

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ АГРЕГАТА ЗАЛИВКИ, ОТЖИГА И ОХЛАЖДЕНИЯ

Томилин Е. М., группа НАП-06см

Руководитель проф. каф. ЭТ Чичикало Н.И.

Аннотация. В данной статье рассмотрены тепловые процессы и методы их определения, а также приведена структурная схема прибора, реализующего задачу контроля температуры на агрегате термической подготовки заливочных форм участка точного литья.

Введение. Кварцевый песок, который является основным компонентом формовочной смеси, при повышении температуры расширяется, причем наиболее опасное расширение происходит до температуры 573°C , при которой осуществляется изменение его аллотропической модификации.

Неравномерное расширение слоев смеси под поверхностью формы вызывает в ней напряжение, которое является опасным и может привести к повреждению формы. В зоне, где наблюдается наибольшее расширение песка (рис. 136), т.е. на поверхности формы, расширяющийся формовочный материал тормозится соседними, слабо подвергшимися действию тепла, слоями, поэтому в нем возникает напряжение сжатия, которое при соответствующей конфигурации отливки переходит в напряжение, перпендикулярное к поверхности формы. Если это напряжение превысит жесткость напряженного слоя, то последний при определенных условиях (низкая прочность формовочного материала, влажность и газы) может вспучиться и отслоиться. Этот механизм повреждения формы в литературе описывается как образование ужимин. Протекание этого процесса значительно сложнее, так как формовочная смесь представляет собой неоднородный материал, в котором при нагревании вначале происходит микрорасширение, вызывающее взаимное смещение зерен и частичное заполнение свободных пространств между ними, а лишь потом

макрорасширение. Неравномерное тепловое расширение на поверхности формы и стержня может вызвать и мелкие поверхностные трещинки, которые проходят только через поверхностный слой. Если металл достаточно перегрет, то он проникает в трещинки и заполняет их. Так возникают наросты в виде более или менее выступающих ребристых или жилоподобных образований на поверхности отливки. Причиной этих дефектов являются прежде всего неудовлетворительные свойства формовочной смеси, в частности ее низкая прочность и пластичность и одновременно большая усадка при сушке. Для учета всех факторов необходима математическая модель, позволяющая на основании измерений вырабатывать решения.

Математический расчет процесса затвердевания по Шварцу. Расчет процесса затвердевания отливки по Шварцу в настоящее время наиболее распространен и является основой различных полуэмпирических методов расчета. В противоположность решению Неймана учитывает влияние формовочного материала на затвердевание и выводит уравнение для определения температурного поля формы. Проблему затвердевания отливки Шварц решил при следующих упрощающих предположениях: тело и форма имеют конфигурацию плиты и полубесконечные размеры; контакт металла с формой идеальный — в процессе затвердевания между ними не образуется зазор; температура на поверхности контакта металла и формы в течение затвердевания постоянна; затвердевание металла происходит при постоянной температуре; теплофизические характеристики металла и формы не изменяются при изменении температуры; жидкий металл находится в покое, конвекция не происходит; кроме скрытого тепла затвердевания, внутри металла нет других источников тепла. Шварц для процесса затвердевания принимает параболическую зависимость в соответствии с уравнением

$$\xi = k\sqrt{\tau}, \quad (1)$$

где ξ — толщина затвердевшего слоя металла, м; k — константа твердения, м/ч^{-1/2}; τ — время, ч.

