

УДК 621.74 (07)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФОРМОВОЧНЫХ И СТЕРЖНЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

**А. Ю. Галдина, Р. М. Янбаев, Ф. М. Янбаев,
Е. А. Шестакова, С. В. Шипигин**

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева-КАИ, г. Казань, Россия

В работе рассмотрена методика определения теплофизических свойств формовочных и стержневых материалов. Приведена схема лабораторной установки. Представлены экспериментальные результаты значений теплофизических свойств для различных формовочных и стержневых смесей, применяющихся на литейном заводе ОАО «КАМАЗ» г. Набережные Челны. Работа выполнена по договору № 9932/17/07-к-12 от 20.11.2012 в рамках комплексного проекта «Создание семейства двигателей КАМАЗ на альтернативных видах топлива с диапазоном мощностей 300...400 л. с. и потенциалом выполнения перспективных экологических требований».

Ключевые слова: теплофизические свойства, формовочные и стержневые материалы

CALCULATION METHOD OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF MOLDING AND CORE MATERIALS

A. Y. Galdina, R. M. Yanbaev, F. M. Yanbaev, E. A. Shestakova

Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI,
Kazan, Russia

In work the technique of determination of heatphysical properties of forming and rod materials is considered. The scheme of laboratory installation is provided. Experimental results of values of heatphysical properties for various forming and rod mixes which are applying at foundry of JSC KAMAZ Naberezhnye Chelny are presented. Work is performed on the contract № 9932/17/07-K-12 of 20.11.2012 within the complex project «Creation of family of engines KAMAZ on alternative types of fuel with a power range 300... 400 h.p. and potential of implementation of perspective ecological requirements».

Keywords: thermophysical properties, molding materials, core materials

Определены теплофизические и технологические свойства материалов применяемых при изготовлении отливок (литейные сплавы, формовочные материалы, в т. ч. краски, смазки и пр.), применяемых при изготовлении деталей разрабатываемого ДВС с целью повышения сходимости расчетных данных и данных полученных в результате натурных экспериментов. Оработана методика исследования свойств материалов и определения теплофизических свойств и параметров получаемых для передачи в базы программных продуктов.

Теплофизические свойства формовочных смесей, применяющихся на ЛЗ ОАО «КАМАЗ» определены на лабораторной установке [2, 4] схема которой приведена на рисунке 1.

Теплофизические свойства формовочных смесей

Предварительные исследования по теп-

лофизическим свойствам формовочных смесей и красок показали, что с изменением температуры теплопроводность перечисленных материалов имеет экстремумы, которые не учитываются при моделировании литейных процессов в различных программных продуктах. Подобные явления на формовочной смеси объясняются наличием химически связанной воды в температурном интервале 500 – 700 °С и изменениями в «свежей» глинистой составляющей при высоких температурах [1, 4]. Для калибровки результатов теплофизического анализа необходимо разработать упрощенную (лабораторную) модель, которая позволит оперативно сравнивать практический и теоретический результат.

Теплофизические свойства противопригарной краски

Теплофизические свойства краски определялись методом цилиндрической отливки.

Форма представляла собой цилиндрический кокиль. Рабочая поверхность кокиля окрашивалась краской, свойства которой исследовались. Толщина нанесенного слоя краски определена с помощью микрометрической насадки на окуляр лабораторного микроскопа. Заливаемый сплав АК9ч ГОСТ 1583 – 93. Температуры заливки соответственно до 800 °С. Теплофизические свойства краски при температурах менее 600 °С определялись по третьей, окончательной стадии кривой охлаждения (после выделения скрытой теплоты кристаллизации). Начальная температура

кокиля 20 °С. Температура в металле фиксировалась ХА термопарой. Толщина ХА проволоки 0,5 мм, диаметр головки горячего спая 0,8 мм. В экспериментах головка термопары непосредственно помещалась в жидкий металл, кварцевый наконечник не применялся. Термопара использовалась как разовый элемент. На кривой охлаждения фиксировались три стадии:

- время снятия теплоты перегрева;
- время выделения скрытой теплоты кристаллизации;
- непосредственно охлаждение отливки.

