

4. Рублогов А.М. и др. Оптимальное управление в агрегированных моделях экономики, Л. Наука, 1991.
5. Райфа Г., Шлейфер Р., Прикладная теория статистических решений. М., Статистика 1977.
6. Гирнык Н.Л., Сикора Л.С., и др. Стохастическая динамика управляемых экотехнических систем /НПО «Информация» М.. 1991 – 330с.
7. Долан Э.Д., Линдсей Д.Е., Рынок: Макроэкономическая модель С. – Петербург 1992 – 496с.
8. Мескон М.Х. и др. Основы менеджмента. М. Дело 1990 – 702с.
9. Степанкова Т.М. Фінанси в умовах перехідної економіки // Фінанси України. 1998. №2. С.5 – 19.
10. Подальчак Н.Ю. Стратегічний менеджмент – Львів «ВЛП» 2012 – 400с.
11. Інформаційні системи і технології в економіці /ред. Пономаренко В.С. – К. В.Ц. «Академія» 2002 – 542с.

Поступила 24.09.2012р.

УДК 681.51:621.746.5

Н.Н. Чернышев, г.Донецк

СИНТЕЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЕМ МЕТАЛЛА В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

Abstract. Dispensing of metal flow from tundish to the mold using stopper mechanism is considered in this paper. The principle of subordinate mold level control is proposed. The mold level automatic control system mathematical model on continuous casting machine (CCM) is developed considering nonlinear processes and parametric relations.

Введение

Нахождение металла в кристаллизаторе сопровождается наиболее динамично протекающими процессами, которые во многом определяют эффективную работу машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) и качество непрерывнолитой стали как результат разливки [1,2].

Стабильность процесса непрерывной разливки является одним из главных условий получения высококачественной заготовки. Колебания уровня металла в кристаллизаторе являются причиной значительных нарушений процесса разливки и могут привести к ухудшению качества продукции. Уменьшение или увеличение уровня всего на несколько миллиметров приводит к дефектам и загрязнению металлопродукции неметаллическими включениями [1,2,3].

Применение системы автоматического регулирования уровнем металла в кристаллизаторе позволяет осуществлять автоматическое поддержание уровня металла в процессе непрерывной разливки с точностью от $\pm 1,0$ до $\pm 2,0$ мм за счет управления положением стопорного механизма.

Цель

Повышение качества непрерывнолитых заготовок за счет разработки системы автоматического регулирования уровнем металла в кристаллизаторе, обеспечивающая стабилизацию параметров и выполнение ограничений заданных технологическим регламентом.

Постановка задачи

Разработать математическую модель системы автоматического регулирования уровнем металла в кристаллизаторе МНЛЗ с учетом нелинейности процессов и параметрических связей.

Схема дозирования металла при непрерывном литье заготовки

Принцип непрерывной разливки заключается в том, что жидкую сталь из сталеразливочного ковша заливают, в интенсивно охлаждаемую, сквозную форму различного сечения – кристаллизатор, где происходит частичное затвердевание непрерывно вытягиваемого слитка, а дальнейшее его затвердевание происходит при прохождении зоны вторичного охлаждения (рис. 1).

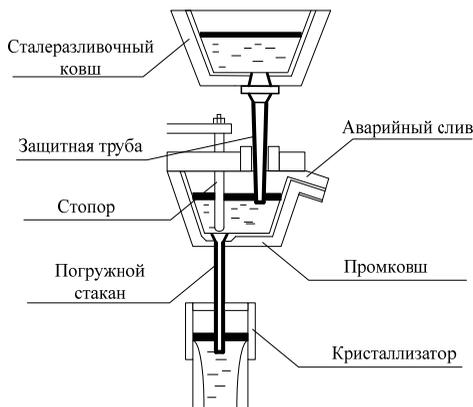


Рис. 1. Устройство промежуточного ковша

Для предотвращения окисления металла участок струи стали между сталеразливочным и промежуточным ковшом защищен с помощью корундографитовых труб. Промежуточный ковш представляет собой ёмкость с отверстиями внизу и предназначен для [1,2,3]:

- приёма металла из сталеразливочного ковша и усреднения состава стали;
- разливки металла по ручьям (в несколько кристаллизаторов);

- серийной разливки методом «плавка на плавку» при смене сталеразливочных ковшей без прекращения и снижения скорости разливки;
- согласования поступления металла из сталеразливочного ковша в кристаллизатор.

На промковш (1) устанавливаются механизм поднятия стопоров для каждого ручья (рис. 2). Стопорное устройство состоит из стопора (2), рычага (3), направляющей трубы (4), гидравлического (5) или электрического привода.

