предельном значении высоты подъема стопора не обеспечивается необходимый расход металла в кристаллизатор и становится невозможным обеспечивать заданную скорость разливки. Кроме того, возрастает угроза отрыва отложений и, следовательно, загрязнения слитка неметаллическими включениями.

Слой отложений так же влияет на характер потока металла через дозирующую систему, формирует несимметричный поток в кристаллизаторе, что создает дополнительные производственные проблемы и ухудшение качества продукции. На современном этапе развития технологии МНЛЗ разрабатываются и применяются устройства быстрой замены погружных стаканов и стаканов-дозаторов. Однако это предполагает использование специальных дорогостоящих огнеупорных изделий, что связано с необходимостью обеспечения высокой точности контакта между сменным стаканом-дозатором и базовым стаканом промковша по всей плоскости скольжения и, как следствие, увеличиваются затраты на разливку. Если же в силу конструктивных особенностей при зарастании стакана отсутствует возможность его замены, это ведет к остановке разливки [4].

Таким образом, учет зарастания дозирующего канала для коррекции управляющих воздействий системой автоматического управления разливкой, а также разработка автоматизированного метода определения момента замены погружного стакана являются актуальными практическими задачами усовершенствования системы управления МНЛЗ.

Цель и постановка задач исследования

Целью исследования является повышение качества управления в системе автоматического поддержания уровня в кристаллизаторе МНЛЗ за счет учета изменения пропускной способности канала дозирования жидкого металла в процессе разливки.

Задачи исследования:

1) Провести идентификацию реальной расходной характеристики стопорного затвора в процессе разливки на основе прямых измерений и математической модели.

© В.Н. Ткаченко, Н.Н. Чернышев, О.С. Волуева, 2014

2) Разработать алгоритм оценки изменения стали в кристаллизатор в процессе разливки. пропускной способности канала дозирования жидкой

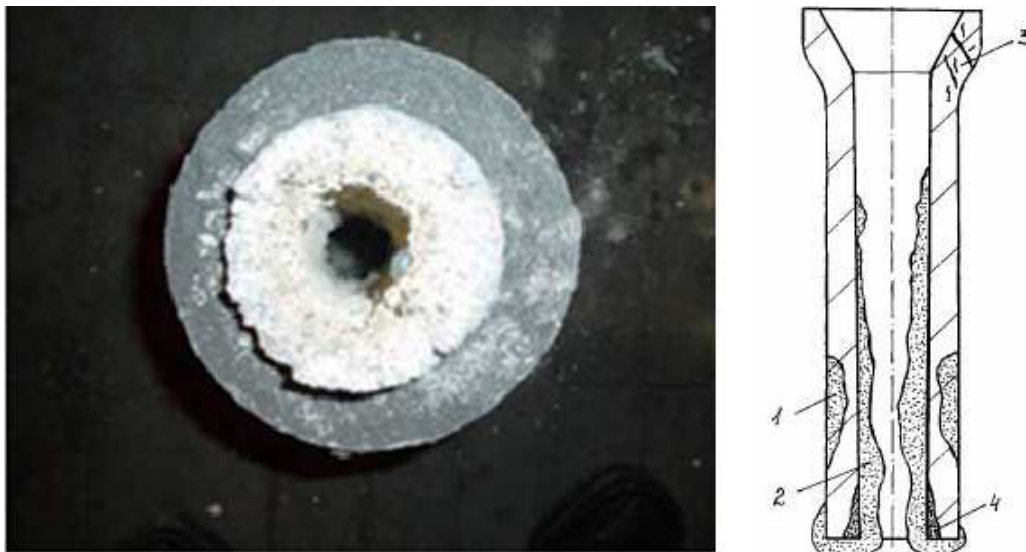


Рис.1. Фотография зарастания внутренней полости погружного стакана включениями глинозема (а) и схематическое представление характера износа погружного стакана в процессе разливки (б): 1 – эрозия в зоне шлакового пояса; 2 – зарастание внутренней полости неметаллическими включениями; 3 – растрескивания в зоне контакта со стаканом-дозатором; 4 – эрозионный износ в зоне истечения струи

Основная часть

Рассмотрим основные зависимости [5 - 6]:

1. Уравнение материального баланса в кристаллизаторе

$$dL(t) = \frac{1}{S_k} (Q_1(t) - Q_2(t))dt . \tag{1}$$

2. Расход металла из промковша

$$Q_1(t) = S_{\text{доз}}(t)\mu\sqrt{2gL_{\text{пк}}} , \tag{2}$$

где $S_{\text{доз}}(t)=\pi d^2(t)/4$ – текущее значение проходного сечения выходного отверстия дозатора, зависящее от высоты подъема стопора, то есть $S_{\text{доз}}(t)=f(h_{\text{стопора}})$ [м²];

μ – эмпирический коэффициент истечения металла из отверстия, учитывающий трение и скорость струи;

g – ускорение свободного падения, [м/с²];

$L_{\text{пк}}$ – уровень металла в промковше, [м].

