

Розділ 1. Автоматизація технологічних процесів

УДК 621.746.5

Н.В. Жукова, О.С. Волуева, В.В. Корчак

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

Кафедра автоматизации и телекоммуникаций

E-mail: Zhnatka@mail.ru, voluevaos@gmail.com, undis@jamer.net**СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ МЕТАЛЛА И СКОРОСТИ ВЫТЯГИВАНИЯ ЗАГОТОВКИ ИЗ КРИСТАЛЛИЗАТОРА****Аннотация**

Жукова Н.В., Волуева О.С., Корчак В.В. Система автоматического управления уровнем металла и скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора. Задачи стабилизации процесса непрерывного радиального литья, повышения качества заготовок решены за счет разработки двухуровневой системы управления, компенсирующей контролируемые возмущения и обеспечивающей изменение скорости вытягивания заготовки в пределах, зависящих от положения фронта кристаллизации металла в кристаллизаторе.

Ключевые слова: двухуровневая система управления, кристаллизатор, упругая связь, скорость вращения двигателя и механизма.

Общая постановка проблемы и задачи исследований. Установка непрерывного радиального литья предназначена для вытягивания слитка (заготовки) из кристаллизатора в заданных технологических режимах при определенных изменениях технических параметров непрерывного литья. Принцип непрерывного литья заключается в том, что жидкий металл из ковша заливают в интенсивно охлаждаемую сквозную форму прямоугольного, квадратного или круглого сечения – кристаллизатор, где происходит частичное затвердевание непрерывно-вытягиваемого слитка, дальнейшее его затвердевание происходит при прохождении зоны вторичного охлаждения. Процесс непрерывного литья позволяет получать заготовки (после резки) для прокатных станов, а также его можно совместить с непрерывной прокаткой в одном агрегате.

Анализ технологии радиального литья [1] показал, что качество заготовки в большой степени зависит от точности регулирования уровня металла в кристаллизаторе. Регулирование уровня металла в кристаллизаторе имеет первостепенное значение для процесса непрерывной разливки, так как качество слитков в большей степени зависит от точности регулирования. Этот уровень в процессе разливки должен находиться в довольно узких заданных пределах, что обусловлено следующими причинами возникновения аварийных ситуаций: превышение уровня может привести к переливу металла через верх кристаллизатора; понижение уровня ниже допустимого предела приводит к получению в пределах кристаллизатора тонкой корочки слитка, ее разрыву и прорыву жидкого металла под кристаллизатором. Значительные колебания жидкого металла нарушают также стабильность охлаждения слитка в кристаллизаторе, изменяют условия кристаллизации и сказываются на качестве непрерывнолитой заготовки.

Основными возмущениями, оказывающими влияние на процесс разливки является скорость вытягивания слитка, износ стакана в промежуточном ковше, остывание металла, а следовательно, повышение вязкости и динамических отклонений стопора от установившегося значения. Но так как температура изменяется очень плавно и в малом диапазоне, последнее возмущение незначительно. Наиболее важным и основным

возмущением является износ донного стакана в промковше [2,3], так как его состояние в каждый момент времени контролировать невозможно. Анализ существующих систем регулирования уровня металла в кристаллизаторе показал, что в системах применяют принцип компенсации ошибки уровня металла, предупреждающий изменение скорости разливки. Данный принцип даёт возможность компенсировать и другие возмущения, оказывающие непосредственное влияние на процесс непрерывной разливки металла (минимизация динамических отклонений стопора, и др.), при этом скорость вытягивания заготовки постоянна. Однако, как показывает практика, из-за проблемы контроля износа донного стакана в промковше, трудно удовлетворить современным требованиям стабилизации процесса литья и качества поверхности заготовок. Таким образом, необходима разработка двухуровневой системы автоматического управления, которая не только компенсировала бы контролируемые возмущения, но и обеспечивала изменение скорости вытягивания заготовки в пределах, зависящих от положения фронта кристаллизации металла в кристаллизаторе.

Решение задачи. Постоянный уровень металла в кристаллизаторе ($h_{кр} = const$) обеспечивается путём изменения подачи металла в кристаллизатор стопорным затвором промежуточного ковша при постоянной скорости вытягивания слитка. Тогда дифференциальное уравнение кристаллизатора МНЛЗ будет иметь вид [4]:

$$\frac{dy(t)}{dt} = kx(t),$$

где входной величиной при этом является $x(t) = \Delta\Theta_m$ - изменение интенсивности подачи металла [$м^3/с$], а выходной – уровень металла в кристаллизаторе $y(t) = h_{кр}$ [м], $k = \frac{1}{s_{кр}}$ - коэффициент передачи, $s_{кр}$ - площадь живого сечения кристаллизатора [$м^2$].

