

УДК: 669–154:669.02/09.001.57

Д.Н. Тогобицкая, В.Ф. Мороз, А.Ю. Гринько

ФИЗИКО–ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОГО ЧУГУНА.

Установлена связь интегральных параметров межатомного взаимодействия (d, Z^Y, tga) физико–химической модели металлических расплавов с ОЦК– подобной структурой со свойствами жидкого чугуна.

Современное состояние вопроса.

Длительность кампании доменной печи в значительной степени определяется стойкостью футеровки горна и лещади. Одной из форм износа футеровки горна и лещади, и особенно углесодержащих огнеупоров, является химический износ, который происходит при взаимодействии чугуна и шлака с углеродом футеровки. Химическому взаимодействию чугуна с углеродом кладки также способствует инфильтрация чугуна в огнеупор. Кроме того, инфильтрация чугуна в огнеупор при колебании температур из–за различия в коэффициентах термического расширения может вызывать термические напряжения, превышающие предел прочности огнеупоров и вызвать разрушение последних и их последующую эрозию (вымывание частиц огнеупора жидкими продуктами плавки). Процесс инфильтрации (пропитки) огнеупоров жидкой фазой, как показано в [1], определяется размером пор огнеупоров, вязкостью, поверхностным натяжением, краевым углом смачивания, плотностью, жидкотекучестью и другими свойствами жидкого чугуна.

Методика исследования. Используя физико–химическую модель металлических расплавов с ОЦК– подобной структурой в работе изучена связь интегральных параметров межатомного взаимодействия (d, Z^Y, tga) с физико–химическими и теплофизическими свойствами жидких чугунов. Методика расчета интегральных параметров описана в работе [2].

Изложение основных материалов исследования.

Анализ изменения плотности жидких чугунов (табл.1) в зависимости от состава и температуры [3] показал наличие тесной корреляционной связи плотности с параметрами межатомного взаимодействия (d, Z^Y, tga) в виде зависимости:

$$\rho = 130,79 - 0,00123t + 17,96d + 372Z^Y + 982,46\text{tga}, (r=0,94) \quad (1)$$

На рис.1 представлены сравнительное сопоставление экспериментальных и рассчитанных значений плотности чугунов.

Поверхностное натяжение чугунов [3,4] (табл.2) в зависимости от Z^Y (химического эквивалента чугуна) и температуры описывается уравнением:

$$\sigma = 13634,53 - 4920,11Z^Y - 4,12t, (r=0,8) \quad (2)$$

Таблица 1– Химический состав и плотность чугунов при T=1500⁰С.

№ п/ п	Химический состав, масс. %					d 10 ⁻¹ мм	Z^Y, e	tg α	$\rho_{\text{эксп.}}$ г/см ³	$\rho_{\text{мод.}}$ г/см ³
	C	Si	Mn	P	S					
1	3,86	2,30	0,80	0,060	0,030	2,3776	1,4322	0,0927	6,62	6,47
2	4,10	2,38	0,35	0,130	0,050	2,3586	1,4361	0,0930	6,38	6,43
3	3,78	2,60	0,69	0,080	0,050	2,3801	1,4366	0,0926	6,35	6,40
4	3,52	2,55	0,50	0,039	0,680	2,9363	1,4378	0,0924	6,52	6,53
5	3,56	2,76	0,58	0,036	0,085	2,3931	1,4317	0,0924	6,62	6,45
6	3,44	2,56	0,22	0,006	0,110	2,4007	1,4160	0,0923	6,60	6,43
7	3,32	2,76	0,56	0,125	0,492	2,4097	1,4352	0,0922	6,49	6,56
8	3,27	2,30	0,50	0,11	0,910	2,4160	1,4299	0,0922	6,79	6,66

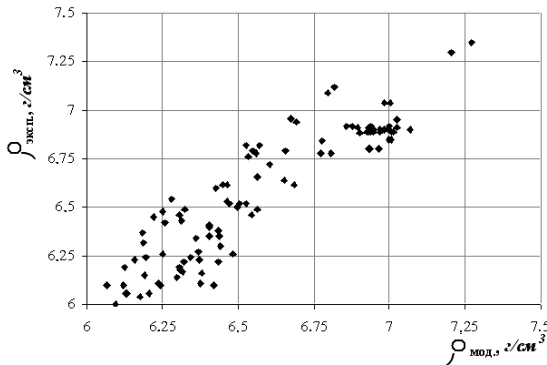


Рис.1. Сопоставление рассчитанных по уравнению (1) и экспериментальных значений плотности чугунов.

Таблица 2– Химический состав и поверхностное натяжение литейных чугунов при различных температурах.