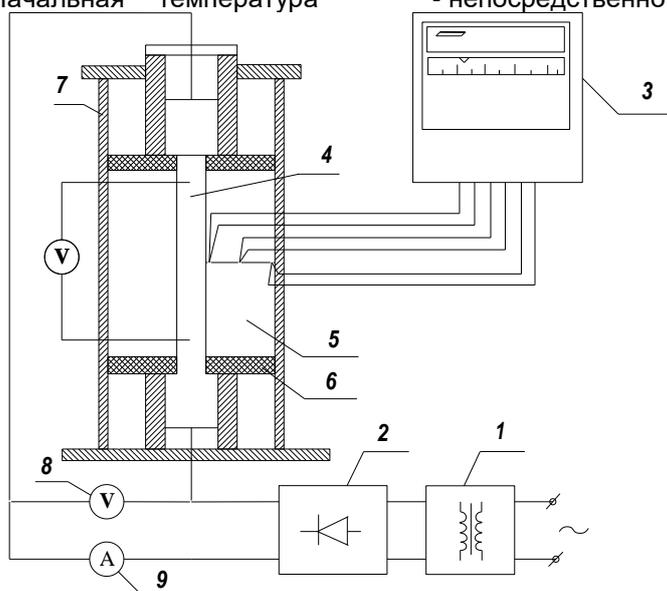


Рисунок 1 – Схема установки для определения теплопроводности материалов: 1 – трансформатор для питания электрическим током нагревательного элемента; 2 – выпрямитель для питания нагревательного элемента постоянным током; 3 – потенциометр КСП-4; 4 – нагревательный элемент; 5 – испытуемый образец; 6 – теплоизолирующее кольцо; 7 – корпус прибора; 8, 9 – вольтметры и амперметр

Далее расчет коэффициента теплопроводности проводился по упрощенной методике А. И. Вейника [3, 4]. Теплофизические свойства сплава АК9ч известны. Получив опытным путем соответствующие времена из кривых охлаждения, рассчитаны коэффициенты теплоотдачи, учитывающие тепловое сопротивление краски. Микроскопическим исследованием установлена толщина нанесенного слоя краски. Коэффициенты теплопроводности определены как произведение соответствующих коэффициентов теплоотдачи и толщины нанесенного слоя краски.

Теплофизические свойства стержневой смеси

Теплофизические свойства стержневых смесей определены методом цилиндрической отливки [3, 4]. Заливаемый сплав АК 9ч ГОСТ 1583 – 93. Стержневая смесь набивалась в

металлическую лабораторную обечайку. Внутренний диаметр 220 мм, толщина стенки 5 мм, высота 300 мм. По оси обечайки устанавливалась в процессе набивки стержневой смеси цилиндрическая металлическая модель. Диаметр модели 40 мм, высота 300 мм. Такие геометрические размеры модели приняты для исключения торцевого эффекта. Термопары устанавливались в изотермических плоскостях, т. е. плоскостях, параллельных плоскости поверхности отливки. Всего 6 термопар. Угол разворота 60°. Толщина ХА проволоки 0,5 мм, диаметр головки горячего спая 0,8 мм. Регистрировалось температурное поле литейной формы, состоящей из стержневой смеси. Для определения теплофизических свойств смеси измерялась температура по сечению формы и в центре отливки. Теплоемкость формы определялась из

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФОРМОВОЧНЫХ И СТЕРЖНЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

уравнения теплового баланса для отливки и формы. Температура поверхности отливки определена из уравнения неразрывности теплового потока методом последовательных приближений. Первоначально значения теплоемкости приняты в первом приближении равным теплоемкости основного компонента смеси, а именно песка. Данные исследования сведены к табличному виду, для удобной передачи в базу данных.

В таблице 4 приведены окончательные результаты по свойствам стержневой смеси, полученные в результате проведенных экспериментов [5].