Подача металла в кристаллизатор в зависимости от перемещения стопора определяется из выражения [4]:

$$\Theta_m = \mu s \rho \sqrt{2gh},$$

где s – текущее значение проходного сечения, зависящее от высоты подъёма стопора, [$м^2$];

g – ускорение свободного падения, [$м/с^2$];

h – уровень металла в пром ковше, принимаемый равным 500 мм;

μ – коэффициент расхода, принятый, согласно экспериментальным данным, равным 0.5;

ρ – плотность разливаемого металла, [$кг/м^3$].

Функциональная схема системы регулирования уровнем металла в кристаллизаторе представлена на рис.1.

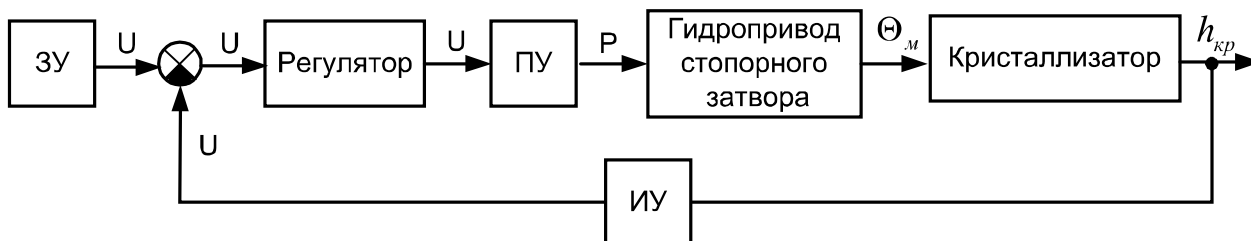


Рисунок 1 – Функциональная схема системы регулирования уровнем металла в кристаллизаторе: ЗУ – задающее устройство, ПУ – преобразовательное устройство

Управляемым является стопорный затвор промковша МНЛЗ, имеющий гидропривод, состоящий из гидравлического цилиндра короткого хода, золотникового клапана, самого стопора и провода, подводящегося от магистрали насосной установки к золотниковому

клапану. Входом на гидропривод является давление масла, подаваемое на клапан, а выходом изменение интенсивности подачи металла в кристаллизатор. Для осуществления задачи автоматической системы регулирования уровня металла в кристаллизаторе, на стенке кристаллизатора выведены и зачеканены горячие спаи термопар.

Элементы гидропривода описываются уравнениями типовых динамических звеньев. Стопор, гидроцилиндр и термопара являются апериодическими звеньями, так как они инерционные. Передаточные функции для них можно записать в виде [5]:

$$W_i(p) = \frac{k_i}{T_i p + 1},$$

где k_i – коэффициенты передачи; T_i – постоянные времени;

Золотниковый клапан является безынерционным звеном, так как постоянная времени несоизмеримо мала по сравнению с другими элементами системы, следовательно, быстродействие несоизмеримо выше, поэтому его постоянную времени принимаем равную нулю. Передаточная функция этого устройства имеет вид:

$$W(p) = k,$$

где k – коэффициент передачи.

Далее рассмотрим систему автоматического регулирования скорости вытягивания заготовки. Данная система обеспечивает требуемую по технологическим режимам скорость вытягивания заготовки, соответствующую положению фронта кристаллизации металла, и может быть реализована посредством многосвязной электромеханической системы (ЭМС), в которой электрические, механические и технологические факторы взаимосвязаны определенным образом.