При стопорной разливке расход металла из промковша $Q_1(t)$ определяется в соответствии расходной характеристикой стопора и соответствует $G_1(h_{\text{стопора}})$, то есть можно считать, что

$$G_1(t) = Q_1(t) . \tag{3}$$

Эта характеристика является нелинейной, однако при выборе оборудования рабочий участок обычно

предполагается на ее линейной части. При зарастании сталевыпускного канала, рабочая область сдвигается и может оказаться на нелинейном участке (рис. 3).

3. Расход металла из кристаллизатора, который пропорционален скорости вытягивания заготовки и площади сечения кристаллизатора,

$$Q_2(t) = S_{\text{кр}} V_{\text{выт}}(t) , \tag{4}$$

где $V_{\text{выт}}$ – линейная скорость вытягивания слитка, [м/с].

Поскольку текущие значения $h_{\text{стопора}}$, L и $V_{\text{выт}}$ измеряются и, следовательно, известны (геометрические характеристики кристаллизатора также заданы для текущей разливки), решить обратную задачу и определить текущую расходную характеристику $G_1(h_{\text{стопора}})$ сталевыпускного канала можно в соответствии с выражением

$$G_1(t) = Q_1(t) = S_{\text{кр}} \frac{dL_{\text{кр}}(t)}{dt} - S_{\text{кр}} k_{\text{выт}} V_{\text{выт}}(t) = S_{\text{кр}} \left(\frac{dL}{dt} - k_{\text{выт}} V_{\text{выт}} \right) . \tag{5}$$

С учетом описанных выше дополнений, система управления уровнем металла в кристаллизаторе, описанная в [7], примет вид рис. 2.

Поскольку $h_{\text{стопора}}(t)$ и $G_1(t)$ для одних и тех же моментов t будет известно, то можно построить

зависимость $G_1(h_{\text{стопора}})$. В результате моделирования системы рис. 2 была получена расходная характеристика, которая в начале работы полностью повторяет заданную (рис. 3).

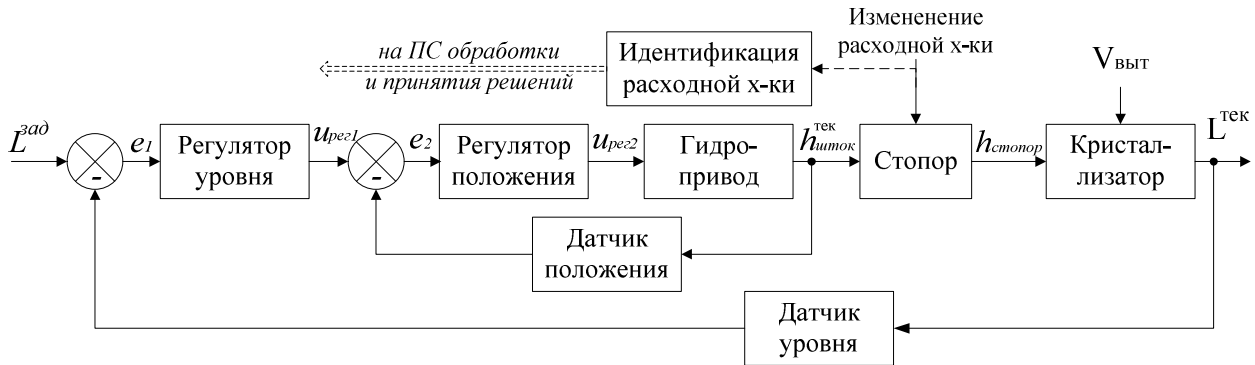


Рис. 2. Функциональная схема комбинированной системы управления уровнем металла в кристаллизаторе