Для определения значения константы твердения k Шварц приводит уравнение:

$$\frac{b_T}{b_{\text{ж}}} \cdot \frac{\exp\left(-\frac{k^2}{4\alpha_T}\right)}{\frac{b_T}{b_{\Phi}} + \operatorname{erf}\left(\frac{k}{2\sqrt{\alpha_T}}\right)} t_{KP} - \frac{\exp\left(-\frac{k^2}{4\alpha_{\text{ж}}}\right)}{\operatorname{erfc}\left(\frac{k}{2\sqrt{\alpha_{\text{ж}}}}\right)} (t - t_{KP}) = \frac{l\sqrt{\pi}\rho_{\text{ж}}k}{2b_{\text{ж}}}. \quad (2)$$

Для определения температуры жидкого металла в произвольном месте дает уравнение:

$$t_{\text{ж},x} = t - \frac{t - t_{KP}}{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{k}{2\sqrt{\alpha_{\text{ж}}}}\right)} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha_{\text{ж}}\tau}}\right). \quad (3)$$

Для определения температуры твёрдого металла в произвольном месте:

$$t_{\text{тх}} = \frac{t_{KP}}{\frac{b_T}{b_{\Phi}} + \operatorname{erf}\left(\frac{k}{2\sqrt{\alpha_T}}\right)} \left[\frac{b_T}{b_{\Phi}} + \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha_{\text{ж}}\tau}}\right) \right]. \quad (4)$$

Для определения температуры формы в произвольном месте дает уравнение

$$t_{\Phi x} = \frac{t_{KP}}{1 + \frac{b_{\Phi}}{b_T} \operatorname{erf}\left(\frac{k}{2\sqrt{\alpha_T}}\right)} \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha_{\Phi}\tau}}\right) \right] \quad (5)$$

В приведенных уравнениях: t — температура жидкого металла (температура заливки); t_{kp} — температура затвердевания металла; теплофизические параметры, обозначенные индексом «ж», относятся к жидкому металлу, индексом «т» — к твёрдому металлу и индексом «ф» — к форме; x — удаление от места контакта металла с формой; τ — время. Значение константы твердения k для уравнения можно определить графическим путём: (рис. 1). На ось ординат наносится левая часть уравнения, на ось абсцисс — константа затвердевания k . Значение

константы затвердевания получим как точку пересечения кривой, отражающей левую часть уравнения, и прямой, отражающей правую часть уравнения.

Шварц при своем решении предполагает, что начальная температура формы $t_{ф.нач}=0$.

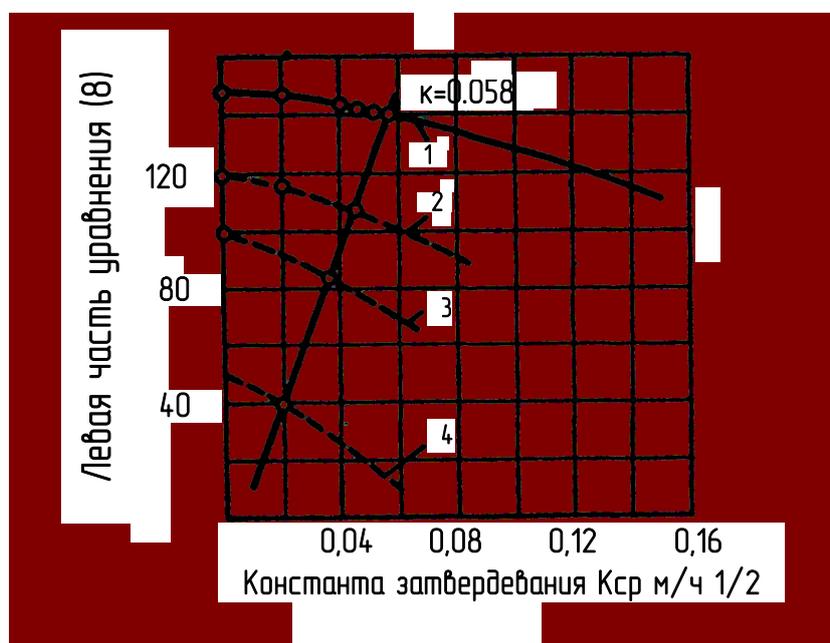


Рисунок 1 — Решение уравнения 5 графическим методом

Если же начальная температура формы отличается от нуля, то при решении уравнения (2) в него следует подставить вместо действительной температуры затвердевания металла $t_{кр}$ относительную температуру затвердевания $t_{кр.отн}$

$$t_{кр.отн} = t_{кр} - t_{ф}, \quad (6)$$

где $t_{ф}$ — начальная фактическая температура формы.