При рассмотрении такой сложной динамической системы необходимо учитывать влияния упругих связей первого и второго рода на динамику систем электроприводов. Система Д – ИМ (двигатель – исполнительный механизм) является двухмассовой с упругостями первого рода. В ней упругим звеном является кинематическая передача, связывающая двигатель с исполнительным органом. Упругая связь второго рода, это связь механизмов через рабочее тело (заготовку), оказывает влияние на динамические характеристики систем электроприводов тянущих валков вытяжного устройства. Локальные САУ электроприводов клетей построены по принципу подчиненного регулирования. А двухсвязная ЭМС по принципу «ведущий - ведомый», т.е. ведущий электропривод диктует скорость вращения и, соответственно вытягивания, а ведомый следует заданию его электромагнитного момента. Математическая модель двухсвязной ЭМС регулирования скорости вытягивания заготовки представлена в интегро - дифференциальном виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_i(t) = R_i I_i(t) + L_i \frac{dI_i(t)}{dt} + C_i \omega_i(t); \quad U_i(t) = K_{\text{ТП}} \left[K_{\text{П}} \cdot \varepsilon_{I_i}(t) + \frac{1}{T_u} \int_0^t \varepsilon_{I_i}(t) dt \right] \\ \varepsilon_{I_i}(t) = U_{\omega_i}(t) - I_i(t) \cdot K_{ocI}; \quad U_{\omega_i}(t) = K_{\text{П}} \cdot \varepsilon_{\omega_i}(t) + \frac{1}{T_u} \int_0^t \varepsilon_{\omega_i}(t) dt \\ \varepsilon_{\omega_i}(t) = \alpha_{\text{зад}\omega_i}(t) - \omega_i(t) \cdot K_{oc\omega}; \quad J_i \frac{d\omega_i(t)}{dt} = CI_i(t) - M_{y.c\omega_i}(t) \\ M_{y.c\omega_i}(t) = k \int_0^t (\omega_i - \omega_{m_i}) dt; \quad J_i \frac{d\omega_{m_i}(t)}{dt} = CI_i(t) - M_{C_i}(t) \mp M_{12}(t) \\ M_{12}(t) = k_{12} \int_0^t (\omega_1 - \omega_2) dt; \quad V_{\text{сбл}}(t) = \frac{r}{z} \omega_1(t) \quad i = 1,2 \end{array} \right. \quad (1)$$

В моделі (1) в електроприводах валков клетей використовуються двигатели постійного току с незалежним возбуждением, регульовані по швидкості обертання. В системі рівнянь (1) відомими функціями часу є $U_i(t)$, $U_{\omega_i}(t)$ – напруги живлення (В), регульовані по ПИ-закону с помилками розгладшення $\varepsilon_{I_i}(t)$, $\varepsilon_{\omega_i}(t)$ між задаючими впливами для контурів токів і швидкостей відповідно і сигналів зворотних зв'язей по $I_i(t)$ і $\omega_i(t)$; $M_{ci}(t)$ – моменти навантажень, приведені до роторам двигателів (Н·м); відомими параметрами також є J_i – моменти інерції, приведені до роторам електродвигателів ($кг \cdot м^2$), R_i – активні опору якорів двигателів і тиристорного перетворювача (ТП) (Ом), L_i – індуктивності силових ланок ТП-Д (Гн), r – радіус валка витяжного пристрою (м), z – передаточне число редуктора; $C_i, K_{ТП}, K_{OC\omega}, K_{OC I}$ – постійні машини, коефіцієнти зворотного зв'язю по швидкостям і токам; $K_{П}, T_i$ – коефіцієнти пропорційної і інтегральної частин ПИ-регулятора. Невідомими функціями часу є $\omega_i(t)$, $\omega_{mi}(t)$, $V_{выт}(t)$ – швидкості обертання двигателів і механізмів (рад/с) і витягивання заготовки (м/с); $C \cdot I_i(t)$ – активні електромагнітні моменти на валах двигателів (Н·м); $M_{y.cvi}(t)$ – моменти пружної зв'язю першого роду, приведені до валам двигателів (Н·м); $M_{12}(t)$ – момент пружної зв'язю другого роду, приведені до валам двигателів (Н·м).

Як відзначалося в постановці задачі задання швидкості витягивання заготовки повинно коректуватися зовнішнім контуром стабілізації рівня металу в кристаллизаторі. Побудуємо структурну схему двохуровневої САУ (рис.2) для дослідження динамічних процесів в САУ рівня металу в кристаллизаторі і САУ швидкості витягивання заготовки, використовуючи рис.1 і (1).

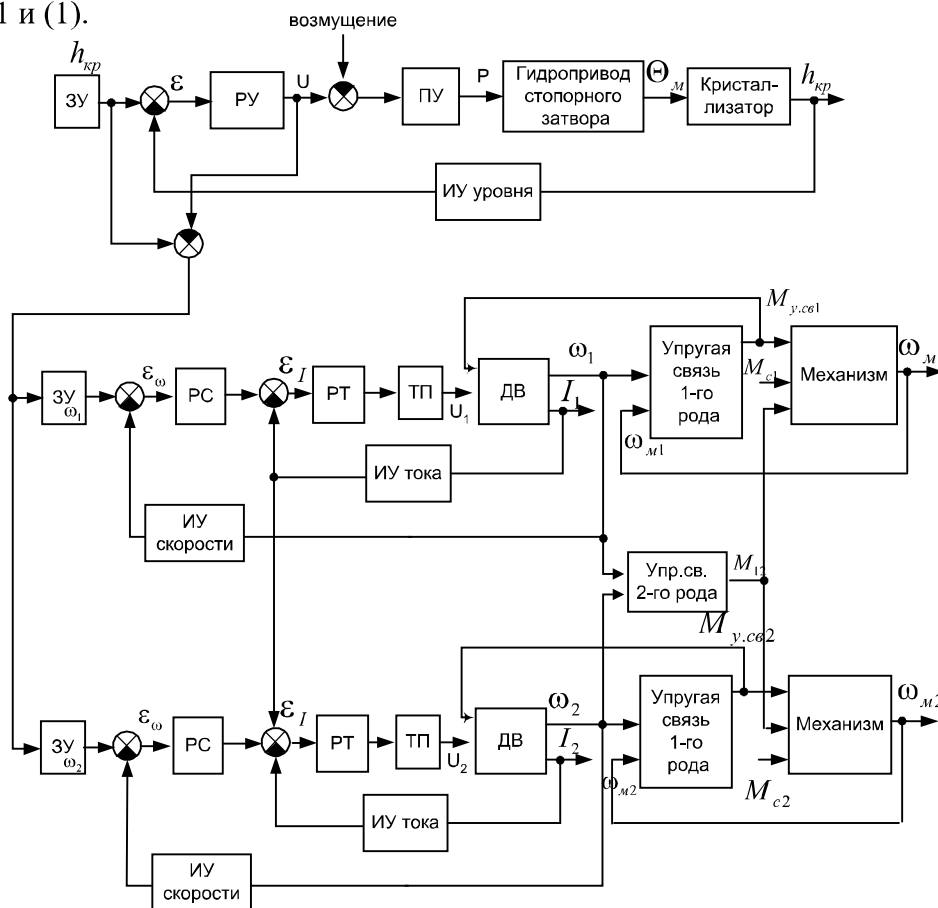


Рисунок 2 – Структурная схема двухуровневой САУ

Предполагается, что на САР уровня могут действовать неконтролируемые возмущения, о чем говорилось выше. При увеличении сигнала обратной связи по уровню металла в кристаллизаторе скорость вытяжки заготовки из кристаллизатора также должна увеличиться, с этой целью регулируемая ошибка рассогласования ε дополнительно суммируется со знаком минус с сигналом задания уровня $h_{кр}$.

Моделирование системы управления проведено на основе следующих технологических параметров: уровень металла в проковше принят равным 500 мм, скорость вытягивания заготовки 1,3 м/мин, что соответствует 0,02 м/с. Результаты моделирования (рис.3) структурной схемы двухуровневой САУ наглядно иллюстрируют и доказывают ее работоспособность. В системе эмитировались ступенчатые набросы неконтролируемых возмущений в САР уровня металла, что сказывается на ошибке рассогласования и, соответственно уровне металла в кристаллизаторе. Переходная характеристика уровня металла носит аperiodический характер, наброс возмущения отрабатывается за 5 с. При этом скорость вытягивания заготовки изменяется в зависимости от положения фронта кристаллизации, т.е. соответствует текущему уровню металла в кристаллизаторе. Аperiodический процесс переходной характеристики момента упругой связи $M_{12}(t)$ характеризует устойчивое состояние (натяжение) заготовки в межклетьевом промежутке.