C	Si	Mn	P	S	Z^Y, e	$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{эксп.}}$ мН/м
3,87	1,78	0,51	0,17	0,086	1,4175	1340	865
3,80	2,18	0,51	0,14	0,022	1,4235	1340	1375
3,60	0,40	0,30	0,10	0,090	1,3611	1240	2040
3,60	0,40	0,30	0,55	0,009	1,3728	1240	1900
3,60	0,40	0,30	0,55	0,120	1,3754	1280	1200
4,00	2,25	0,25	0,05	0,030	1,4256	1416	772
3,25	1,20	1,00	0,05	0,042	1,3840	1400	1150
3,55	2,56	0,38	0,66	0,012	1,4359	1360	1150
3,23	2,87	0,55	0,13	0,080	1,4251	1300	870,5
3,42	2,81	0,56	0,13	0,010	1,4285	1270	1579

Следует отметить, что поверхностное натяжение чугунов измерялось различными методами и, по-видимому, с этим связано низкое значение коэффициентов корреляции и разброс точек на рис.2.

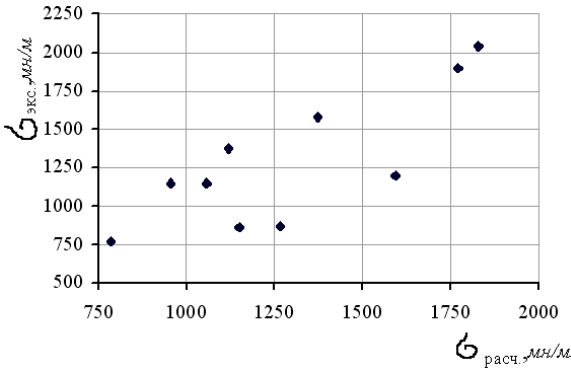


Рис.2. Поверхностное натяжение чугунов.

Краевой угол смачивания жидкими передельными и литейными чугунами (табл.3) различных огнеупоров и графита [3,5–7] описывается разностными параметрами межатомно-

го взаимодействия чугунов и огнеупоров: $\Delta d = d_{\text{чуг}} - d_{\text{огн}}$,

$\Delta Z^Y = Z_{\text{чуг}}^Y - Z_{\text{огн}}^Y$, $\Delta t g \alpha = t g \alpha_{\text{чуг}} - t g \alpha_{\text{огн}}$ в виде выражения:

$$\Theta = 352,54 - 35,63 \Delta d - 49,05 \Delta Z^Y - 56,62 \Delta t g \alpha - 0,147 t, (r=0,83) \quad (3)$$

Сравнение расчетных и экспериментальных значений краевых углов смачивания литейными и передельными чугунами подложек из кварца, корунда, алюмосиликатных огнеупоров и углерода приведено на рис.3. Разброс значений, по-видимому, связан с использованием данных, полученных в различных газовых атмосферах.

Таблица 3– Краевой угол смачивания чугунами подложек из различных огнеупоров.

Δd , 10^{-1} нм	ΔZ^Y , e	$\Delta t g \alpha$	t , °C	Θ , град	Подложка	Среда	$\Theta_{\text{расч.}}$, град
0,6020	0,1462	-0,0290	1200	162	SiO_2	Ar	149
0,6171	0,1438	-0,0291	1200	168	– “ –	– “ –	149
0,6181	0,2017	-0,0295	1350	123	– “ –	– “ –	124
0,7004	0,0883	-0,0302	1350	118	– “ –	N+Ar	127
0,6042	0,1542	-0,0288	1350	121	– “ –	– “ –	127
0,5840	0,1581	-0,0286	1350	118	– “ –	– “ –	127
0,2585	0,3816	-0,0520	1400	116	Al_2O_3	Ar	122
0,2736	0,3792	-0,0521	1400	115	– “ –	– “ –	121
0,5840	0,1581	-0,0286	1350	116	SiO_2	N+Ar	127
1,2577	0,5739	-0,0256	1350	100	C	Ar	83
1,2662	0,5358	-0,0257	1140	108	C	Ar	115
1,2751	0,5792	-0,0258	1140	104	C	Ar	113

0,2593	0,2744	-0,0443	1500	126	муллит	-“-	112
0,3280	0,2024	-0,0388	1500	112	-“-	-“-	113
0,3467	0,1896	-0,0376	1500	106	-“-	-“-	113
0,3477	1,2777	-1,1283	1500	121	-“-	-“-	121
0,3526	0,1801	-0,0371	1500	120	шамот	-“-	113

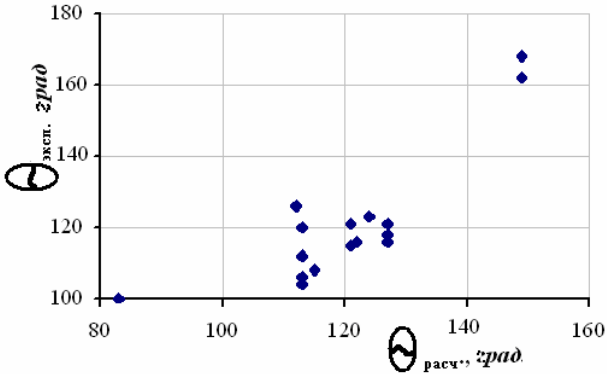


Рис.3– Краевой угол смачивания чугунами различных огнеупоров.

