
ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ, МЕХАНИЗАЦИИ И КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ

УДК 621.746.2:66.028

Н. А. Слажнев, В. И. Дубоделов, К. С. Богдан

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ДОЗИРОВАННОЙ РАЗЛИВКЕ АЛЮМИНИЕВЫХ РАСПЛАВОВ ИЗ МАГНИТОВЕСОВОЙ ЛИТЕЙНОЙ УСТАНОВКИ

Представлены результаты экспериментальных исследований динамических процессов в магнитовесовой установке для дискретного дозирования алюминиевых расплавов при заливке литейных форм. Получены зависимости погрешности дозирования при различных режимах электромагнитного торможения струи расплава во время его инерционного слива после отключения электромагнита установки в выходной фазе дозирования. Намечены пути дальнейшего усовершенствования магнитовесовых установок в направлении повышения точности дозирования металлических расплавов методом отсоединения массы.

Ключевые слова: магнитовесовая установка, расплав, дискретное дозирование, заливка, погрешность дозирования, массовый расход, осцилляция.

Представлено результати експериментальних досліджень динамічних процесів в магнітоваговій установці для дискретного дозування алюмінієвих розплавів при заливанні ливарних форм. Отримано залежності похибки дозування при різних режимах електромагнітного гальмування струменя розплаву під час його інерційного зливу після відключення електромагніту установки у вихідній фазі дозування. Намічено шляхи подальшого удосконалення магнітовагових установок у напрямку підвищення точності дозування металевих розплавів методом від'єднання маси.

Ключові слова: магнітовагова установка, розплав, дискретне дозування, заливання, похибка дозування, масова витрата, осциляція.

The results of experimental researches of dynamic processes in the magneto-weight installation for the casting mold pouring are presented. Dependences of dosage for different modes of the melt stream electromagnetic braking during inertia after shutdown of electromagnet on the output phase of dosage are got. Are designs the ways of further improvement of magneto-weighting installation in the direction of increasing melt dosage accuracy by the mass disconnection method.

Keywords: magneto-weighting installation, melt, discrete dosage, pouring, error of dosage, mass transferring speed, oscillation.

Введение

Динамические процессы, происходящие в магнитодинамической установке (МДУ) при дозированной заливке металлических расплавов в литейные фор-

мы, оказывают существенное влияние на точность дозирования расплава, а следовательно, и на размерную точность отливок [1-3]. Результаты проведенных ранее исследований показали, что основным дестабилизирующим фактором является нестабильность расходных характеристик МДУ [4], вызванная образованием вихревых структур в ее рабочей зоне и, как следствие, колебаний электромагнитного давления в металлопроводе, особенно нежелательных в выходной фазе дозирования. При исследовании весового метода дозирования с отсоединением массы МДУ устанавливали на платформенных весах, наибольший предел взвешивания (НПВ) которых должен быть несколько больше массы «брутто» МДУ. Современные платформенные весы на основе тензорезисторных силоизмерительных датчиков и микропроцессорного индикатора массы имеют допустимую погрешность взвешивания 0,02 % от НПВ. Учитывая то обстоятельство, что весоизмерительная система (ВИС) в процессе дозирования расплава непрерывно контролирует изменение массы МДУ, появляется возможность использовать эту информацию для исследования динамических процессов в МДУ с применением ПЭВМ.

Цель исследований – определение закономерностей и изучение процессов, происходящих в МДУ, при организации дозированной заливки расплава в металлоприемники, управляемой под действием электромагнитных сил.

Структурно-функциональная схема магнитовесовой установки для проведения исследований. Экспериментальные исследования динамических процессов, происходящих в магнитовесовой установке при дискретном дозировании алюминиевого расплава, проводились на экспериментальной МДН-6-0,63 в условиях лаборатории ФТИМС НАН Украины. Структурно-функциональная схема установки (рис. 1) включает: тигель 1 с расплавом алюминия, металлопровод 2, металлоприемник 3, корпус 4, платформу 5, четыре тензорезисторных силоизмерительных