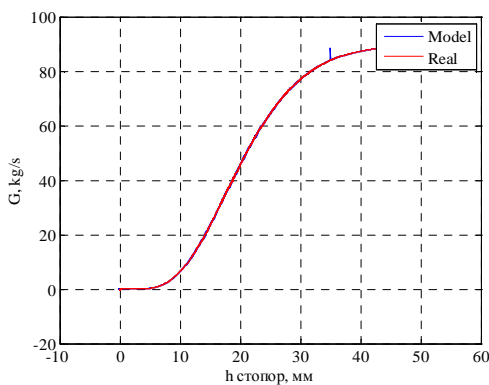


Рис. 3. Заданная (Model) и расчетная (Real) расходные характеристики стопорной системы

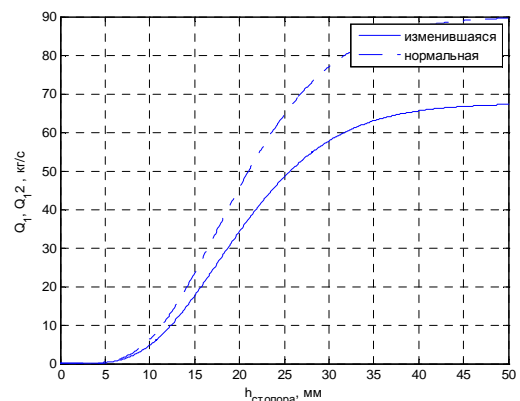


Рис. 4. Расходные характеристики стопорной системы

Изменение характеристики при введении «зарастания» приведено на рис. 4.

Практическое применение полученных результатов отражено в разработке алгоритма взаимодействия локальной системы управления уровнем с системой управления непрерывной разливкой [8].

Предлагаемый алгоритм заключается в следующем (рис. 6). В начале работы МНЛЗ снимается исходная («эталонная») расходная характеристика стопорной системы и сохраняется в базе данных. Через некоторые промежутки времени на основе данных измерений с датчиков скорости вытягивания $V_{\text{выт}}$, уровня L и линейного перемещения стопора l в соответствии с выражением (5) вычисляется текущая расходная характеристика в рабочей области. Затем определяется степень ее несоответствия исходной (рис.5), то есть оценивается, на сколько снизилась пропускная способность погружного стакана. Если снижение пропускной способности превысило заданную границу Y_{max} – выдается сообщение оператору, который принимает решение по данной ситуации (необходимость замены стакана, снижение скорости разливки и т.д.).

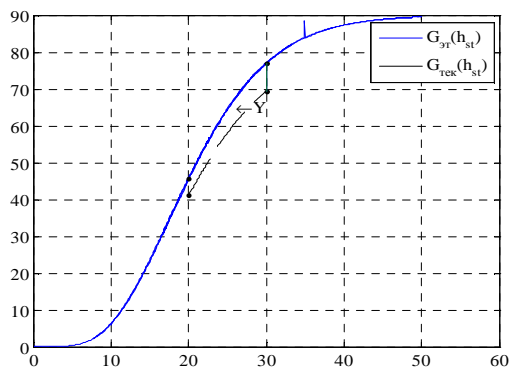


Рис. 5. Определение несоответствия Y текущей характеристики и исходной (площадь отклонения характеристики) в рабочей области

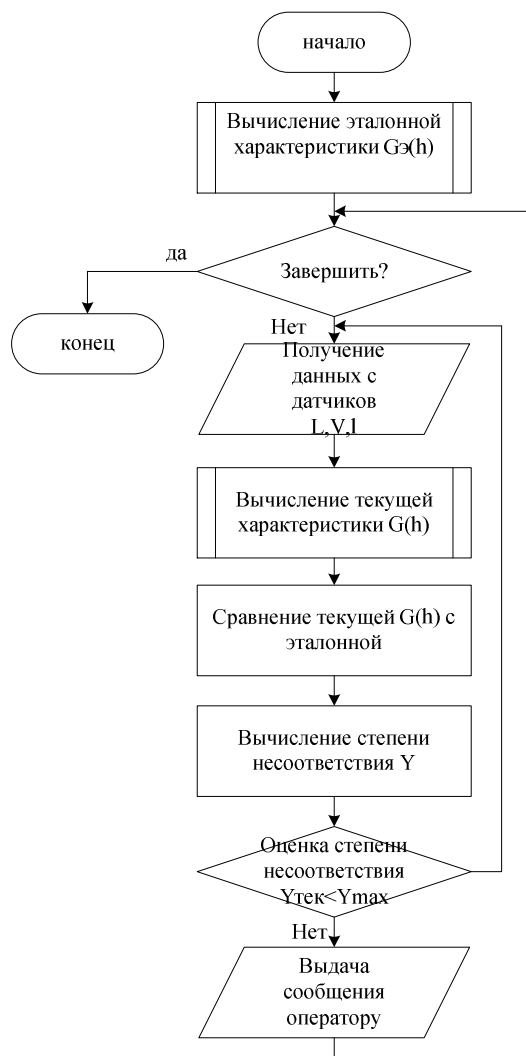


Рис. 6. Алгоритм работы подсистемы оценки изменения пропускной способности канала дозирования жидкой стали в кристаллизатор

Выводы

1. Зарастание погружного стакана негативно сказывается на качестве производимой заготовки в процессе непрерывной разливки стали вследствие загрязнения слитка неметаллическими включениями.
2. Предложен метод оценки степени зарастания канала дозирования жидкой стали в процессе разливки на основе прямых измерений уровня, скорости вытягивания заготовки и линейного перемещения стопорного механизма.
3. Разработан алгоритм оценки изменения пропускной способности канала дозирования жидкой стали в кристаллизатор и взаимодействия с системой управления МНЛЗ.

Литература

1. Смирнов А.Н., Куберский С.В., Штепан Е.В. Непрерывная разливка стали: Учебник. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – 482 с.
2. Смирнов А.Н., Сафонов В.М., Дорохова Л.В., Цупрун А.Ю. Металлургические мини-заводы. - Донецк: Норд-Пресс, 2005. - 469 с.
3. Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В., Смирнов А.Н. Производство стали. Том 4. Непрерывная разливка металла. – М.: «Теплотехник», 2009 – 528 с.
4. Смирнов А.Н., Верзилов А.П. Погружные стаканы для разливки слябов на МНЛЗ. ОАО "Черметинформация", бюллетень "Черная металлургия". Выпуск 9 (1341). – М.: «Черметинформация», 2011.- с.42-51.
5. Чернышев Н.Н. Синтез математической модели системы автоматического регулирования уровнем металла в кристаллизаторе / Н.Н. Чернышев // Збірник наукових праць «Моделювання та інформаційні технології», гол. ред. В.Ф.Євдокимов. – Київ: Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова, 2012. – Випуск 65. – с. 195-202.
6. Чернышев Н.Н. Повышение качества управления в системе автоматического регулирования уровнем металла в кристаллизаторе МНЛЗ / Н.Н. Чернышев // Сборник докладов VI Всеукраинской научно-практической конференции «Информационные технологии и автоматизация - 2013», г. Одесса 17 октября, 2013. – Одесса: ОНАПТ, 2013. – С. 43-44.
7. Волуева О.С. Система регулирования положения стопорной системы промковша машины непрерывного литья заготовок. Науковий вісник Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Серія: Комп'ютерні системи та компоненти. – Том3, випуск 2. – Чернівці: ЧНУ. – с.74-78.
8. Волуева О.С. Основные функции компьютерной системы управления процессом непрерывной разливки стали. / О.С. Волуева, В.М.Ткаченко, А.А.Иванова // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Обчислювальна техніка та автоматизація". Випуск 88. – Донецьк: ДонНТУ, 2005.

Tkachenko V., Chernyshev N., Volueva O. The estimation of healing of the channel for dispensing hot metal into continuous casting machine mold. The change in metering characteristic of stopper dispensing device in the process of continuous metal casting in continuous casting machine and its influence on the continuous casting process management is researched in the given article. An algorithm for estimating the change in the capacity of the channel for dispensing hot steel into mold in the process of casting on the basis of mathematical model and measurement data has been developed.

Key words: stopper, tundish, mold, hot metal dispensing, metering characteristic.

Ткаченко В.М., Чернишов М.М., Волуєва О.С. Оцінка заростання каналу дозування рідкого металу в кристалізатор МНРЗ. Досліджується вплив зміння розхідної характеристики стопорного дозуючого пристрою в процесі неперервного розливання металу на МНРЗ. Розроблено алгоритм оцінки зміння пропускної здатності каналу дозування рідкої сталі в кристалізатор в процесі розливання.

Ключові слова: стопор, промковщ, кристалізатор, дозування рідкого металу, розхідна характеристика.

Рецензент д.т.н., професор Скобцов Ю.А. (ГВУЗ «ДонНТУ»)

Поступила 19.02.2014г.