Где λ коэффициент теплопроводности Вт/м К, Q общее количество теплоты, выделяемое нагревательным элементом Дж, l длина образца м, r2 внешний радиус образца м, r1 внутренний радиус образца м, tc1 температура центра образца °С, tc2 температура внешней поверхности образца °С, m масса образца кг, ρ плотность смеси кг/м³, c теплоемкость Дж/кг К, а температуропроводность м²/с, b теплоаккумулирующая способность смеси Дж/с м² К, δ поправочный коэффициент.

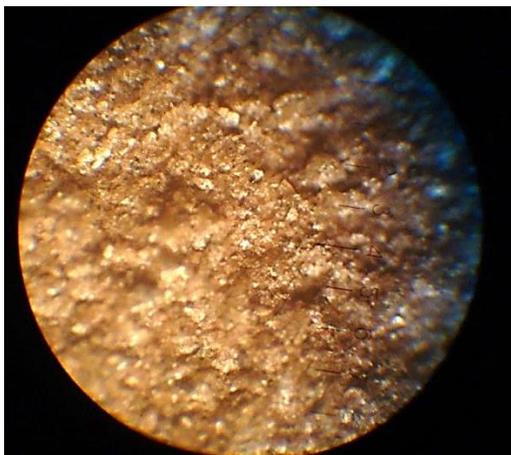


Рисунок 2 – Изображение перпендикулярно рабочей поверхности лабораторного кокиля x250

Таблица 1 – Теплофизические свойства формовочной смеси

№ п/п	Температура, °С					
	500	600	700	800	900	1000
<i>Теплопроводность Вт/(м К)</i>						
1	0,435	0,417	0,406	0,537	0,713	0,914
<i>Теплоемкость кДж/кг К</i>						
2	987	994	1053	1142	1240	1280
<i>Коэффициент аккумуляции тепла Дж/с м² К</i>						
3	828	814	827	990	1189	1368
<i>Температуропроводность м²/с</i>						
4	2,75	2,62	2,40	2,93	3,59	4,34

Таблица 2 – Теплофизические свойства противопригарной краски

№ п/п	Температура, °С					
	500	600	700	800	900	1000
<i>Теплопроводность Вт/(м К)</i>						
1	0,158	0,160	0,162	0,17	-	-
<i>Теплоемкость кДж/кг К</i>						
2	895	901	923	940	-	-
<i>Коэффициент аккумуляции тепла Дж/с м² К</i>						
3	475	480	489	505	-	-
<i>Температуропроводность м²/с</i>						
4	1,1	1,1	1,09	1,13	-	-

Таблица 3 – Теплофизические свойства стержневой смеси

№ п/п	Температура, °С					
	500	600	700	800	900	1000
<i>Теплопроводность Вт/(м К)</i>						
1	0,40	0,43	0,47	0,48	-	-
<i>Теплоемкость кДж/кг К</i>						
2	700	740	781	785	-	-
<i>Коэффициент аккумуляции тепла Дж/с м² К</i>						
3	669	713	766	776	-	-
<i>Температуропроводность м²/с</i>						
4	3,57	3,63	3,76	3,82	-	-

Выводы

Окончательно отработана методика по определению и исследованию теплофизических и физических свойств формовочных и стержневых материалов в случае совместного и несовместного вычисления их значений на основании экспериментальных температурных полей. Выявлено, что экспериментально необходимо обеспечить нахождение соответствующих свойств материалов таким образом, что бы значения, входящие в расчетные формулы по определению коэффициентов были взаимосвязаны. Только таким образом возможно вычислить или определить экспериментально истинные значения теплофизических коэффициентов [5].

Теоретические зависимости, связывающие воедино все четыре коэффициента по теплофизическим свойствам в данных исследованиях несправедливы. Например, сложно теоретически учесть процесс выгорания связующего материала из стержневой смеси или процесс графитизации в чугунах [1, 2, 4, 5].

Необходимо провести дополнительные исследования для вычисления изменения плотности в смесях в процессе кристаллизации сплавов.

Необходимо разработать методику и модели для предварительной оценки и верификации суммарного эффекта при применении «оцифрованных» теплофизических параметров.

Для учета процесса выгорания связующего из стержневой смеси необходимо провести работы по фиксированию удельной плотности смеси с одновременным уменьшением массы экспериментального образца.