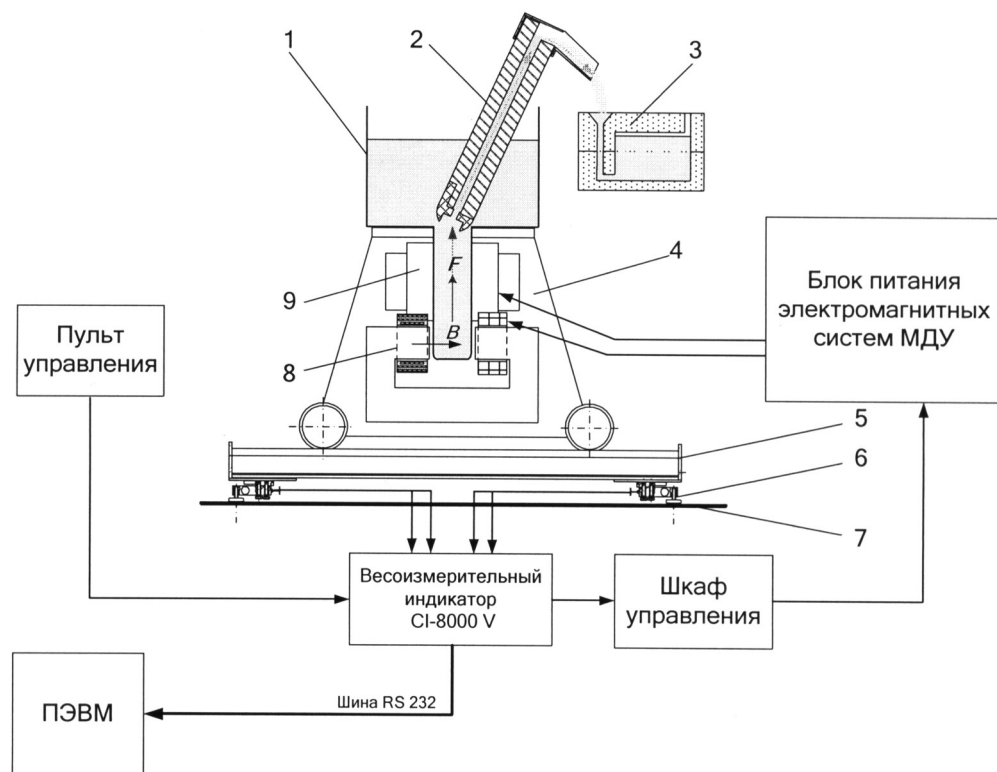


Рис. 1. Структурно-функциональная схема магнитовесовой установки для проведения экспериментальных исследований

датчика 6, основание 7, электромагнит 8, индуктор 9. Выходы датчиков соединены параллельно в соединительной коробке JB-4PA (на схеме не показана), которая обеспечивает суммирование их сигналов и связь с весоизмерительным микропроцессорным индикатором С1-8000U. Один из выходов индикатора подключен к последовательному порту COM2 персональной ЭВМ по протоколу передачи данных шины RS232 для регистрации изменения сигнала и записи данных в файл по специальной программе опроса COM (COMT hread-3.exe) с возможностью записи данных для дальнейшего статистического анализа. Указанная программа позволяет записывать в массив данных до семи измерений в секунду.

Экспериментальные исследования. В программу экспериментальных исследований входили следующие процессы, происходящие в МДУ:

- пульсации заданной величины массового расхода в процессе дозирования и их зависимость от параметров работы электромагнитных систем МДУ;
- инерционные процессы, возникающий при включении режима заливки;
- процессы, происходящие при переходе режимов работы МДУ из хранения в режим заливки и обратно;
- влияние динамических составляющих изменения массы МДУ на процессы возникновения колебаний платформы ВИС.

Для первичного анализа была произведена запись процесса изменения массы во времени при заливке доз расплава с уставкой $m_d = 2$ кг. Использовали МДУ с емкостью тигля 80 кг. Заливку производили с массовым расходом $0,75 \pm 0,08$ кг/с.

