

Изобретение относится к литейному производству, а именно к управлению технологическим процессам машин литья под давлением.

Известно устройство определения момента раскрытия пресс-формы, включающее измерители температуры металла и пресс-формы, вычислительный блок для расчета по этим параметрам продолжительности кристаллизации [1]. Указанное устройство имеет низкую точность, так как продолжительность кристаллизации определяются также массой отливки, в частности, массой пресс-остатка, которую устройство не учитывает.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому изобретению является устройство литья под давлением, преимущественно при производстве деталей из сплавов, имеющих фазовые превращения при температуре ниже температуры солидуса [2].

Устройство содержит измерители температуры металла и пресс-формы, задатчик температуры, при которой необходимо раскрыть пресс-форму, соединенный с блоком сравнения.

Указанное устройство имеет низкую производительность, так как отливку приходится выдерживать в пресс-форме заведомо долго. Это связано с тем, что смазка поверхности пресс-формы (при последовательном производстве отливок слой смазки может быть различным) приводит к переменной температуре на поверхности контакта металла и пресс-формы, что, в свою очередь, приводит к изменению момента кристаллизации отливки. Также существенное влияние на этот момент оказывает система охлаждения пресс-формы, а геометрическая координата установки датчика температуры оказывает влияние на постоянную времени переходного процесса.

В основу изобретения поставлена задача создания устройства определения момента раскрытия пресс-формы машины литья под давлением, в котором введение новых блоков позволяет исключить из производственного процесса время необоснованной выдержки отливки в пресс-форме и таким образом повысить производительность.

Поставленная задача решена тем, что устройство определения момента раскрытия пресс-формы машины литья под давлением, преимущественно при производстве деталей из сплавов, имеющих фазовые превращения при температуре ниже температуры солидуса, содержащее измерители температуры металла и пресс-формы, задатчик температуры, при которой необходимо раскрыть пресс-форму, согласно изобретению, содержит измерители усилий на толкатели, соединенные через второй блок сравнения со схемой сброса-записи первого блока памяти, вход которого соединен через первый блок деления, сумматор с выходами первого и второго таймеров, схемы сброса-запуска которых подсоединены к датчику второй фазы прессования, выход первого блока памяти соединен через первый блок умножения, блок возведения в степень с первым входом второго блока умножения, второй вход которого через второй блок деления, ключ, третий блок сравнения подсоединен к первому выходу измерителя температуры пресс-формы, второй выход которого соединен через блок задержки со вторым входом третьего блока сравнения и вторым блоком памяти, третий выход измерителя температуры пресс-формы через третий и четвертый блоки деления, а четвертый выход измерителя температуры пресс-формы соединен через пятый блок деления с первым блоком сравнения, выход третьего блока сравнения соединен через дифференциатор со схемой сброса-записи второго блока памяти и непосредственно со схемой останова первого таймера, а выход сумматора подсоединен ко входу первого блока умножения, измеритель температуры металла через третий блок памяти, схема сброса-записи которого соединена с датчиком момента контроля температуры металла, соединен со вторым блоком деления, выход которого соединен с четвертым блоком деления, выход второго блока умножения соединен с пятым блоком деления, выход второго блока памяти, соединен с ключом.

На чертеже представлена схема устройства определения момента раскрытия пресс-формы машины литья под давлением.

Устройство содержит задатчик 1 температуры, при которой необходимо раскрыть пресс-форму, соединенный с первым блоком 2 сравнения, измерители 3 усилия на толкатели, соединенные через второй блок 4 сравнения со схемой сброса-записи первого блока 5 памяти, вход которого соединен через первый блок 6 деления, сумматор 7 с выходами первого 8 и второго 9 таймеров, схемы сброса-запуска которых подключены к датчику 10 второй фазы прессования. Выход первого блока 5 памяти соединен через первый блок 11 умножения, блок 12 возведения в степень с первым входом второго блока 13 умножения, второй вход которого через второй блок 14 деления, ключ 15, третий блок 16 сравнения подсоединен к первому выходу измерителя 17 температуры пресс-формы. Второй выход измерителя 17 соединен через блок 18 задержки с вторым входом третьего блока 16 сравнения и вторым блоком 19 памяти. Третий выход измерителя 17 температуры пресс-формы соединен через третий 20 и четвертый 21 блоки деления и блок 22 логарифмирования с первым блоком 6 деления. Четвертый выход измерителя 17 температуры пресс-формы соединен через пятый блок 23 деления с первым блоком 2 сравнения. Измеритель 24 температуры металла через третий блок 25 памяти соединен с вторым блоком 14 деления, выход которого соединен с четвертым блоком 21 деления. Выход второго блока 13 умножения соединен с пятым блоком 23 деления, а выход второго блока 19 памяти - с ключом 15. Выход третьего блока 16 сравнения соединен через дифференциатор 26 со схемой сброса-запуска второго блока 19 памяти и непосредственно со схемой останова первого таймера 8, а выход сумматора 7 соединен с входом первого блока 11 умножения. Схема сброса-записи третьего блока 25 памяти соединена с датчиком 27 момента контроля температуры металла.

Измерители усилий представляют собой, например, преобразователи типа ДСТБ-С-060, измерители температуры пресс-формы и металла-термопары соответственно ТХК-0529 и ТХА-0379; датчик второй фазы прессования представляет собой, например, бесконтактный датчик положения типа БТП101-24, а датчик момента контроля температуры металла - пускатель исполнительного механизма термопары погружения.

Блоки памяти могут быть выполнены, например, на базе устройства выборки и хранения аналоговых сигналов типа ИС КР1100СК2, а блоки возведения в степень и логарифмирования - на базе вторичных токовых преобразователей с реализацией функциональных зависимостей на механических элементах.

Остальные блоки могут быть выполнены на базе стандартных блоков АКЭСР и стандартных средств вычислительной техники.

Исследованиями доказано, что в момент впуска металла основную тепловую нагрузку несет лишь очень тонкий слой пресс-формы (до 1 мм). Запаздывание наступления максимальной температуры на данной глубине по сравнению с колебаниями температуры на границе определяется по формуле:

$$\Delta \tau = 0,5 \times \frac{\sqrt{\tau_0}}{\pi a} \quad (1)$$

где  $\Delta \tau$  - запаздывание температурной волны, с;

$x$  - линейная координата в направлении, перпендикулярном к поверхности стенки пресс-формы, м;

$\tau_0$  - продолжительность цикла, с;

$a$  - температуропроводность стальной пресс-формы,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

С учетом слоя смазки запаздывание температурной волны на глубине заделки горячего спая термопары равно:

$$\Delta \tau_1 = 0,5 \left( \frac{\delta_{\text{см}} \sqrt{a}}{a_{\text{см}}} + \delta \right) \frac{\sqrt{\tau_0}}{\pi a}, \quad (2)$$

где  $\Delta \tau_1$  - запаздывание температурной волны в пресс-форме на уровне горячего спая термопары, с;

$\delta_{\text{см}}$  - толщина смазки, м;

$a_{\text{см}}$  - температуропроводность смазки,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$\delta$  - расстояние от поверхности пресс-формы до горячего спая термопары, м.

Значение  $\Delta \tau_1$  определяют идентификацией экспериментальных данных: это момент выхода на максимум показаний термопары, отсчитанный от момента окончания заливки металла в пресс-форму и принятый за начало операции контроля температурного режима отливки.

Изменение во времени температуры точки активного слоя пресс-формы можно описать формулой для инерционного звена первого порядка с чистым запаздыванием

$$t_{\text{нф}} = t_{\text{м}} (1 - K_1 \Delta \tau_1) \exp[-A_1(\tau - \Delta \tau_1)], \quad (3)$$

где  $t_{\text{нф}}$  - температура активного слоя пресс-формы,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{\text{м}}$  - температура заливаемого металла по показаниям термопары погружения,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$A_1$  - коэффициент, зависящий от постоянной времени переходного процесса, определяемый геометрической координатой и системой охлаждения пресс-формы,  $\text{с}^{-1}$ ;

$K_1$  - коэффициент, определяемый амплитудой температурной волны на уровне горячего спая,

Изменение температуры отливки можно выразить формулой:

$$t_{\text{отл}} = t_{\text{м}} \exp(-A\tau), \quad (4)$$

где  $A$  - коэффициент, зависящий от постоянной времени переходного процесса, определяемый системой охлаждения пресс-формы,  $\text{с}^{-1}$ ;

$t_{\text{отл}}$  - температура отливки,  $^{\circ}\text{C}$ .

Учитывая, что

$$A_1 = \frac{\lambda_1 C_1 \rho_1}{\lambda C \rho} \cdot A = K_2 A, \quad (5)$$

можно получить

$$t_{\text{нф}} = t_{\text{отл}} (1 - K_1 \Delta \tau_1) \exp A(-K_2 \tau + K_2 \Delta \tau_1 + \tau), \quad (6)$$

где  $\lambda$ ,  $\lambda_1$  - теплопроводность соответственно металла отливки и стальной пресс-формы,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;

$C$ ,  $C_1$  - средние удельные теплоемкости соответственно отливки и пресс-формы,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;

$\rho_1$ ,  $\rho$  - плотности соответственно отливки и пресс-формы,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$K_2$  - коэффициент относительной тепловой активности контактируемых тел.

Отсюда

$$t_{\text{отл}} = \frac{t_{\text{нф}}}{(1 - K_1 \Delta \tau_1) \exp A(-K_2 \tau + K_2 \Delta \tau_1 + \tau)}, \quad (7)$$

Величина  $A$  изменяется при производстве каждой отливки, так как охлаждение отливки и пресс-формы зависит от толщины слоя смазки при каждом смазывании пресс-формы. Ее значение определяют в момент начала кристаллизации отливки, фиксируемый по падению показаний измерителя усилия, установленного на толкателе, по формуле:

$$A = \ln \frac{t_{\text{нфк}}}{t_{\text{отл}} (1 - K_1 \Delta \tau_1) - K_2 \tau_k + K_2 \Delta \tau_1 + \tau_k}, \quad (8)$$

где  $t_{\text{нфк}}$ ,  $t_{\text{отл}}$  - соответственно значение температуры пресс-формы и отливки в момента кристаллизации последней,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\tau_k$  - момент начала кристаллизации отливки, с.

Устройство определения момента раскрытия пресс-формы машины литья под давлением работает следующим образом.

Перед началом производства отливок на задатчике 1 температуры, при которой необходимо раскрыть пресс-форму, устанавливается значение температуры на  $5-10^{\circ}\text{C}$  ниже температуры фазового превращения. Сигнал, пропорциональный величине задания, поступает в первый блок 2 сравнения. Напряжение, пропорциональное усилию на толкатели, от измерителей 3 усилия, установленных под плиту толкателей, поступает на первый вход второго блока 4 сравнения, на второй вход которого поступает "нулевой" опорный сигнал. При получении сигнала о "начале кристаллизации" (снижение усилий на плиту толкателей до нуля) производится очистка первого блока 5 памяти и запись в него показаний первой блока деления. При поступлении сигнала "2-я фаза прессования" от датчика 10 запускаются таймеры 8 и 9. С измерителя 17 температуры пресс-формы, например, термопары ТХК-0529 в комплекте с преобразователем Ш-72, установленной в отверстие в пресс-форме на расстоянии 0,2-0,5 мм от рабочей поверхности, поступает напряжение, пропорциональное температуре пресс-формы, в третий блок 16 сравнения непосредственно и на второй вход блока 16 сравнения, задержанное во

