

**Технология,
оборудование, САПР
и экология литейного
производства**

It is shown that the received results of investigations allow to state possibility of modeling of heat processes with the help of system «Polygosoft».

Д. М. КУКУЙ, Ю. А. НИКОЛАЙЧИК, БНТУ,

Л. В. СУДНИК, Государственное научно-производственное объединение порошковой металлургии

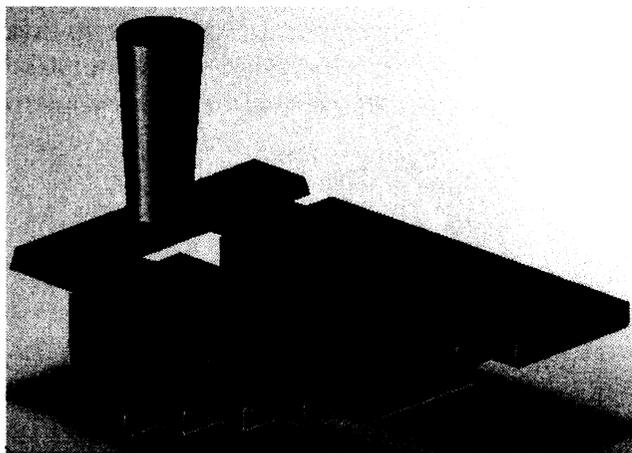
УДК 621.74:004

**О ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ВЛИЯНИЯ ПРОТИВОПРИГАРНОГО ПОКРЫТИЯ
НА ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ
В ПЕРИОД ЗАЛИВКИ ФОРМЫ РАСПЛАВОМ**

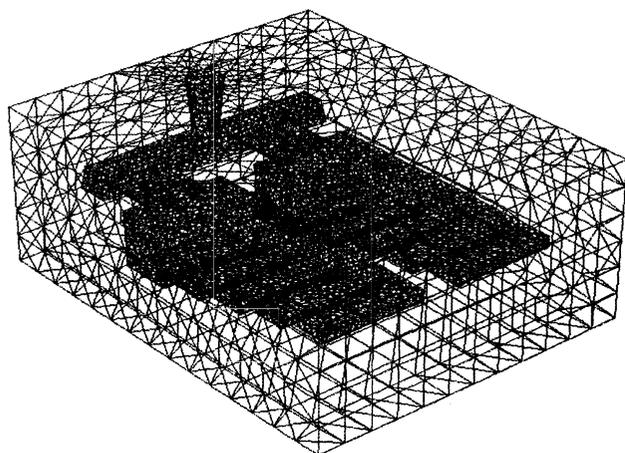
Процессы, происходящие на границе раздела расплав – форма («р–ф») и расплав – противопопригарное покрытие – форма («р–п–ф»), очень сложны и разнообразны. Попытки их описания разными авторами зачастую носят эмпирический характер и основаны на экспериментальных данных, полученных для конкретных случаев технологии производства отливки. В современных условиях, когда широкое распространение и доступность получили информационные технологии (системы автоматизированного проектирования (САД), системы инженерного анализа (САЕ)), не составляет особого труда промоделировать процессы в зоне контакта «р–ф» и «р–п–ф». Одним из этапов такого моделирования является исследование влияния противопопригарных покрытий на тепловые процессы в период заливки формы расплавом. В качестве инструмента,

позволяющего выполнить расчеты и получить визуальную картину процессов, протекающих на границе раздела «р–ф» и «р–п–ф» и, как результат, оценить вероятности образования поверхностных дефектов отливок, в настоящей работе использована система компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) «ПолигонСофт».

Работа с системой СКМ ЛП построена по модульному принципу и отличается простотой выполнения операций по заданию граничных (ГУ) и начальных (НУ) условий, выполнению расчетов и анализу полученных результатов. Процессы на границе раздела «р–ф» и «р–п–ф» промоделированы для ступенчатой технологической пробы (рис. 1). Толщина стенки отливки изменяется от 10 до 50 мм. Трехмерная модель литейной формы в сборе и отливки построена в среде SolidWorks.



а



б

Рис. 1. Технологическая ступенчатая проба для изучения процессов пригарообразования: а – 3D-модель отливки

Генерация конечно-элементной сетки выполнена в COSMOSDesignSTAR.

Отливка «ступенчатая проба» изготавливается из СЧ 20, химический состав которого приведен в табл. 1.

Таблица 1

Элемент	C	Si	Mn	S	P
Количество, %	3,40	1,60	0,80	0,08	0,12

Этот сплав обладает свойствами, приведенными в табл. 2 [1].

Таблица 2. Теплофизические свойства сплава

Теплоемкость, КДж/(м ³ ·К)	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Теплота затвердевания, Дж/кг	$T_{лик.}$	$T_{сол.}$	$\Delta T_{кр}$
			°С		
5094	39,87–119,62	245000	1193,6	1160,6	33

Заливка расплава производится в литейную форму из холоднотвердеющей песчано-смоляной смеси, отверждаемой в присутствии кислотного катализатора (табл. 3, 4).

Таблица 3. Состав формовочной смеси

Компонент	Смола карбамидно-фурановая	Катализатор	Кварцевый формовочный песок марки К ₁ О ₂ 02
Количество, %	2	1	Остальное

Таблица 4. Теплофизические свойства формовочной смеси

Теплоемкость, КДж/(м ³ ·К)	Теплопроводность, Вт/(м·К)
1370–1370,4	0,5–0,55

Для изучения влияния различных противопригарных покрытий на процесс теплообмена на границе раздела «р-п-ф» в одной литейной форме моделируется изготовление двух отливок. Одна часть литейной формы окрашена противопригарным покрытием на основе дистен-силлиманита, вторая – противопригарным покрытием на основе графита (табл. 5).

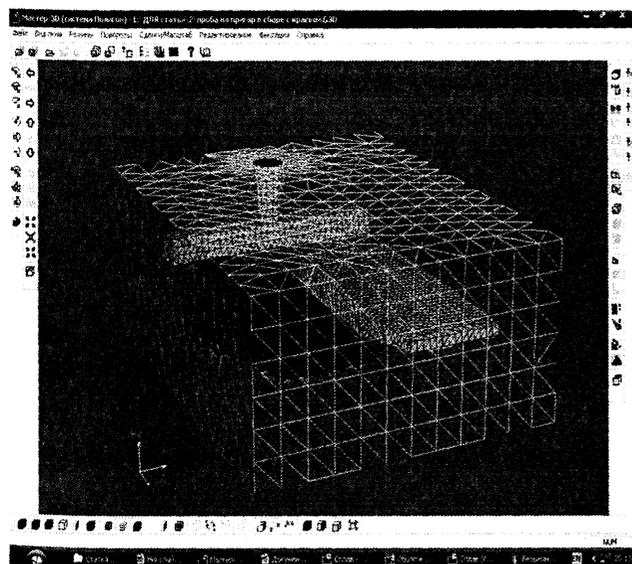
Таблица 5. Свойства противопригарных покрытий

Покрытие	Свойства		
	толщина слоя δ , мм	теплопроводность λ , Вт/(м·К)	степень черноты ϵ , %
На основе дистен-силлиманита	1	0,175	56
На основе графита	1	0,379	97

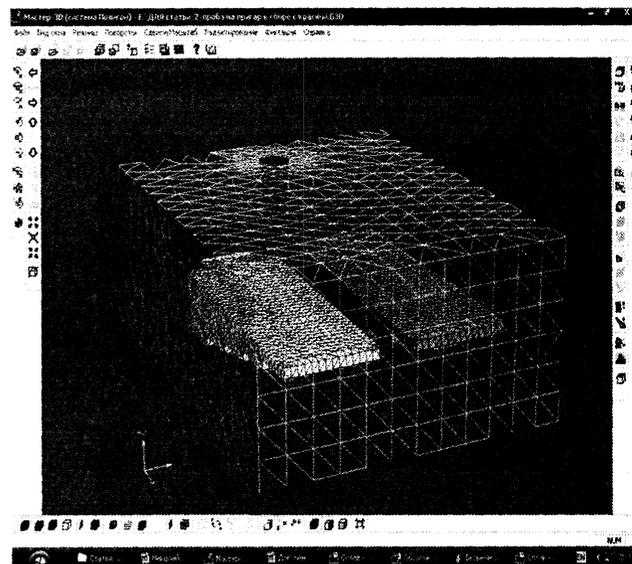
Подготовка к расчету включает в себя подготовку сеточной модели расчетной области в предпроцессоре «Мастер-3D».

Этот модуль позволяет проанализировать качество конечно-элементной сетки и при необходимости внести корректировки, сориентировать модель относительно вектора силы тяжести, присвоить отдельным элементам тип «отливка/форма» и задать индексы объемов и границ (рис. 2).

Определение ГУ и НУ выполняется в предпроцессоре «Сплав». Каждый пункт головного меню этого модуля позволяет создавать и редактировать тот или иной файл исходных данных, который необходим для выполнения расчетов. Нужно отметить, что обязательными для обеспечения расчетов являются файлы «Тепловые свой-



а



б

Рис. 2. Подготовка модели в предпроцессоре «Мастер-3D»: а – режим визуализации индексов границ; б – режим визуализации

ства сплава», «Свойства материалов формы» и «Параметры теплопередачи» [1]. Влияние противоположных покрытий на теплообмен между отливкой и формой осуществляется заданием ГУ параметров теплопередачи.

При выполнении расчетов в процессорных модулях СКМ ЛП теплопередача через слой противоположного покрытия в любой бесконечно малый промежуток времени производится одновременно по трем законам:

1) закон теплопроводности Фурье:

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n}, \quad (1)$$

где q – плотность теплового потока; λ – теплопроводность покрытия; $\frac{\partial T}{\partial n}$ – температурный градиент;

2) закон теплоотдачи Ньютона:

$$q = \alpha_{\kappa}(T_2 - T_1), \quad (2)$$

где q – плотность теплового потока; α_{κ} – коэффициент теплоотдачи конвекцией; T_2 – температура в зоне контакта противоположного покрытия – форма; T_1 – температура в зоне контакта расплав – противоположное покрытие;

3) закон теплового излучения Стефана – Больцмана:

$$q = \varepsilon\sigma(T_2^4 - T_1^4), \quad (3)$$

где q – плотность теплового потока; ε – приведенное значение степени черноты каждой из поверхностей, участвующих в процессе лучистого теплообмена; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – постоянная Стефана–Больцмана [2].

Расчет процессов гидродинамики заполнения формы и кристаллизации расплава выполнен со-

ответственно в процессорных модулях «Эйлер-3D» и «Фурье-3D». Визуализировать картину расчетов и получить численные значения распределения скоростей движения расплава, температур, давлений и усадочных дефектов позволяет модуль «Мираж-3D» (рис. 3).

Динамика изменения температуры в процессе кристаллизации отслеживалась в контрольных точках на ступенях технологической пробы как в отливке, так и в форме (толщина стенки отливки изменяется от 10 до 50 мм) (рис. 4, 5).

Расчет кристаллизации расплава показал, что сразу после заливки температура расплава падает сначала стремительно, а затем скорость охлаждения снижается. Так, температура отливки в форме, окрашенной противоположным покрытием на основе графита, в контрольных точках падает до 1000 °С через 340 с (кривая 1), 580 с (кривая 2), 695 с (для кривых 3–5), в то время как в форме, окрашенной противоположным покрытием на основе дистен-силлиманита, температура падает до того же значения за 385, 615 и 720 с соответственно (рис. 4). Таким образом, через противоположное покрытие на основе графита идет более интенсивный теплоотвод от отливки, чем через противоположное покрытие на основе дистен-силлиманита, что подтверждает разницу теплофизических свойств покрытий.

Из рис. 5 видно, что противоположные покрытия оказывают разное влияние на изменение температуры в форме. Материал формы, окрашенный противоположным покрытием на основе графита, в течение заливки формы расплавом быстро нагревается до более высоких температур, чем аналогичный участок формы с покрытием на основе дистен-силлиманита. В контрольной точке

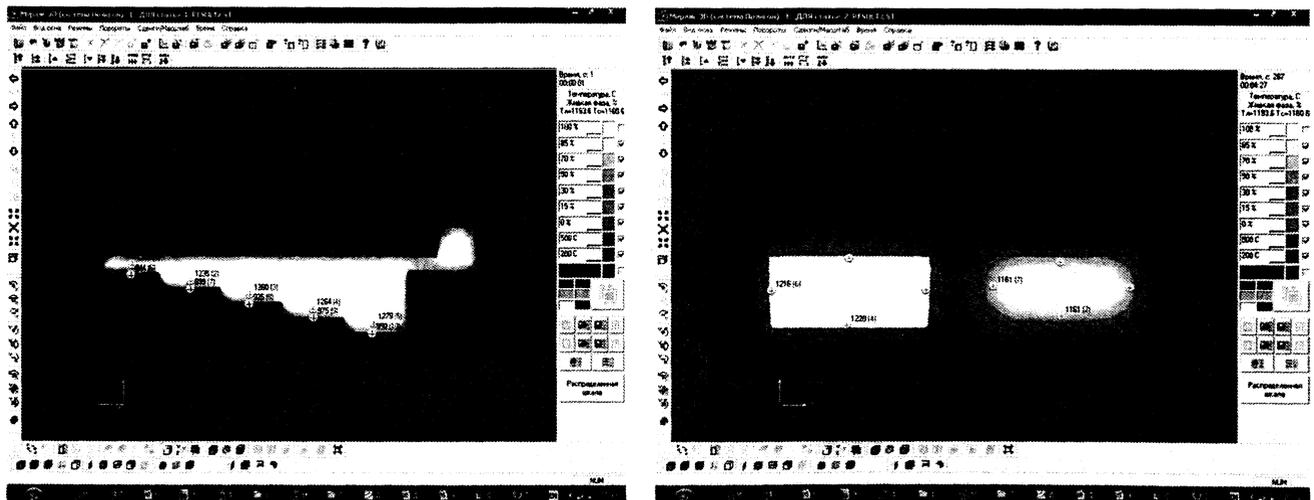


Рис. 3. Распределение температуры в отливке и форме в процессе кристаллизации: а – продольное сечение формы; б – поперечное сечение формы