Анализ полученных данных позволил выяснить ряд процессов, сопутствующих заливке, в частности, наличие переходного процесса до начала изменения массы при разгоне столба расплава от его исходного уровня до сливного носка металлопровода и, собственно, начала его слива в металлоприемник. Такой процесс характеризуется «провалом» (нагрузкой) в пределах $0,1 \pm 0,05$ кг после включения МДУ в режим заливки в течение $0,58-1,022$ с и зависит от уровня расплава в тигле МДУ, геометрии металлопровода и заданного расхода. С учетом того, что за изменением массы МДУ непрерывно следит ВИС, этот «импульс» учитывается весоизмерительным индикатором. Длительность переходных процессов составляет 2-3 с. Для разных металлопроводов этот «импульс» может отличаться и зависит от величины создаваемой электромагнитной силы, а также процессов, происходящих в рабочей зоне МДУ и ее каналах по пути следования расплава к сливному носку металлопровода. Особенно важно это учитывать при больших массовых расходах (5-10 кг/с), когда создаваемые реактивные силы существенно влияют на точность дозирования.

Зависимости $m = f(t)$ и $\dot{m} = f(t)$ показаны на рис. 2: 1 – включение МДУ; 2-3 – разгон расплава в металлопроводе и выход на стационарный процесс; 3-4 – установившийся процесс заливки; 4-5 – инерционный слив расплава после отключения МДУ; зона 5-7 характеризует слив остатков расплава.

Участок нарастания скорости слива 2-3 имеет важное значение при дозировании расплава по времени и несущественное – при весовом дозировании.

Участок 3-4 важен с точки зрения технологических требований заливки по поддержанию заданного расхода расплава и характеризуется абсолютным значением и параметрами осцилляции.

Участок 4-5 характеризуется как конечный и зависит от заданного массового расхода и вязкости расплава, а также от геометрических особенностей металлопровода и инерционных свойств системы: столб расплава в металлопроводе – каналы МДУ – тигель МДУ. Этот участок в процессе весового дозирования является определяющим при формировании погрешностей дозирования. В момент остановки действия электромагнитной силы (точка 4) процесс инерционного характера ограничен импульсом J_m , действующим на объем расплава

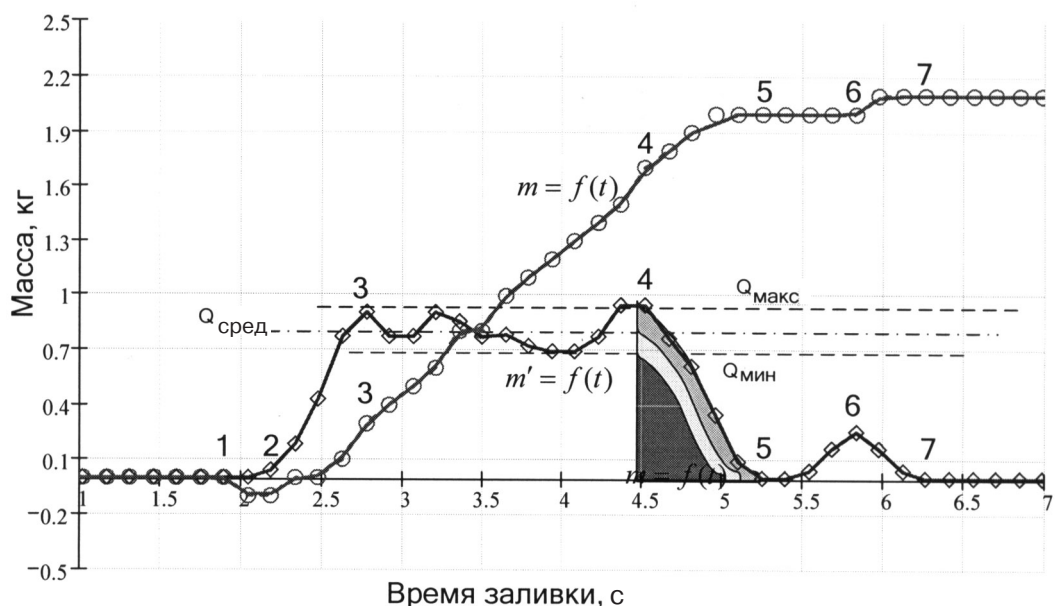


Рис. 2. Графический анализ вариаций инерционного слива для трех значений начальных условий

$$J_m = \frac{mQ}{S_m \rho_{\Delta\epsilon}}, \quad (1)$$

где m – масса расплава, находящегося в системе тигель-канал-металлопровод, кг; Q – мгновенный массовый расход, кг/с, $Q = U_m S_m \rho_{\Delta\epsilon}$; u_m – линейная скорость расплава, м/с; S_m – сечение металлопровода, м².

Исходя из этого, мгновенное значение массового расхода расплава в момент отключения электромагнита МДУ прямо пропорционально значению J_m и фактически характеризует количество расплава, сливаемого инерционно в конце заливки.

Примем, что время t_1 участка разгона и время t_3 инерционного слива одинаковы. Тогда соотношение массы m_3 инерционного слива к массе m_d дозы расплава, приведенное к времени t_2 стационарного процесса заливки, составит

$$\frac{m_3}{m_d} = \frac{0,5t_3}{t_2 + 0,5(t_1 + t_3)}. \quad (2)$$

При условии, что $t_1 \approx t_3$, выражение (2) примет вид

$$\frac{m_3}{m_d} = \frac{0,5t_3}{t_2 + t_3}. \quad (3)$$

На рис. 3 приведены изменения отношения массы m_3 инерционного слива от времени заливки дозы при расходах 0,8; 5,0 и 10,0 кг/с.

Изложенное выше наглядно показывает и обосновывает влияние процессов, происходящих в МДУ при заливке расплава, на формирование погрешности дозирования по массе.

Следует отметить два фактора, которые необходимо учитывать и контролировать в процессе заливки:

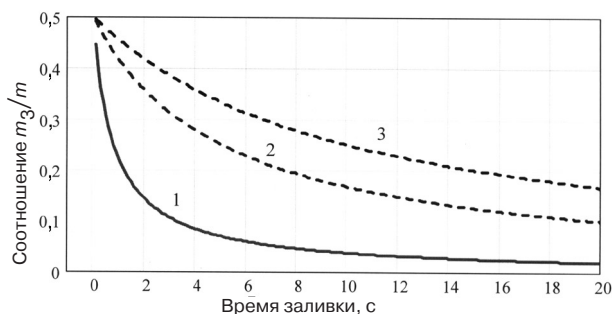


Рис. 3. Изменение отношения массы инерционного слива к массе дозы от времени заливки расплава для трех значений расхода (0,8; 5,0 и 10 кг/с)

гидродинамическим законам движения жидкости, описываемым уравнениями Лагранжа, может быть определен и учтен. Однако определяющими в данном случае являются колебания электромагнитного давления, воздействующие на поток расплава, движущегося по системам трубопроводов, каналам МДУ и металлопроводу.

В ранее проводимых работах [1, 5] рассматривалась возможность управления процессом инерционного слива в конце цикла дозирования путем реверсированного воздействия электромагнитной силы на движущийся поток расплава. Для этого принудительно изменяли направление действия электромагнитной силы в конце цикла заливки. Технически это решалось за счет реверсирования фаз напряжения, питающего электромагнит путем переключения с помощью электромагнитных пускателей. Показателем эффективности и стабильности в этом случае являлось время, необходимое для переключения электромагнита из аверса в реверс. Аппаратное время переключения определялось временем срабатывания электроаппаратуры и переходными процессами, происходящими в магнитопроводе электромагнита. Время срабатывания практически составляло 0,25-0,75 с и не было постоянным.

При малых расходах (от 0,1 до 1 кг/с) случайная величина вариации времени срабатывания электроаппаратуры практически совпадала со временем инерционных переходных процессов. В этом случае реверсирование электромагнитной силы не дает ожидаемого эффекта. Для расходов свыше 1 кг/с и вплоть до 10 кг/с применение метода торможения струи расплава реверсированной электромагнитной силой, как показали эксперименты, эффективно и технологично. Это является следствием того, что время инерционных процессов в МДУ значительно превосходит время реверсирования электромагнитной силы. Однако и в этом случае отрицательно сказывается влияние колебаний времени срабатывания электроаппаратуры.

Результаты экспериментов позволили провести оценку влияния торможения струи расплава в конце цикла заливки за счет создания реверсированной электромагнитной силы путем отключения питания электромагнита. Эта сила создавалась за счет взаимодействия индуктированного в каналах МДУ тока с наведенным на электромагните реверсивным магнитным полем. При этом время срабатывания аппаратуры сокращается и определяется только временем отключения электромагнита. Параметры изменения начального (разгонного) процесса и установившегося этапа заливки практически идентичны описанным выше (см. рис. 2). Однако в конце цикла заливки наблюдался пик импульса давления (0,4-0,5 с) и амплитуды 0,1 кг, что свидетельствует о наличии импульса массы в результате торможения струи расплава реверсированным действием электромагнитной силы.

Показательным является то, что перелив металла без торможения струи за счет инерционных сил составил от 0,21 до 0,42 кг свыше заданной дозы, что составляет от 12,0 до 24,7 %. Поэтому главным в данном случае является

– нестабильность (осцилляция) гидродинамического давления, являющегося результатом реакции расплава, находящегося в системе каналов МДУ, тигле и металлопроводе на возмущающую электромагнитную силу, создаваемую в рабочей зоне МДУ;

– инерционный неуправляемый слив расплава в конце цикла заливки.

Второй фактор (при условии отсутствия внешних возмущающих воздействий) соответствует

непостоянство этого значения, что не позволяет установить упреждение в программу ВИС и получить гарантированное значение погрешности дозирования, которая по данным экспериментов может достигать 18-20 %, что значительно выше допустимой. График распределения отклонений массы инерционного слива без торможения и с торможением струи расплава в выходной фазе дозирования приведен на рис. 4.

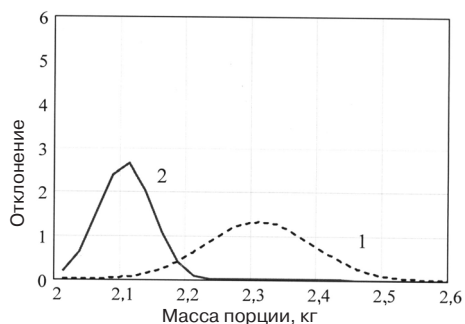


Рис. 4. График распределения отклонений массы инерционного слива без торможения (1) и с торможением (2) струи расплава в выходной фазе дозирования

В случае применения режима торможения струи металла масса перелива при тех же условиях массового расхода составила от 0,07 до 0,16 кг, а по отношению к массе дозы – от 1,1 до 8,3 % или в среднем – 4,7 %.

Показателем эффективности применения режима торможения является более чем 3-кратное (3,0-3,5 раза) сокращение массы инерционного слива по отношению к обычному, неуправляемому инерционному сливу. Время протекания инерционного процесса сократилось пропорционально сокращению массы инерционного слива.

Кроме того, инерционный слив в данном случае становится управляемым, так как контролируется электромагнитной силой, а его параметры прямо пропорциональны величине массового расхода в момент отключения процесса заливки и геометрическим параметрам применяемого металлопровода.

Выводы

- Разработана структурно-функциональная схема магнитовесовой установки, обеспечивающая непрерывный контроль массового расхода алюминиевого расплава при его дозированной заливке в литейные формы.

- На основе результатов аналитических и экспериментальных исследований влияния параметров массового расхода и времени заливки на соотношение массы инерционного слива к массе дозы показано, что для достижения регламентированного значения точности дозирования расплава необходимо осуществлять контроль и управление процессами инерционного слива.

- Установлено, что при дискретном дозировании расплава основным фактором, определяющим динамическую погрешность дозирования, являются колебания (осцилляции) расхода расплава, составляющие до 20 % от заданного.

- Усовершенствован метод осуществления торможения струи расплава в выходной фазе дозирования, позволяющий в 3,0-3,5 раза уменьшить массу инерционного слива, обеспечить его управляемость и возможность учета в программе дозирования в виде упреждения.

- Намечены пути дальнейшего совершенствования магнитовесовой установки в направлении повышения стабильности массового расхода расплава, ввода обратной связи по расходу в микропроцессорную ВИС, что позволит обеспечить высокие технико-экономические показатели процесса заливки литейных форм.



Список литературы

1. Магнитодинамические насосы для жидких металлов / В. П. Полищук, М. Р. Цин, Р. К. Горн и др. – Киев: Наук. 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.