Изменение температур в отливке и форме, рассчитанное в соответствии с этим теоретическим решением, приведено на рис. 2.

Шварц разработал также теоретический расчет процесса затвердевания и для отливки цилиндрической формы при упрощающих предположениях,

подобных отливкам в форме плиты. При расчете учитывает и изменение значений теплофизических характеристик во время затвердевания и образования зазора между отливкой и формой.

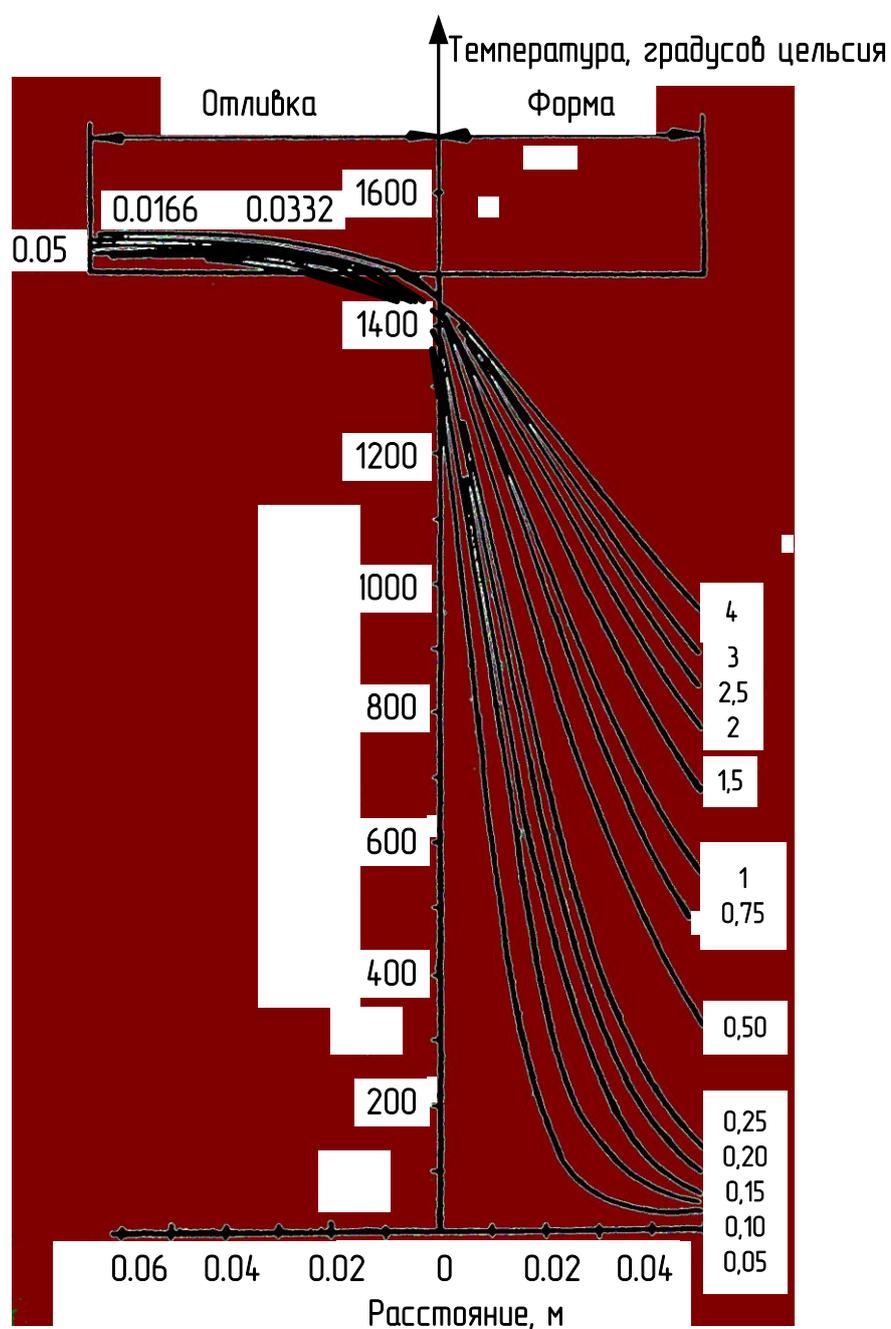


Рисунок 2 — Теоретическое распределение температуры в отливке и форме

Структурная схема прибора контроля температуры представлена на рис. 3.

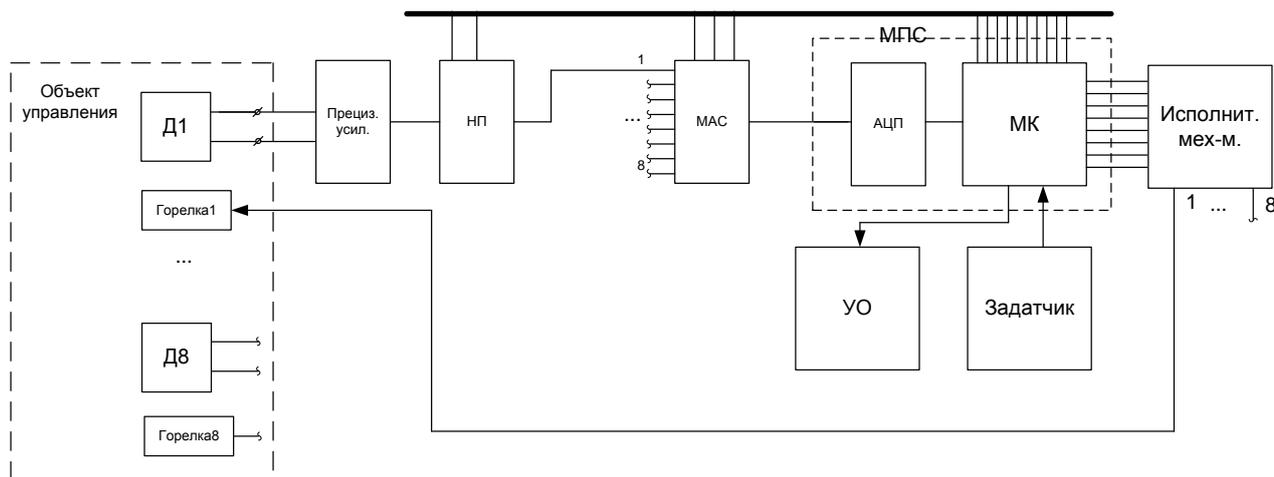


Рисунок 3 — Структурная схема прибора контроля температуры отжига

Здесь датчики расположены непосредственно в камере термической обработки формы. Сигнал от них поступает на прецизионные усилители, а затем — на нормирующие преобразователи. Прецизионные усилители строятся по дифференциальному принципу, для вычета синфазных составляющих помехи, которые могут быть обусловлены наличием вблизи датчиков, к примеру, источников высокого напряжения. С НП сигналы поступают на аналоговый мультиплексор, а от него, в свою очередь, на АЦП микроконтроллера. Также в схеме имеется подключённое к МК устройство отображения и задатчик, в который вводится значение температуры, которое необходимо поддерживать. С выхода МК сигнал поступает на исполнительный механизм, управляющий работой газовых горелок.

Перечень ссылок

1. Методы нестационарной теплопроводности. Н. М. Беляев, А. А. Рядно. — Москва, «Высшая школа», 1978.
2. Фирма «Элемер». ТП0188 ХА (аналог ТХА 0188) — Датчики температуры преобразователи избыточного давления регулятор.