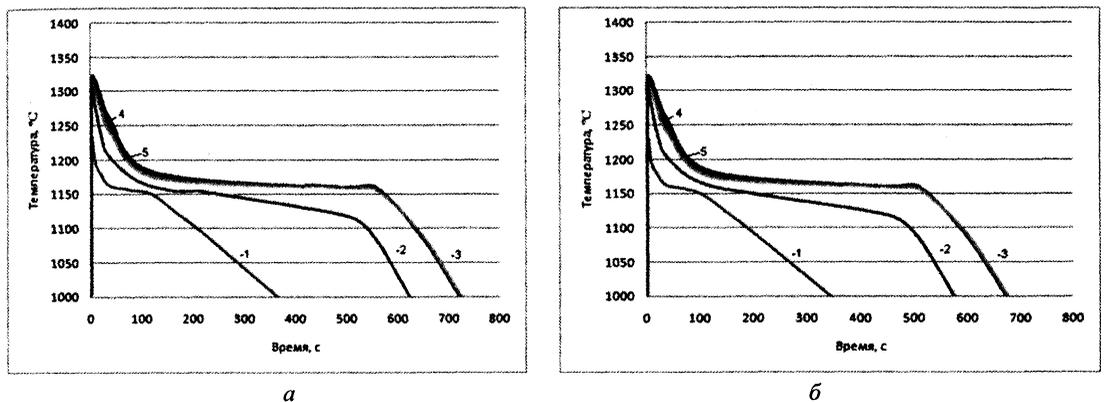


Рис. 4. Динамика изменения температуры в отливке: а – противопопригарное покрытие на основе дистен-силлиманита; б – противопопригарное покрытие на основе графита; 1–5 – изменение температуры в контрольных точках с толщиной стенки отливки 10, 20, 30, 40, 50 мм соответственно

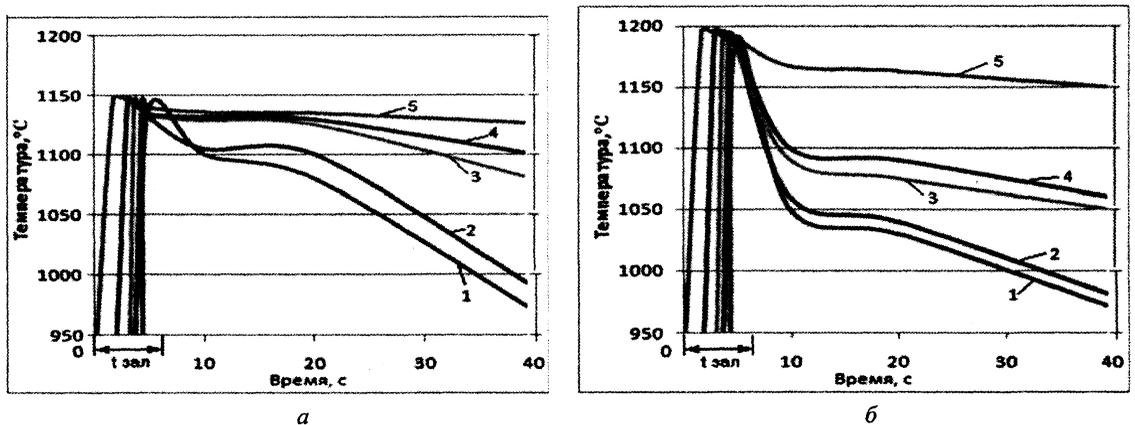


Рис. 5. Динамика изменения температуры в форме: а – противопопригарное покрытие на основе дистен-силлиманита; б – противопопригарное покрытие на основе графита; 1–5 – изменение температуры в контрольных точках с толщиной стенки отливки 10, 20, 30, 40, 50 мм соответственно

при толщине стенки 50 мм максимум температуры достигает 1196 °С. В части формы, окрашенной дистен-силлиманитовым покрытием, также наблюдается скачкообразный рост температуры, однако максимум температуры формы с покрытием не превышает 1148 °С, что меньше температуры $T_{\text{сол}} = 1160,6$ °С расплава. А именно это является основным условием предотвращения пригара на поверхности отливки при использовании

дистен-силлиманитового противопопригарного покрытия [3].

Таким образом, результаты исследований позволяют констатировать возможность моделирования с помощью системы компьютерного моделирования «ПолигонСофт» тепловых процессов на границе раздела «р–п–ф» и прогнозировать качество поверхности отливки при использовании того или иного противопопригарного покрытия.

Литература

1. Справочная система СКМ ЛП «ПолигонСофт» (С).
2. Б а л а н д и н Г. Ф. Основы теории формирования отливки. М.: Машиностроение, 1979. Ч. I.
3. В а л и с о в с к и й И. В. Пригар на отливках. М.: Машиностроение, 1983.