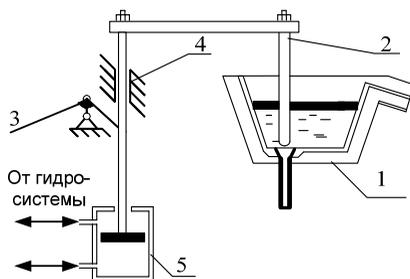


Рис. 2. Схема механизма перемещения стопора

Применение стопорного механизма обеспечивает [1,2,3]:

- плавное и быстрое поднятие и опускание стопора;
- полное перекрытие струи;
- плотную, ровную, без перекосов вытекающую струю;
- регулировку расхода металла по каждому ручью;
- стабилизацию процесса разливки металла и уровня металла в каждом кристаллизаторе.

При изменении уровня металла в кристаллизаторах автоматически осуществляется перемещение стопоров гидроцилиндрами в требуемом направлении. Совместно со стопорным устройством применяется погружной стакан. Погружной огнеупорный стакан устанавливается на участке промковш – кристаллизатор после дозатора и выполняет следующие функции [1,2,3]:

- предотвращение вторичного окисления стали;
- направление струи металла в кристаллизатор;
- подвод струи под уровень металла.

Математическое описание системы автоматического регулирования уровнем металла в кристаллизаторе

При стопорной разливке с погружным стаканом основными возмущениями, которые оказывают влияние на уровень металла в кристаллизаторе, являются:

- изменение скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора;
- размывание или разрушение головки стопора-моноблока;
- зарастание внутренней полости стакана-дозатора;

- изменение уровня металла в проковше;
- переменное выпучивание слитка между роликами и как следствие колебания потока металла в жидкой сердцевине слитка;
- волнообразование на поверхности металла в кристаллизаторе;
- люфты в приводе и стопорном механизме.

Для поддержания уровня металла в кристаллизаторе с высокой точностью, целесообразным является применение принципа подчиненного регулирования (рис. 3).

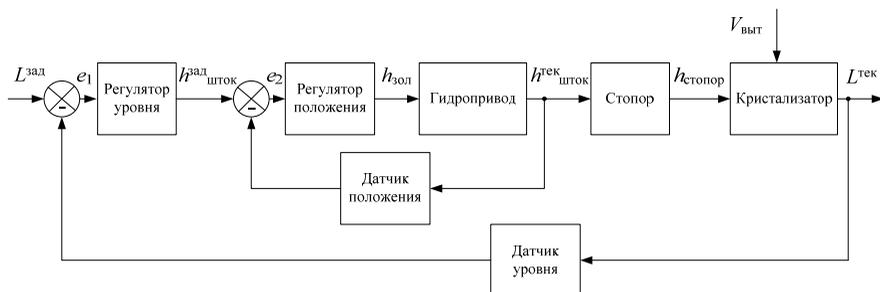


Рис. 3. Функциональная схема системы регулирования уровня металла в кристаллизаторе

Внутренний контур управления – управление положением стопора. Главное требование, предъявляемое к этому контуру – высокое быстродействие и точность перемещения стопора. Внешний контур управления компенсирует отклонение уровня металла и обеспечивает заданную точность регулирования.

Динамические характеристики гидропривода можно описать дифференциальным уравнением [4,5]:

$$T_{ГЦ} \frac{d^2 h_{шток}}{dt^2} + \frac{dh_{шток}}{dt} = k_{ГЦ} h_{зол}(t), \quad (1)$$

где $h_{шток}$ – перемещение штока, [мм];

$h_{зол}$ – перемещение золотника, [мм];

$k_{ГЦ}$ – скорость перемещения штока, [мм/с];

$T_{ГЦ}$ – постоянная времени гидроцилиндра, [с].

Постоянная времени гидроцилиндра определяется по формуле:

$$T_{ГЦ} = \sqrt{m/c_{ГЦ}}, \quad (2)$$

где m – масса поршня со штоком и рабочего органа машины, [Н*с²/м];

$c_{ГЦ}$ – коэффициент динамической жесткости гидроцилиндра, [Н/м];

$$c_{ГЦ} = \frac{2S_{П}E_{пр}}{L_{ГЦ}}, \quad (3)$$

где $E_{пр}$ – приведенный модуль упругости стенок гидроцилиндра и жидкости, [Н/м²];

$S_{\text{п}}$ – эффективная площадь поршня в бесштоковой полости гидроцилиндра, [м²];

$L_{\text{гц}}$ – длина хода поршня гидроцилиндра, [м].

Передаточная функция, соответствующая уравнению (1), имеет вид:

$$W_{\text{гп}}(s) = \frac{H_{\text{штоок}}(s)}{H_{\text{зол}}(s)} = \frac{k_{\text{гц}}}{(T_{\text{гц}}s + 1)s}. \quad (4)$$

При разработке системы управления необходимо учитывать:

- ограничение на крайние положения штока гидроцилиндра $h_{\text{штоок}}^{\text{max}}$, $h_{\text{штоок}}^{\text{min}}$;

- ограничение скорости изменения заданного перемещения штока гидроцилиндра $\dot{h}_{\text{штоок}}^{\text{зад}} \leq k_{\text{гц}}$.

Шток гидроцилиндра «жестко» связан со стопором, поэтому положение стопора зависит от перемещения штока

$$T_{\text{ст}} \frac{dh_{\text{стопор}}}{dt} + h_{\text{стопор}}(t) = k_{\text{ст}} h_{\text{штоок}}(t), \quad (5)$$

где $h_{\text{стопор}}$ – перемещение стопора, [мм];

$k_{\text{ст}}$ – коэффициент передачи стопора, [мм/мм];

$T_{\text{ст}} = T_{\text{гц}}$ – постоянная времени стопора, [с].

Передаточная функция стопора представляет собой инерционное звено первого порядка

$$W_{\text{ст}}(s) = \frac{H_{\text{стопор}}(s)}{H_{\text{штоок}}(s)} = \frac{k_{\text{ст}}}{T_{\text{ст}}s + 1}. \quad (6)$$

Динамические характеристики кристаллизатора описываются следующими уравнениями [1,3]:

1) уровень металла в кристаллизаторе $L_{\text{кр}}$ связан с величиной расхода стали из промковша и расходом стали из кристаллизатора уравнением вида:

$$S_{\text{кр}} \frac{dL_{\text{кр}}}{dt} = Q_1(t) - Q_2(t), \quad (7)$$

где Q_1 – объемный расход металла в кристаллизатор, [м³/с];

Q_2 – объемный расход металла из кристаллизатора, [м³/с];

$S_{\text{кр}}$ – площадь сечения кристаллизатора, [м²].

2) расход разливаемого металла из промковша определяется площадью сечения отверстия дозатора и уровнем стали в промковше:

$$Q_1(t) = S_{\text{доз}}(t) \mu \sqrt{2gL_{\text{пк}}}, \quad (8)$$

где $S_{\text{доз}}(t) = \pi d^2(t)/4$ – текущее значение проходного сечения выходного отверстия дозатора, зависящее от высоты подъёма 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].

3) расход металла из кристаллизатора пропорционален скорости вытягивания заготовки и площади сечения кристаллизатора:

$$Q_2(t) = S_{\text{кр}} V_{\text{выт}}(t), \quad (9)$$

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

Уровень металла в кристаллизаторе будет оставаться постоянным, если в единицу времени будет поступать и выходить одинаковое количество стали. Постоянство подачи металла в кристаллизатор обеспечивается изменением диаметра дозирующего канала при постоянном уровне металла в промежуточном ковше. Расходная характеристика системы стопор-дозатор $Q_1=f(h_{\text{стопор}})$ является существенно нелинейной и на ней выделяют три участка (рис. 4):

- первый участок характерен для случая сравнительно высокого сопротивления стопор-дозатор, поэтому расход металла увеличивается незначительно;

- второй участок характеризует резкое увеличение расхода металла через дозатор вследствие эффекта подсосывания погружным стаканом;

- третий участок характеризует почти постоянный расход металла, который определяется только сечением стакана и гидростатическим напором.

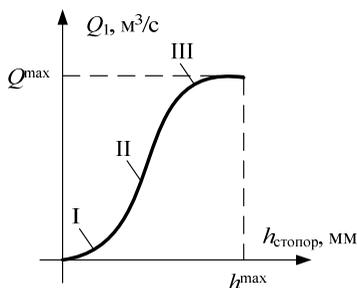


Рис. 4. Расходная характеристика системы стопор-дозатор

Максимальный расход металла Q^{max} , поступающего в кристаллизатор, можно определить, воспользовавшись формулой (8). Максимальный ход стопора h^{max} обычно составляет 50-80 мм. Часто нелинейную расходную характеристику стопор-дозатор заменяют линейной в окрестности рабочей точки, но такое предположение является очень приблизительным и дает неточные результаты моделирования. Поэтому для повышения адекватности модели исследуемого процесса в динамических режимах работы необходимо учитывать нелинейность зависимости подачи металла в кристаллизатор от высоты поднятия стопора.