Для получения адекватных результатов по теплофизическим свойствам смесей возможно только после определения отклонений значения коэффициента теплопроводности при различной температуре и при фиксиро-

ванном удельном весе и массе экспериментального образца.

Работа выполнена по договору № 9932/17/07-к-12 от 20.11.2012 в рамках комплексного проекта «Создание семейства двигателей КАМАЗ на альтернативных видах топлива с диапазоном мощностей 300...400 л. с. и потенциалом выполнения перспективных экологических требований».

Таблица 4 – Теплофизические и физические свойства стержневой смеси

λ	Q	l	r2	r1	tc1	tc2	m	ρ	c	a	b	δt
2,035932	30	0,2	0,05	0,005	47	20	2,6	1620	719,78	0,0000017460	1540,778	2089,77
1,427797	60	0,2	0,05	0,005	97	20	2,6	1620	824,36	0,0000010691	1380,864	2089,77
1,51294	90	0,2	0,05	0,005	143	34	2,6	1620	817,38	0,0000011426	1415,405	2089,77
.....												
1,655016	420	0,2	0,05	0,005	659	194	2,534	1584	812,12	0,0000012865	1459,116	2089,77
1,665763	450	0,2	0,05	0,005	705	210	2,534	1584	811,17	0,0000012964	1462,988	2089,77
1,659477	480	0,2	0,05	0,005	754	224	2,534	1584	809,51	0,0000012942	1458,731	2089,77
.....												
1,670584	630	0,2	0,05	0,005	989	298	2,526	1579	809,94	0,0000013063	1461,685	2089,77
1,69139	660	0,2	0,05	0,005	1031	316	2,525	1577	811,04	0,0000013224	1470,82	2089,77
1,710844	690	0,2	0,05	0,005	1072	333	2,52	1576	814,5	0,0000013328	1481,95	2089,77
1,733619	720	0,2	0,05	0,005	1111	350	2,519	1573	817,67	0,0000013479	1493,25	2089,77
1,761864	750	0,2	0,05	0,005	1148	368	2,519	1573	820,84	0,0000013645	1508,279	2089,77
1,793255	780	0,2	0,05	0,005	1183	386	2,519	1573	824,84	0,0000013821	1525,357	2089,77
1,823335	810	0,2	0,05	0,005	1217	403	2,519	1573	829,60	0,0000013972	1542,527	2089,77
.....												
2,011825	1020	0,2	0,05	0,005	1431	502	2,519	1573	875,52	0,0000014608	1664,538	2089,77
2,035932	1050	0,2	0,05	0,005	1459	514	2,519	1573	883,00	0,0000014658	1681,618	2089,77
.....												
2,13105	1170	0,2	0,05	0,005	1561	555	2,519	1573	917,42	0,0000014767	1753,664	2089,77
2,133545	1190	0,2	0,05	0,005	1585	563	2,519	1573	919,20	0,0000014756	1756,393	2089,77

Список литературы

1. Литейные сплавы и их зарубежные аналоги: Справочник / Е.А. Чернышев. - М.: Машиностроение, 2006. – 336 с.
2. Затвердевание отливок: Г.А. Анисович. – Мн.: Наука и техника, 1979. – 232 с.
3. Покрyтия литейных форм: А.А. Сварика. - М.: Машиностроение, 1977. – 216 с.
4. Техническая термодинамика и основы теплопередачи: А.И. Вейник. – М.: Металлургия. – 1965. – 376 с.
5. Отчет по этапу 1. - по договору №9932/17/07-к-12 от 20.11.2012 в рамках комплексного проекта «Создание семейства двигателей КАМАЗ на альтернативных видах топлива с диапазоном мощностей 300...400 л.с. и потенциалом выполнения перспективных экологических требований».

Галдина Анна Юрьевна – аспирант
Янбаев Руслан Мискадесович – к. т. н.,
 заведующий кафедрой
Янбаев Фатих Мискадесович – к. т. н.,
 начальник отдела
Шестакова Екатерина Александровна –
 ассистент
Шипигин Сергей Вячеславович –
 магистрант

ФГБОУ ВПО «Казанский национальный
 исследовательский технический университет
 им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ)