
ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ, МЕХАНИЗАЦИИ И КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ

ДК 621.746.2:66.028

**К. С. Богдан, М. С. Горюк, С. А. Терновой,
А. Ю. Кизилова**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

МАГНИТОВЕСОВАЯ ЛИТЕЙНАЯ УСТАНОВКА С МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ САУ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ И ДОЗИРОВАНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ РАСПЛАВОВ

Представлена структурно-функциональная схема магнитовесовой литейной установки новой конструкции с автоматической системой контроля параметров и управления процессами электрофизической обработки и дозированной заливки алюминиевых расплавов в литейные формы, построенной с использованием современных средств микропроцессорной техники. Показаны преимущества разработанной САУ в сравнении с существующими и даны рекомендации по ее применению.

Ключевые слова: магнитовесовая установка, электрофизическая обработка, силоизмерительный датчик, измерение массы, дозированная заливка, электромагнитное давление, микропроцессор.

Представлено структурно-функціональну схему магнітовагової ливарної установки нової конструкції з автоматичною системою контролю параметрів і управління процесами електрофізичної обробки та дозованого заливання алюмінієвих розплавів у ливарні форми, побудованої з використанням сучасних засобів мікропроцесорної техніки. Показано переваги розробленої САУ порівняно з існуючими та запропоновано рекомендації щодо її застосування.

Ключові слова: магнітовагова установка, електрофізична обробка, силовимірювальний датчик, вимірювання маси, дозоване заливання, електромагнітний тиск, мікропроцесор.

The article presents the structural-functional scheme of magnetoweighting casting installation of a new design with automatic control system of parameters and processes management of electrophysical treatment and dosage pouring of aluminum melts in molds. This scheme has been constructed using modern means of microprocessor technology. The advantages of developed ACS in comparison with existing ones are shown and recommendations of its using are given.

Keywords: magnetoweighting installation, electrophysical treatment, force measuring sensor, measurement of weight, dosage pouring, electromagnetic pressure, microprocessor.

В современных литейных цехах с высоким уровнем механизации, автоматизации и компьютеризации металлический расплав заливают в литейные формы с помощью заливочно-дозировующих устройств, принцип действия которых основан на объемном, временном или весовом методах дозирования [1-4]. Многолетний

ISSN 0235-5884. Процессы литья. 2017. № 2 (122) 63

Проблемы автоматизации, механизации и компьютеризации процессов литья

опыт эксплуатации различных заливочно-дозировующих устройств показал, что наиболее точным методом дозирования расплавов является весовой, который может быть реализован двумя путями: дозирование с присоединением массы расплава к весам; дозирование с отсоединением массы расплава от весов.

Метод весового дозирования с присоединением массы имеет ряд недостатков, к которым можно отнести, прежде всего, двойной перелив расплава и, как следствие, потери температуры, дополнительное его окисление и увеличение цикла заливки, а также ощутимое влияние жидкотекучести, переменного расхода и давления падающей струи на точность дозирования. Кроме того, усложняется конструкция заливочного устройства в целом, что влечет за собой дополнительное расходование материалов и электроэнергии.

При дозировании с использованием метода отсоединения массы от весов заливка литейных форм осуществляется непосредственно из подающего устройства, установленного на платформенных весах, что позволяет значительно уменьшить потери температуры расплава и время цикла заливки, практически исключить влияние давления падающей струи на точность дозирования. Для реализации этого метода необходимы весы, грузоподъемность которых была бы больше массы «брутто» подающего устройства, а их чувствительность, особенно при заливке малых доз расплава, удовлетворяла бы требования к точности дозирования.

В Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины в результате теоретических и экспериментальных исследований разработано новое техническое решение магнитовесовой литейной установки (МВУ), в которой реализовано непрерывное измерение только массы тигля с расплавом, а не всей МВУ (рис. 1). Это позволило значительно уменьшить массу «брутто», действующую на силовых входах тензорезисторных датчиков ДТ1-ДТ4, на которых установлен тигель МВУ, а следовательно, уменьшить их номинальную нагрузку, что обеспечивает повышение точности измерения массы расплава в процессе дозирования и не требует применения платформенных весов [4].

