

УДК 669.14.018.8

Оглоблин Г.В.

Амурский гуманитарно-педагогический государственный университет,
Россия

Стулов В.В.

Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ ДВУХКАНАЛЬНОГО ГЛУХОДОННОГО ПОГРУЖНОГО СТАКАНА

Предлагается методика физического моделирования работы разливочных устройств литейно-ковочной машины на примере двухканального глуходонного погружного стакана. В качестве активного элемента авторы предлагают жидкокристаллический детектор холестерического типа позволяющий визуализировать тепловые поля в воротнике кристаллизатора в зависимости от типа погружного стакана и его положения. При этом получают результат, как в качественной, так и в количественной форме.

UDC 669.14.018.8

Ogloblin G.V.

Amur State Pedagogical University, Russia

Chairs V.V.

Institute of Engineering and Metallurgy, RAS, Russia

Physical modeling of thermal fields SUBMERSIBLE GLASSES

The technique of physical modeling of the dip cup casting-forging machine. As an active member authors suggest detector cholesteric liquid crystal allows to visualize the thermal field in the collar of the mold and on its walls, depending on the type of submerged nozzle and its position. At the same time get the result, as in qualitative or in quantitative form.

Применение на практике физического моделирования процессов, происходящих при разливе металлов, позволяет установить необходимый расход и температуру расплава, режим охлаждения кристаллизатора, толщину корочки заготовки и её качество. Результаты физического моделирования часто являются исходными данными при построении математических моделей исследуемых процессов.

Так в работах [1,2] отмечается, что качество поверхности слитков при разливке металла зависит от характера подводимой струи, так как применение разливочного, погружного стакана способствует её стабилизации. В зависимости от решаемой задачи разработаны погружные стаканы. По своей конструкции они делятся на прямоточные, глухонные. Глухонные могут быть с одним, с двумя, четырьмя каналами по характеру выполненных каналов прямоугольной формы или эксцентричной [3]. Протекающие в погружных стаканах процессы изучаются на прозрачных моделях [4]. При этом не визуализируются тепловые процессы в ходе разлива расплава. Нами сделана попытка на уровне модели получить в видимом формате тепловые поля работы погружных стаканов различной конфигурации. Отображая информацию в горизонтальной или вертикальной плоскости. Для решения данной задачи разработана установка, где активными элементами являются жидкокристаллический детектор (рис.1) и модель погружного стакана со сменными насадками.

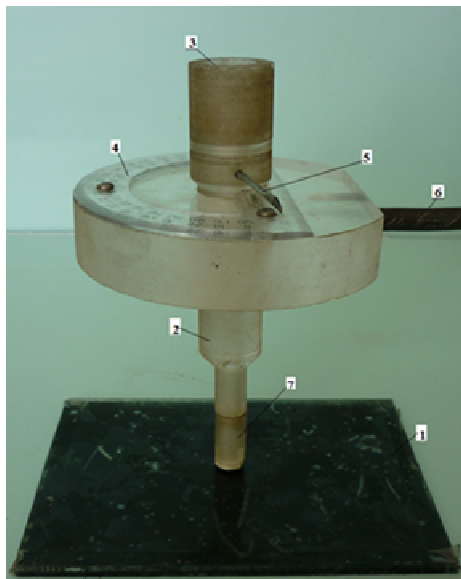


Рис.1. Установка для моделирования тепловых полей погружного стакана в горизонтальной плоскости. 1. Жидкокристаллический детектор. 2. Погружной стакан. 3. Входное окно погружного стакана. 4. 5. Устройство

углового отсчёта поворота каналов погружного стакана. 6.Штатив. 7.Насадки каналов погружного стакана.

Жидкокристаллический детектор представляет собой сэндвич из двух стеклянных пластин размером 170x150x2,1 мм. Стекла моют с целью удаления загрязнений и жировых пятен, сушат. Полость 0,1 мм между пластинами образуется с помощью полиэтиленовой прокладки шириной 3мм проложенной по периметру пластин. Прокладка проложена так, что бы на противоположных сторонах образовались воздушные каналы размером 2x0,1x3 мм которые обеспечивали вход и выход воздуха из сэндвича. Полученный таким образом сэндвич помещался на мрамит и прогревался до температуры, при которой стекло и полиэтилен имели одинаковую прозрачность. Таким образом, сваривались две пластины. Полученная оптическая капсула заполнялась термотропными жидкими кристаллами, нагретыми выше мезофазы (до жидкого состояния). Капля жидких кристаллов подаётся на один из входов, где за счёт сил молекулярного сцепления постепенно втягивается в полость. Температура капсулы должна быть такой же, что и у жидких кристаллов. В процессе заполнения капсулы, через первый воздушный канал, необходимо следить, чтобы не образовывались воздушные пазухи и воздух выходил через второй канал. По завершению заполнения капсулы жидкими кристаллами воздушные каналы заливаются парафином или другим герметиком. Для того, чтобы данный детектор качественно отображал информацию необходимо одну из пластин окрасить в чёрный цвет. Подбор жидкого кристалла определяется температурным режимом, при котором будет работать детектор. В нашем случае мы работаем с термоиндикатором холестерического типа с мезофазой 27-33°C. Погружной стакан выполнен из органического стекла в масштабе 1:7 к натуральному образцу. Параметры натурального образца - высота 700мм наружный и внутренний диаметры 130 мм и 70 мм соответственно; размеры выходных отверстий 80x30 мм. Модель имеет ряд съёмных насадок выходных отверстий, что позволяет переходить от одной конфигурации стакана к другой.

В качестве рабочего вещества мы выбрали воду[6] так как она позволяет проводить исследования в широких пределах масштабов моделирования. При этом исходили из условия подобия для ламинарных потоков, где число Рейнольдса должно быть $R < 2300$ [6]. Рассмотрим работу глухонного двухканального стакана для чего на установке рис.1 устанавливаем насадку с двумя каналами. Каналы ориентируем параллельно широким стенкам кристаллизатора. Через дозатор подаём жидкость

температурой 40°C , с помощью электронной фотокамеры получаем, серию снимков с шагом 5с.

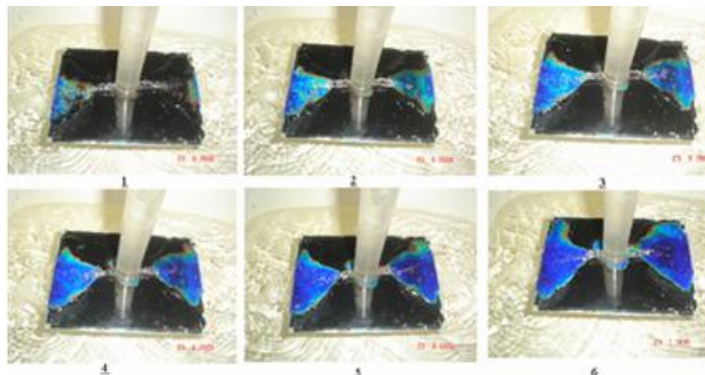


Рис.2. Динамика формирования температурного поля двух канального глуходонного погружного стакана.

Для расшифровки полученных результатов нам необходимо воспользоваться градуировочной шкалой отображения цвета детектора рис.3.

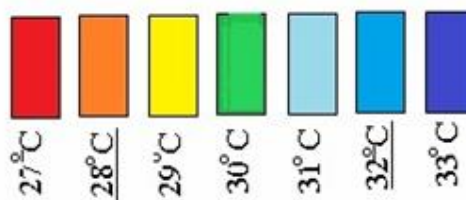


Рис.3. Градуировочная шкала.

Данная шкала позволяет проанализировать по цветности температурную составляющую детектора для каждого полученного снимка. На рис 2 представлены температурные поля в интервале 5с, что позволяет отслеживать процесс преобразования температуры потока. При этом отображается скорость развития процесса, которую можно определить исходя из сопоставления 1 и 6 рисунков. Из анализа температурных полей видно, что процесс развивается неоднородно. На границах раздела потока и детектора наблюдается градиент температур от $27-33 \cdot \text{C}$, где красный цвет- $27 \cdot \text{C}$, тёмно - синий- $33 \cdot \text{C}$. Для плоской стенки неограниченных размеров когда толщина стенки δ мала по сравнению с продольными размерами в 10δ тепловой поток через стенку равен $Q=qF=\frac{t_{c1}-t_{c2}}{R_c} F$ (ккал/ч), где t_{c1} и t_{c2} – температуры боковых поверхностей стенки детектора $t_{c1} > t_{c2}$, F – площадь поверхности прогрева детектора; R_c – термическое

сопротивление стенки детектора. Если детектор однородный то $R_c = \frac{\delta}{\lambda}$ [6]. В нашем случае детектор многослоен и состоит из трёх слоёв поэтому $R_c = R_1 + R_2 + R_3$, где $R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1}$, $R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2}$, $R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3}$. Изменение температуры каждого слоя $\Delta t_i = qR_i$ (i=1,2,3...n) в нашем случае i=3. Температура на границе i- слоя $t_{i1} = t_{i2} + \Delta t_i = t_{c1} - (\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_{i-1})$. На практике [7] коэффициент теплопроводности каждого слоя выбирается в средних пределах $t_{cp} = 0,5 (t_1 + t_2)$, где t_1 и t_2 , -температуры на границах слоя. Тепловой поток через детектор выразится следующим образом, полагая $F = 2 \frac{1}{2} hd$, h – высота треугольника, d- основание треугольника, коэффициент 2 учитывает площади левой и правой фигур (рис.2):

$$Q = qF = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{R_c} F = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} \frac{1}{2} hd2 \text{ или}$$

$$Q_1 = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} h_1 d_1; Q_2 = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} h_2 d_2; Q_3 = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} h_3 d_3; Q_4 = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} h_4 d_4$$

$$Q_5 = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} h_5 d_5; Q_6 = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} h_6 d_6. \text{ Обозначим } \frac{t_{c1} - t_{c2}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = K \text{ так}$$

как данная величина в процессе исследования динамики развития теплового поля остаётся постоянной для изотерм одной цветности, и её можно считать постоянной детектора для данной цветности, переменными величинами для них (снимков рис.1 с 1 по 6) являются h и d.

$$Q_1 = k_1 h_1 d_1; Q_2 = k_2 h_2 d_2; Q_3 = k_3 h_3 d_3;$$

$$Q_4 = k_4 h_4 d_4; Q_5 = k_5 h_5 d_5; Q_6 = k_6 h_6 d_6.$$

Особый интерес представляет тепловое поле, образующееся на границе раздела, у стенки кристаллизатора. Интерес объясняется тем, что мы имеем дело с градиентом температур в узком пограничном слое. На рис.3 показан градиент температур в данный момент времени на вырезанном участке детектора.

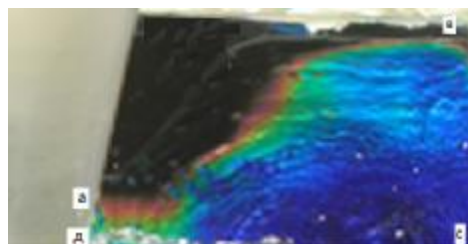


Рис. 5. Тепловое поле ¼ площади всего детектора.

Из которого следует, что температура от границы раздела к точке падения струи, неравномерна, при этом ширина изотерм различна. Зная ширину и длину изотермы можно определить тепловой поток, излучаемый не только областью ограниченной контуром **абсд**, но и каждой конкретной областью ограниченной одноцветной изотермой. Тогда для красной изотермы тепловой поток Q_k :

$Q_k = qF_k = \frac{t_k - t_{c2}}{R_c} F_k$, где t_k – температура красной изотермы, F_k – площадь красной изотермы;

для зелёной Q_3

$Q_3 = qF_3 = \frac{t_3 - t_{c2}}{R_c} F_3$, где t_3 – температура зелёной изотермы, F_3 – площадь зелёной изотермы;

для тёмно - синий Q_{tc}

$Q_{tc} = qF_{tc} = \frac{t_{tc} - t_{c2}}{R_c} F_{tc}$, где t_{tc} – температура темно-синей изотермы, F_{tc} – площадь темно-синей изотермы;

Суммарный поток с $F_{авсд}$ контура $Q_{авсд} = Q_k + Q_3 + Q_{tc}$ детектора, при симметрии всех секторов, равен $Q = 4Q_{авсд} = 4(Q_k + Q_3 + Q_{tc})$. В тоже время тепловой поток вдоль распространения струи можно зафиксировать, если расположить жидкокристаллический детектор в вертикальной плоскости. Делая срез вдоль распространения струи расплава в зависимости от ориентации детектора: по центру рис.6а, слева рис.6б, справа от центра рис.6в.

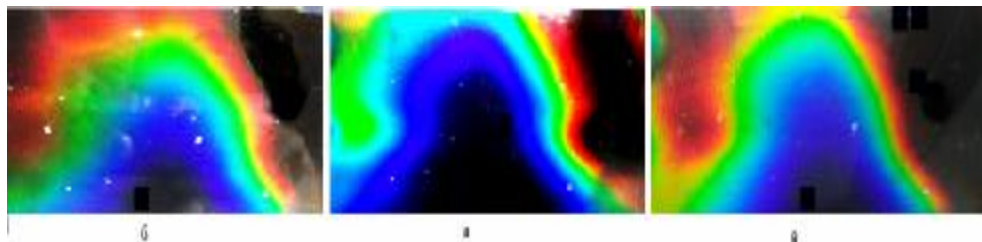


Рис 6. Срез теплового поля вдоль распространения струи левого канала погружного стакана.

Аналогично получаем срез теплового потока, ориентируя детектор перпендикулярно струе жидкости рис 7.

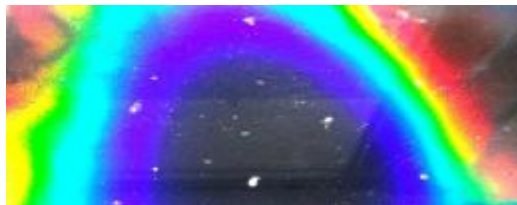


Рис. 7. Срез теплового потока перпендикулярно направлению распространения струи левого канала погружного стакана.

Конфигурацию теплового поля на расстоянии 50 мм, 100, 150 мм отображена на рис.7а,б,в,

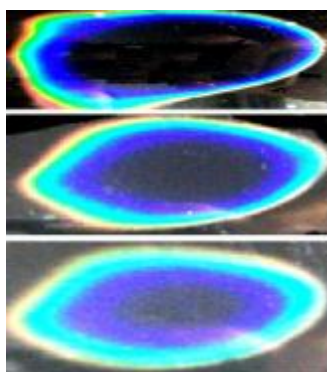


Рис.7. Срез распределения температурного поля левого канала погружного стакана перпендикулярно распространению теплового потока в верх на отрезках: а= 50 мм, б = 100 мм, в = 150 мм от струи (рис.2-2).

Тогда общая картина теплового потока для симметричного случая рис.8.

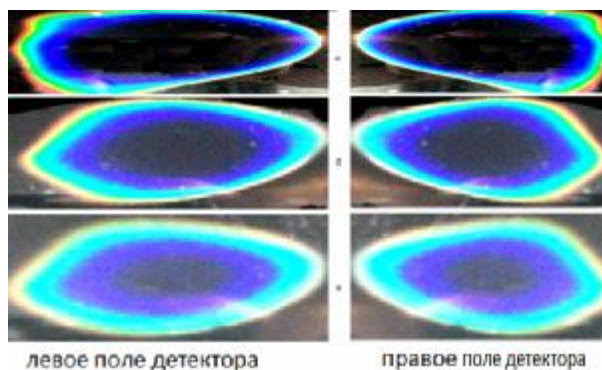


Рис.8. Картина теплового поля потока погружного стакана отображаемая детекторами в горизонтальной плоскости. Срез: а. На расстоянии 50 мм от струи. б. На расстоянии 100 мм. в. На расстоянии 150 мм.

в этом случае детектор ориентировался параллельно поверхности первого датчика. Таким образом, в зависимости от поставленной задачи можно визуализировать отдаваемый тепловой поток расплавом на любой стадии работы погружного стакана, в любой плоскости с достаточно высокой степенью достоверности, что позволяет перенести полученные результаты, на реальный объект, учитывая масштабирование и критерии подобия[8].

Отображение информации для человека в видимом формате с поверхности детектора можно представить как $I = \log_2 n$, где n – число возможных состояний в динамике лежит в пределах 75-150 [9]. Наиболее оптимальными условиями для зрительных анализаторов человека считается $n = 128$ при пропускной способности в обработке информации 70 бит за секунду. Разработанная нами методика моделирования укладывается в отмеченные параметры.

Литература.

- 1.Ефимов В.А. Разливка и кристаллизация стали.М.1976.552 с.
- 2.Капустин Е.А. К моделированию продувки жидкой стали кислородом //Известия ВУЗов. Чёрная металлургия.1972.№11.С.186.
- 3.Черкаев Е.Н., Куликов Н.В., Анищенко Н.Ф., Кинаш А.А. Влияние вращения расплава на формирование струи при разливке стали сверху.// Известия ВУЗов. Чёрная металлургия.1988.№1.С.17-18.
- 4.Афанасьева К.И., Иванцов Г.П. Моделирование разливки непрерывного слитка // Сталь. 1977.№1.С.33-34.
- 5.Одинокое В.И., Стулов В.В. Литейно-ковачный модуль (литьё и деформация). Владивосток: Дальнаука,1998.С.150
6. Стулов В.В., Одинокое В.И., Оглоблин Г.В. Физическое моделирование процессов при получении литой деформированной заготовки. Владивосток.2010.С.167.
7. Справочник металлиста. Т.1 Под ред. проф. Д.т.н. Ачеркана Н.С. Машиностроение. М. 1965.С.1007.
- 8.Оглоблин Г.В., Стулов В.А. Установка для моделирования работы погружных стаканов. //Материалы 5 международной электронной заочной н.-п.к. Комсомольск-на-Амуре. 19 октября – 10 ноября 2009г.Комсомольск на Амуре. 2009 с.134-137.

9. Наумчик В.Н., Сержанский А.М. Наглядность в демонстрационном эксперименте по физике: (эргономический подход). Минск. БГУ.1983.С.96.