Для измерения положения штока гидропривода, уровня металла в кристаллизаторе используются датчики перемещения и уровня. Современные средства измерения обладают хорошими динамическими характеристиками,

поэтому математическую модель датчиков можно представить безинерционными звеньями с передаточными функциями вида:

$$W_{дп}(s) = k_{дп} \text{ и } W_{ду}(s) = k_{ду}, \quad (10)$$

где $k_{дп}$ – коэффициент передачи датчика перемещения, [мм/мм];
 $k_{ду}$ – коэффициент передачи датчика уровня, [м/м].

Учитывая особенность управления гидроприводом, возможно, использовать закон изменения управляющего воздействия регулятора положения в соответствии со стандартными уровнями дискретных сигналов управления сервоклапанами:

$$U_{рп}(t) = \begin{cases} +10\text{В,} & \text{если } e_2(t) > 0; \\ 0, & \text{если } e_2(t) = 0; \\ -10\text{В,} & \text{если } e_2(t) < 0, \end{cases} \quad (11)$$

где $e_2(t) = h_{шт\text{ок}}^{\text{зад}}(t) - h_{шт\text{ок}}^{\text{тек}}(t)$ – сигнал рассогласования.

Регулятор формирует сигнал управления для сервоклапана. Сервоклапан управляет перемещением штока гидроцилиндра по знаку сигнала рассогласования между заданным и текущим его положением, воздействуя на положение золотника. Сигнал управления существует столько, сколько существует сигнал рассогласования между заданным и текущим положением штока. Если сигнал рассогласования e_2 больше 0, значит, шток гидроцилиндра еще не переместился в заданное положение и золотник передвигается в положительную сторону от нейтрального положения (прямой ход). Если рассогласование равно 0, следовательно, шток переместился в заданное положение и золотник должен быть в нейтральном положении. Если рассогласование меньше нуля, значит, шток гидроцилиндра переместился на большее расстояние, чем требуется и золотник передвигается в отрицательную сторону от нейтрального положения (обратный ход).

В качестве закона управления уровнем металла можно использовать самый распространенный в промышленности ПИД закон изменения управляющей величины, который обладает простотой построения, реализации и ясности функционирования [5,6]:

$$U_{ру}(t) = k_p e_1(t) + k_i \int_0^t e_1(\tau) d\tau + k_d \frac{de_1}{dt}. \quad (12)$$

Выводы

1. Проведенный анализ схемных решений дозирования металла в кристаллизатор показал, что стабилизация уровня металла в процессе разливки за счет применения стопорного механизма позволяет добиться высокого качества слитка, увеличения выхода годного металла, сокращения времени разливки и повышения безопасности процесса разливки.

2. Предложен принцип подчиненного регулирования уровня металла в кристаллизаторе, а также выявлены основные возмущения, оказывающие на него влияние.

3. Разработана математическая модель системы автоматического регулирования уровнем металла в кристаллизаторе МНЛЗ с учетом нелинейности процессов и параметрических связей.

1. Процессы непрерывной разливки: монография / А.Н. Смирнов, В.Л. Пилюшенко, А.А. Минаев и др. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 536 с.
2. *Смирнов А.Н.* Непрерывная разливка стали / А.Н. Смирнов, С.В. Куберский, Е.В. Штепан. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – 482 с.
3. *Куберский С.В.* Непрерывная разливка стали: [учебное пособие] / С.В. Куберский. – Алчевск: ДГМИ, 2004. – 361 с.
4. *Волуева О.С.* Система регулирования положения стопорной системы проковша машины непрерывного литья заготовок/ О.С. Волуева // Науковий вісник Чернівецького національного університету ім. Юрія Федьковича. Серія: Комп'ютерні системи та компоненти. – Том3, випуск 2. – Чернівці: ЧНУ, 2012 – С.74-78.
5. *Дорф Р.* Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. – М: Лабораторий базовых знаний, 2004. – 832 с.
6. *Денисенко В.В.* ПИД – регуляторы: принципы построения и модификации. Часть 1 / В.В. Денисенко // СТА. – 2006. – №4. – С. 66-74.

Поступила 17.09.2012р.

УДК 629.52.7

О.А. Машков, М.В. Коробчинський, А.Н. Щукин, О.Р.Ярема

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФУНКЦИОНАЛЬНО-УСТОЙЧИВОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОВЫМ ПОЛЕТОМ БПЛА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Качество работы системы управления групповым полетом БПЛА экологического мониторинга объектов природопользования характеризуется точностью стабилизации геометрических параметров группы при заданных условиях.

Поэтому исследование возможностей функционально устойчивого (ФУ) комплекса проводилось по следующим основным направлениям:

-оценка качества стабилизации дистанции синтезированного ФУ комплекса управления групповым полетом БПЛА с учетом возможности отказов информационного канала;

-оценка основных динамических параметров группы БПЛА для различных случаев управления (случай ФУ управления в условиях отказов