Система автоматического контроля параметров и управления МВУ разработана на базе модулей для распределенных систем серии ADAM-4000 [5], соединенных помехозащищенным интерфейсом RS-485. Модули представляют собой компактные интеллектуальные устройства обработки сигналов датчиков, специально разработанные для применения в промышленности. Наличие встроенных микропроцессоров позволяет им осуществлять нормализацию сигналов, операции аналогового и дискретного ввода/вывода, отображение данных и их передачу (или прием) по интерфейсу RS-485. Все модули имеют гальваническую развязку по цепям питания и интерфейса RS-485, программную установку параметров, командный протокол ASCII и сторожевой таймер. Питание модулей осуществляется нестабилизированным напряжением 10-30 В постоянного тока. Для осуществления приема и передачи данных модулями используется одна двухпроводная пара, что делает конфигурацию системы гибкой и упрощает монтаж и настройку.

Способность интерфейса RS-485 передавать данные на большие расстояния (до 1,2 км) с большими скоростями позволяет размещать модули в непосредственной близости от датчиков и исполнительных устройств.

Разработанная конфигурация системы позволяет осуществлять непрерывный сбор данных и управление МВУ на всех стадиях технологического процесса (загрузка, нагрев/хранение, электрофизическая обработка, дозирование) только выбором программ работы управляющего модуля для необходимой стадии. Состав модулей может меняться в зависимости от назначения МВУ, способов регулирования электромагнитного давления и количества контролируемых параметров.

Система также содержит узлы преобразования высоких напряжений и токов в цепях электромагнита и индукторов в сигналы постоянного тока в диапазоне 0-10 В для работы с 8-ми канальным модулем аналогового ввода ADAM-4017. Схема повышения мощности управляющих воздействий, выработанных микро-

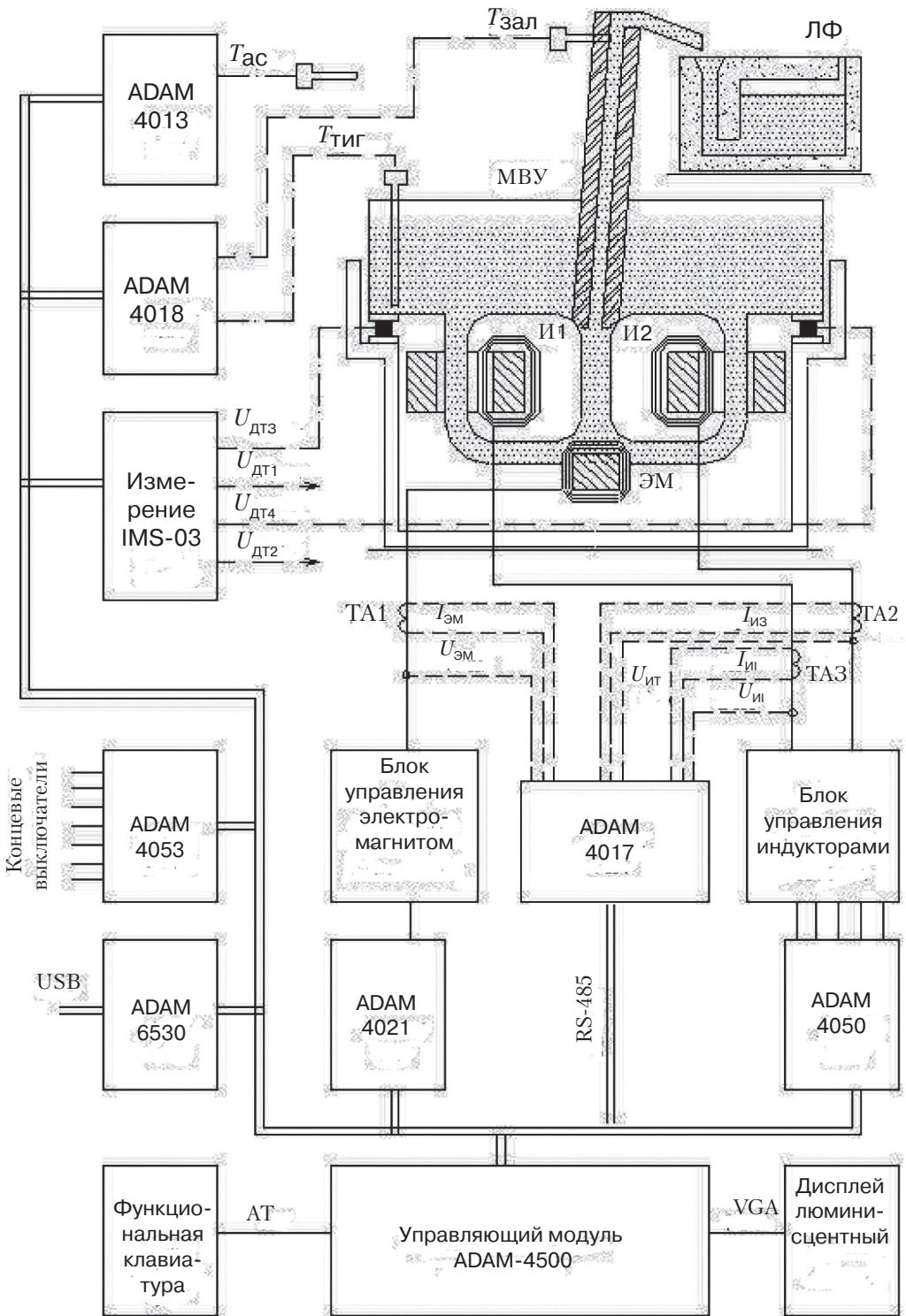


Рис. 1. Структурно-функциональная схема системы автоматического контроля и управления МВУ

Проблемы автоматизации, механизации и компьютеризации процессов литья

процессором для включения мощных пускателей, через модуль цифрового вывода ADAM-4050 осуществляет коммутацию силового переменного напряжения в момент перехода последнего через «0».

Управление тиристорным регулятором напряжения питания электромагнита для регулирования электромагнитного давления осуществляется через модуль аналогового вывода ADAM-4021.

Управление системой контроля параметров и управления МВУ в автоматическом режиме осуществляется с помощью пульта, состоящего из электролюминисцентного дисплея EL640.480-ADU и 16-ти клавишной резиновой клавиатуры TG1102, подключенных к управляющему модулю через интерфейсы VGA и AT соответственно. В случае отказа системы управления или необходимости проведения наладочных и ремонтных работ предусмотрен режим ручного управления.

Центральной частью системы контроля и управления является программируемый IBM PC совместимый управляющий модуль ADAM-4500 (рис. 1), который выполняет следующие функции: обработка команд оператора; индикация хода технологического процесса и его отдельных частей; прием сигналов от измерительных модулей и их обработка; выдача через модули вывода необходимых управляющих воздействий по ходу технологического процесса, в том числе управление нагревом металла; формирование заданных временных интервалов; ввод, контроль и запоминание технологических параметров.

Измерение массы тигля с расплавом проводится непрерывно измерительным преобразователем IMS-03, к которому параллельно подключены четыре тензодатчика (ДТ1-ДТ4), с частотой 10 измерений в секунду при хранении и обработке, а также 50 измерений в секунду при дозировании и загрузке МВУ. При этом проводится цифровая фильтрация результатов измерений и индикация массы тигля с металлом в цифровом виде. По запросу управляющего модуля ему передается текущее значение массы тигля с металлом. Запоминание массы тары, автоматическая компенсация тарной нагрузки, вычисление массы расплава в тигле и выдаваемой дозы проводится управляющим модулем и выводится на дисплей в соответствующих видеокдрах. Возможно вычисление количества выданных доз и массы отдозированного сплава при дозировании, как с отсоединением, так и с присоединением массы.

Измерение температуры металла проводится термоэлектрическими преобразователями ($T_{\text{тиг}}$ и $T_{\text{зал}}$), имеющими номинальную статическую характеристику ТХА(К) по ГОСТ 3044. Преобразование термоЭДС в значение температуры, выраженной в градусах Цельсия, проводится модулем аналогового ввода для подключения термопар ADAM-4018, программно настроенного на прием сигнала от термопреобразователя типа ТХА. При этом происходит линеаризация и цифровая фильтрация результатов измерений, параметры которой (полоса пропускания, глубина, постоянная времени) устанавливаются при программной настройке. Частота опроса каналов – 10 измерений в секунду, разрешающая способность – 1 мкВ, случайная составляющая погрешности преобразования – 0,25 °С.

Измерение температуры окружающей среды проводится термопреобразователем сопротивления $T_{\text{ок}}$, имеющим номинальную статическую характеристику 50П по ГОСТ 6651, подключенным по 4-х проводной схеме к модулю работы с термопарами сопротивления ADAM-4013, программно настроенному для работы с преобразователями этого типа.

Для устранения начальной погрешности входных датчиков и погрешностей, вносимых соединительными проводами, предусмотрено два типа коррекции, позволяющих осуществлять сдвиг и изменение наклона измеряемой характеристики на заданную величину. Сформированное значение сопротивления датчика передается в управляющий модуль, где преобразуется в значение температуры окружающей среды, выраженной в градусах Цельсия, которая используется как температура «холодных концов» термопреобразователя типа ТХА и в расчетах потерь энергии при нагреве.

Работа с программой управляющего модуля осуществляется оператором путем выбора альтернатив иерархических меню или команд, отображаемых на дисплее, с помощью клавиш управления курсором. Предназначенный для выбора пункт меню отмечается инверсным цветом. Переход на выполнение программы происходит при нажатии клавиши «Enter», возврат на предыдущий уровень – клавиши «Esc».

Альтернативы основного меню позволяют выбрать стадию технологического процесса («Загрузка МВУ», «Нагрев/Хранение», «Электрофизическая обработка», «Дозирование»), переключиться для ввода значений технологических параметров и заданий («Параметры»), завершить работу («Стоп»).

Ввод значений параметров осуществляется для каждой стадии путем выбора наименования параметра из предложенных и ввода числового значения выбранного параметра.

При вводе параметров стадии «Нагрев/Хранение» оператор должен ввести (подтвердить) значения: заданной температуры металла в тигле МВУ, коэффициент тепловых потерь, показатель тепловой инерции термо-электрического преобразователя. Также оператор указывает необходимость циклично-реверсивного перемешивания, его скорость и длительность для гомогенизации расплава по температуре и химсоставу.

Ввод (подтверждение) параметров стадии «Нагрев/Хранение» выполняется до загрузки МВУ расплавленным металлом, так как после завершения загрузки устройство управления автоматически переводит МВУ в стадию «Нагрев/Хранение», при котором управление электромагнитными системами индукторов и электромагнита проводится в зависимости от: температуры (T_{oc}) окружающей среды; текущей температуры ($T_{тиг}$) расплава; мощности индукторов и электромагнита; фактической массы металла в тигле; заданной температуры ($T_{зал}$) заливки.

При вводе параметров стадии «Электрофизическая обработка» оператор имеет возможность выбрать вид обработки (термовременная выдержка, дегазация, модифицирование и др.), задать температуру металла при выбранном виде обработки и длительность обработки. Также указывается необходимость «жесткой» выдержки температуры для начала обработки.

Аналогично вводятся параметры электромагнитного перемешивания (нагнетание, всасывание, боковое перемешивание, реверсивное циклическое перемешивание).

При вводе параметров стадии «Дозирование» оператором задается величина необходимой дозы, количество заливок. При этом контролируется масса металла в тигле и, если его не хватает на заданное количество заливок, выдается сообщение об ошибке и значение не принимается. Также указывается температура расплава на носке сливного желоба и выбирается режим заливки из следующих альтернатив:

- заливка с постоянным расходом расплава и вводом поправок в программу дозирования;
- двухэтапная заливка с уменьшением расхода в выходной фазе дозирования;
- заливка с постоянным расходом расплава и торможением в выходной фазе дозирования;
- заливка с доливкой расплава при уменьшенном расходе и торможением в выходной фазе дозирования.

При литье под электромагнитным давлением также задаются длительность выдержки под давлением и промежуток между моментом сброса давления и началом следующего цикла для соблюдения структуры цикла литья (продолжительность включения электромагнита).