времени. Во время роста температуры пресс-формы, вызванного заливкой металла, напряжение, поступающее с измерителя 17, превышает напряжение, поступающее с блока 18 задержки, и с выхода блока 16 сравнения снимается "нулевой" сигнал. При прохождении максимума температуры и в дальнейшем напряжение, поступающее с блока 18, превышает напряжение, поступающее с измерителя 17, и с выхода блока 16 сравнения снимается "единичный" сигнал. Этот сигнал используется для останова первого таймера 8, напряжение с выхода которого будет пропорционально величине  $\Delta\tau_1$ , открывает ключ 15 и, преобразованный в импульс на дифференциаторе 26, производит сброс-запись значения  $t_{пф}$  в момент  $\Delta\tau_1$  во второй блок 19 памяти. В дальнейшем это напряжение через ключ 15 поступает во второй блок 14 деления, на второй вход которого по линии измеритель 24 температуры металла - третий блок 25 памяти поступает напряжение, пропорциональное  $t_m$ . Сигнал на сброс-запись значения  $t_m$  в блок 25 поступает от датчика 27 момента контроля температуры металла. В момент времени  $\tau = \Delta\tau_1$  из выражения (3) следует, что  $\frac{t_{пф}}{t_m} = 1 - K_1 \Delta\tau_1$ , т.е. на вход четвертого блока 21 деления поступает напряжение, пропорциональное величине  $(1 - K_1 \Delta\tau_1)$ . Напряжение, пропорциональное величине  $t_{пф}$  поступает с измерителя 17 температуры пресс-формы в третий блок 20 деления, выходное напряжение которого пропорционально величине  $\frac{t_{пф}}{t_m}$  ( $t_{отл}$  вводится в блок 20 как постоянный коэффициент).

Выходное напряжение четвертого блока 21 деления, пропорциональное величине  $\frac{t_{пф}}{t_{отл} (1 - K_1 \Delta\tau_1)}$ , поступает на блок 22 логарифмирования, откуда на первый вход первого блока 6 деления. Напряжение, пропорциональное величинам  $\Delta\tau_1$  и соответственно с первого таймера 8 и второго таймера 9, поступает в сумматор 7, в котором определяется величина  $(-K_2\tau + K_2\Delta\tau_1 + \tau)$ , напряжение пропорциональное которой поступает на второй вход первого блока 6 деления. С выхода блока 6 на вход первого блока 5 памяти поступает напряжение, пропорциональное правой части выражения (8). При получении сигнала о "начале кристаллизации" с блока 4 сравнения производится очистка первого блока 5 памяти и запись в него показаний, пропорциональных величине  $A$ , которое поступает на первый вход первого блока 11 умножения. На второй вход блока 11 поступает напряжение пропорциональное величине  $(-K_2\tau + K_2\Delta\tau_1 + \tau)$ , а выходное напряжение блока 2 пропорционально величине  $A(-K_2\tau + K_2\Delta\tau_1 + \tau)$ . На первый вход второго блока 13 умножения поступает напряжение, пропорциональное величине  $\exp A(-K_2\tau + K_2\Delta\tau_1 + \tau)$ , а на второй вход - выходное напряжение второго блока 14 деления. Таким образом, выходное напряжение блока 13, пропорциональное  $(1 - K_1 \Delta\tau_1) \times \exp A(-K_2\tau + K_2\Delta\tau_1 + \tau)$ , поступает на вход пятого блока 23 деления. На второй вход блока 23 поступает напряжение, пропорциональное величине  $t_{пф}$ , а выходное напряжение блока 23 пропорционально величине  $t_{отл}$ . Выходное напряжение блока 23 поступает на второй вход блока 2 сравнения. При равенстве напряжений с выходов блоков 23 и 1 с выхода блока 2 сравнения выдается сигнал на раскрытие пресс-формы.

Использование данного устройства позволяет исключить необоснованное время выдержки отливки в пресс-форме сверх необходимого, что приводит к увеличению производительности машины литья под давлением без ухудшения качества отливки.