Вязкость и теплопроводность чугунов [3,8] описываются уравнениями:

$$\eta, (Па \cdot с) = 22,512 + 0,298d + 0,917Z^Y - 265,265tg\alpha - 0,0001t, (r=0,9) \quad (4)$$

$$\lambda = 238,96 - 0,0137t + 36,71d - 79,97Z^Y - 1823,05tg\alpha, (r=0,98) \quad (5)$$

Жидкотекучесть чугунов при одних и тех же условиях ее определения зависит от их химического состава, физико-химических свойств – таких как теплосодержание, плотность, вязкость, поверхностное натяжение.

Связь интегральных параметров с жидкотекучестью литейных чугунов [9] описывается уравнением:

$$L, (мм) = 8961,08 - 4338,15d - 4792,94Z^Y + 7,08t, (r=0,99) \quad (6)$$

Опробование полученных зависимостей проведено на чугунах ДП №5 МК Криворожсталь. Химический состав и рассчитанные значения их свойств приведены в табл.4.

Таблица 4– Химический состав чугунов ДП №5 Криворожстали и рассчитанные по уравнениям (1) – (5) их свойства при 1450⁰С.

№ плав-ки	Химический состав чугуна, масс, %					σ , мН/м (2)	ρ , г/см ³ (1)	λ , Вт/(м·град) (5)	Θ , град, (3)
	Si	Mn	S	P	C				
8964	1,13	0,47	0,015	0,074	4,24	3635,62	6,48	23,39	70,14
8890	1,19	0,38	0,026	0,079	4,26	3631,68	6,45	23,26	70,16
8891	1,27	0,35	0,035	0,068	4,29	3618,89	6,51	22,78	70,12
8917	0,92	0,42	0,019	0,083	4,25	3668,58	6,49	23,99	70,40

8949	1,00	0,47	0,020	0,084	4,23	3654,32	6,51	23,77	70,24
8959	0,88	0,49	0,022	0,078	4,24	3668,09	6,50	24,01	70,37
8964	1,13	0,47	0,015	0,074	4,24	3636,10	6,49	23,43	70,13
8993	1,05	0,44	0,020	0,074	4,30	3640,54	6,52	23,18	70,28

Как видно из таблицы, рассчитанные значения свойств находятся в удовлетворительном согласии с их экспериментальными значениями.

Выводы.

Таким образом, полученные зависимости (1) – (6) свойств чугунов от параметров межатомного взаимодействия, являющихся сверткой химического состава, позволяют проводить прогнозную оценку свойств чугунов, определяющих их поведение при взаимодействии с огнеупорами.

1. *Летинских Б.М., Востряков А.А.* Растворение твердых фаз в металлургических расплавах. – М.: Наука. –1978. –148 с.
2. *Приходько Э. В.* Металлохимия многокомпонентных систем. – М.: Металлургия. –1995. – 320 с.
3. *Рабинович Б.В.* Введение в литейную гидравлику. – М: Машиностроение. – 1966. –С.423.
4. *Левин Л.И., Гладышев С.А., Лашин Е.Ф.* Исследование поверхностного натяжения и плотности Fe–C–Si сплавов и доменных литейных чугунов. //Известия Вузов Черная металлургия. – 1968. –№11. –С.126–130
5. *Андронов В.Н., Чекин Б.В., Нестеренко С.В.* Жидкие металлы и шлаки. Справочное издание. –М.: Металлургия. –1997. –128 с.
6. *Питак Н.В., Федорук Р.М., Шуляк Р.С., и др.* Смачивание алюмосиликатных огнеупоров чугуном. // Огнеупоры. –1978. –№5. –С.35–38.
7. *Найдич Ю.В., Колесниченко Г.Ф.* Взаимодействие металлических расплавов с поверхностью алмаза и графита. – Киев: Наукова думка, 1967.–88 с.
8. *Чиркин В.С.* Теплофизические свойства материалов.– М: ГИФМЛ, –1959. – 356 с.
9. *Энциклопедия неорганических материалов.* Киев: Главная редакция Украинской Советской энциклопедии. –1977. –т2. –814 с.

*Статья рекомендована к печати
д.т.н., проф. Э.В.Приходько*