При выборе двухэтапных режимов заливки необходимо ввести значение коэффициента $K_{отс}$ для вычисления массы, при которой должен произойти переход на следующий этап.

Ход технологического процесса и результаты измерений выводятся на дисплей в виде видеокладов. Для каждой стадии предусмотрен свой видеоклад. Пример видеоклада представлен на рис. 2.

<u>Дозирование / хранение при заливке</u>			
Масса металла в тигле	XXX, кг		
Температура металла в ванне, °C			
Заданная:	XXXX		
Текущая:	XXXX		
Разливки:	XXXX		
Энергия			
	Электромагнит	Индуктор1	Индуктор2
Ток, А:	XXX	XXX	XXX
Напряжение, В:	XXX	XXX	XXX
Вид дозирования: дискретное, заливка открытой струей			
	Задано		Текущее
Масса дозы, кг:	XXX	↓	↑ XXX
Количество доз, шт	XXX	↓	↑ XXX
Длительность заливки, с:	XXX		XXX
Пауза перед началом цикла, с	XXX		XXX
Стоп		Выдать дозу	

Рис. 2. Видеоклад «дозирование/хранение» при заливке расплава в форму

На некоторых видеокладах выделены зоны с названиями команд (например, команда «Выдать дозу» в видеокладе «Дозирование»). Выбор команд осуществляется клавишами управления курсора, а переход на выполнение – клавишей «Enter».

Широкий набор модулей и программная реализация функций системы контроля параметров и управления МВУ позволяют без больших затрат проводить модернизацию системы. Так, например, может быть организовано:

- задержка включения и выключения для предотвращения частых срабатываний пускозащитной аппаратуры, даже если по логике работы устройства управления требуется переключение;
- ограничение скорости выхода на уставку;
- ограничение скорости изменения управляющего сигнала;
- автоматическое определение массы дозы по считыванию кода литейной формы;
- создание графического отображения хода технологического процесса;
- плавный выход на заданный уровень мощности;
- расширение диапазона диагностики и контроля прохождения технологического процесса.



Список литературы

1. Магнитодинамические насосы для жидких металлов / В. П. Полищук, М. Р. Цин, Р. К. Горн и др. – Киев: Наукова думка, 1989. – 256 с.
2. Средства и системы автоматизации литейного производства / К. С. Богдан, В. Н. Горбенко, В. М. Денисенко, Ю. П. Каширин. – М.: Машиностроение, 1981, – 272 с.
3. Дембовский В. В. Автоматизация литейных процессов: Справ. – Л.: Машиностроение, 1989. – 246 с.
4. Весовой магнитодинамический дозатор металлических расплавов / К. С. Богдан, В. И. Дубоделов, В. Н. Фиксен и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2002. – № 5. – С. 31-34.
5. Модули распределения ввода/вывода серии ADAM-4000. URL: www.advantect.ru/products/remote-i-o-modules.



References

1. Polishchuk V.P., Tsin M.R., Gorn R.K. et al. (1989) Magnitodinamicheskie nasosy dlya zhidkikh metallov [*Magnetodynamic pumps for liquid metals*]. Kiev: Naukova dumka, 256 p. [in Russian].
2. Bogdan K. S., Gorbenko V. N., Denisenko V. M., Kashirin Yu. P. (1981) Sredstva i sistemy avtomatizatsii liteynogo proizvodstva [*Tools and automation foundry*]. Moscow: Mashinostroenie, 272 p. [in Russian].
3. Dembovskiy V. V. (1989) Avtomatizatsiya liteynykh protsessov: Sprav. [*Automation of foundry processes: Handbook*]. L.: Mashinostroenie, 246 p. [in Russian].
4. Bogdan K. S., Dubodelov V. I., Fiksen V. N. et al. (2002) Vesovoy magnitodinamicheskiy dozator metallicheskiykh rasplavov [*Weighting magnetodynamic dispenser of metal melts*]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost*, no. 5, pp. 31-34. [in Russian].
5. Moduli raspredeleniya vvida/vyvoda serii ADAM-4000 [*Module of distribution I/O series*]. URL: www.advantect.ru/products/remote-i-o-modules.

Поступила 19.01.2017