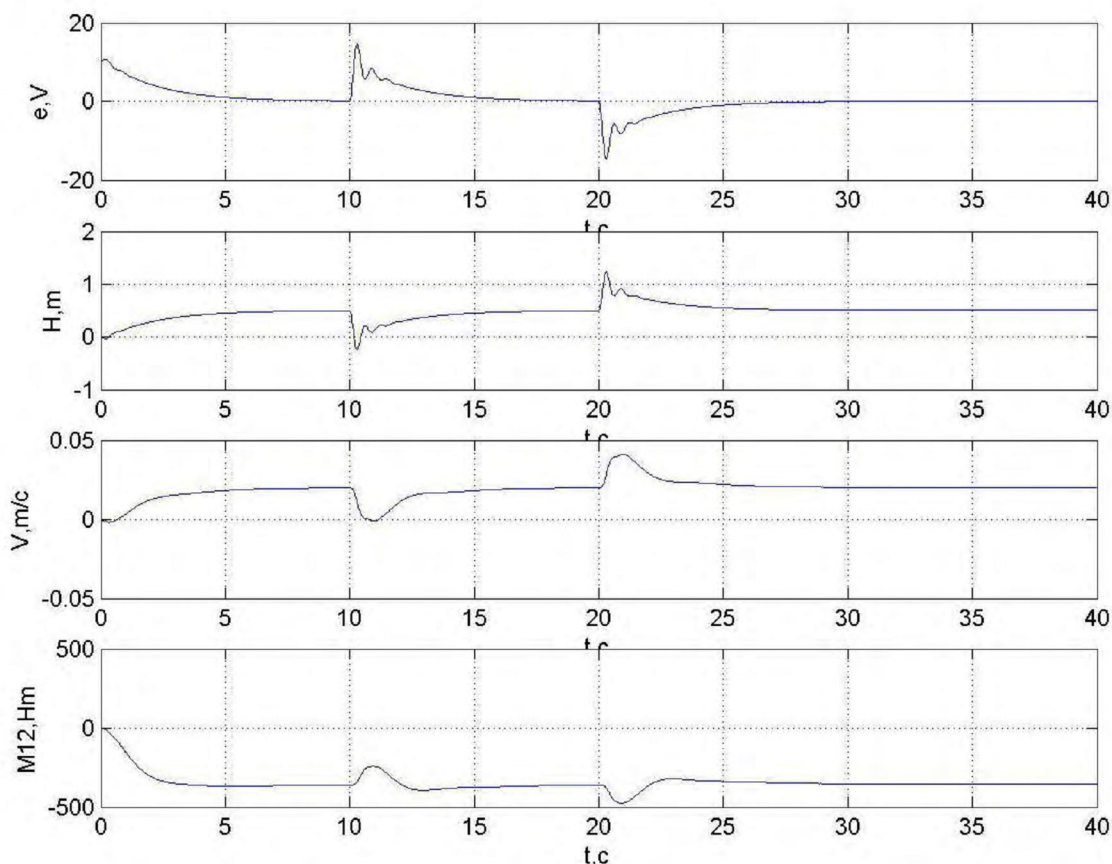


Рисунок 3 – Переходные характеристики ошибки $\varepsilon(t)$, уровня металла в кристаллизаторе $h(t)$, скорости вытяжки заготовки $V_{выт}(t)$ и момента упругой связи 2-го рода $M_{12}(t)$

Выводы.

1. Разработана двухуровневая система автоматического управления, обеспечивающая стабилизацию процесса литья, улучшение качества поверхности заготовки за счет компенсации неконтролируемых возмущений посредством изменения скорости вытягивания заготовки в пределах, зависящих от положения фронта кристаллизации металла в кристаллизаторе.

2. Разработанная структурная схема САУ позволяет исследовать динамические процессы в системе с учетом действующих технологических возмущений, установить качество переходных процессов в объекте управления.

Литература

1. Глазков А.Я. Производство мелких непрерывнолитых заготовок / А.Я. Глазков, Б.Н. Моргалев, М.Г. Чигринов, В.В. Лобанов. - М.: Металлургия, 1975. 104 с.
2. Скворцов А.А. Теплопередача и затвердевание стали в установках непрерывной разливки / А.А. Скворцов, А.Д. Акименко. - М.: Металлургиздат, 1966.
3. Физико-химические расчеты электросталеплавильных процессов: учеб. пособие для вузов / Григорян В.А., Стомахин А.Я., Пономаренко А.Г. и др. - М.: Металлургия, 1989. 288 с.
4. Краснов Б.И. Оптимальное управление режимами непрерывной разливки стали / Б.И. Краснов. - М.: Металлургия, 1970. 240 с.
5. Цилиндры гидравлические и пневматические: ГОСТ 6540-68.

Надійшла до редакції:
15.02.2011

Рекомендовано до друку:
д-р техн. наук проф. Зорі А.А.

Abstracts

Zhukova N.V., Volueva O.S., Korchak V.V. System of automatic control the level of metal and speed of drawing out of purveyance from the mold. Tasks of stabilizing of process of the continuous radial casting, upgrading purveyances is decided to organization of two-level control system, providing maintenance of level of metal in mold, proportional current speed of drawing out of purveyance from mold.

Ключевые слова: two-level control system, mold, resilient connection, speed of rotation of driver and mechanism.

Анотація

Жукова Н.В., Волуєва О.С., Корчак В.В. Система автоматичного управління рівнем металу і швидкості витягування заготовки з кристалізатора. Задачі стабілізації процесу безперервного радіального лиття, підвищення якості заготовок вирішені за рахунок організації дворівневої системи управління, що забезпечує підтримку рівня металу в кристалізаторі, пропорційного поточній швидкості витягування заготовки з кристалізатора.

Ключові слова: дворівнева система управління, кристалізатор, пружний зв'язок, швидкість обертання двигуна і механізму.

© Жукова Н.В., Волуєва О.С., Корчак В.В., 2011