



УДК 621.74

Поступила 12.09.2017

## ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОГНЕУПОРНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА ПРОЦЕССЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ

## RESEARCH AND SIMULATION OF THE INFLUENCE OF REFRACTORY FILLER ON THE PROCESSES OF STRUCTURAL FORMATION OF CORE MIXTURES

*И. Б. ОДАРЧЕНКО, И. Н. ПРУСЕНКО, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь, пр. Октября, 48. E-mail: oda2009@gmail.com*

*I. B. ODARCHENKO, I. N. PRUSENKO, Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoj, Gomel, Belarus, 48, Oktyabrya ave. E-mail: oda2009@gmail.com*

*Представлены результаты исследования, моделирования качественных характеристик огнеупорного наполнителя и структуры стержневых смесей. Определена степень влияния формы зерна огнеупорного наполнителя на формирование прочности стержневых смесей.*

*The results of research, modeling of the quality characteristics of refractory filler and the structure of core mixtures are presented. The degree of influence of the shape of the refractory filler grain on the strength of the core mixtures is determined.*

**Ключевые слова.** *Литейные стержни, качество отливок, внутренние полости отливок, механическое взаимодействие металла и стержня, форма зерна огнеупорного наполнителя*

**Keywords.** *Mold core, quality of castings, internal cavity of the casting, mechanical interaction of the metal and the core, refractory filler shape*

Механическое воздействие жидкого металла на литейный стержень в период заливки, кристаллизации, охлаждения отливки сопровождается образованием внутренних напряжений в «теле» литейного стержня под влиянием гидродинамических, гидростатических нагрузок, а также вследствие затрудненной усадки сплава и термических напряжений в отливке. Также под действием сил трения, возникающих при контакте литейного стержня с потоками жидкого металла, создаются условия для эрозии его поверхности. Такое воздействие в определенных условиях вызывает деформации литейного стержня и ведет к недопустимым изменениям шероховатости, размерной точности внутренних поверхностей и «тела» отливки, а также образованию дефектов: засоров, наростов, трещин, грубых поверхностей. Для предупреждения развития этих дефектов литейный стержень должен представлять собой термически устойчивый объект, обладающий определенным уровнем общей, поверхностной прочности, а также податливости, необходимыми для компенсации напряжений деформации и разрушения.

Данные эксплуатационные свойства литейного стержня являются функцией структурно-механических свойств стержневой смеси, которые формируются исходными формовочными материалами и определяют поведение литейного стержня при контакте с жидким сплавом. При этом структура литейного стержня формируется за счет образования физико-химических связей между отдельными зернами огнеупорного наполнителя. Такие связи образуются при введении связующего, обеспечивающего адгезивно-когезионную связь частиц (рис. 1).

Для большинства современных стержневых смесей именно характер и величина сил когезионного взаимодействия в зоне единичного контакта определяют потенциально-возможные прочностные и пластические свойства структуры литейного стержня, степень реализации которых в целом характеризуется удельным количеством единичных контактов в заданном объеме смеси. С этой точки зрения процессы

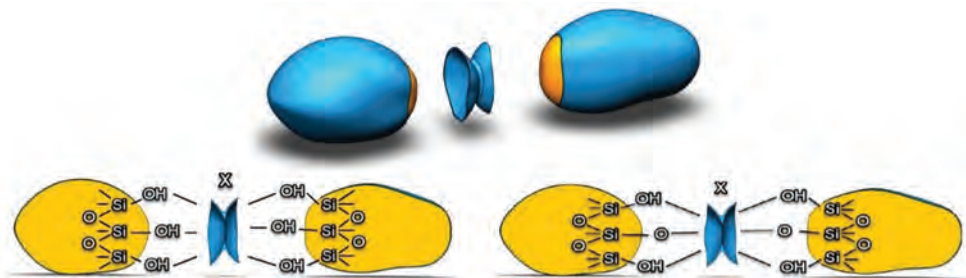


Рис. 1. Химическое взаимодействие зерна песка со связующим компонентом в зоне единичного контакта

формообразования литейного стержня связаны с уплотнением структуры стержневой смеси и соответственно с увеличением количества контактов между зернами огнеупорного наполнителя через оболочку связующего.

Известно [1], что наибольшее количество удельных контактов обеспечивает оптимально рассредоточенный зерновой состав огнеупорного наполнителя. Однако его использование вызывает ряд проблем, связанных с повышенным расходом связующего вещества, резким повышением газотворности и падением газопроводящей способности смеси. Решениям подобных оптимизационных задач уделяется достаточно много внимания, однако в большинстве случаев они связаны с подбором оптимального гранулометрического состава и минимизацией содержания глинистой составляющей. При этом качественным характеристикам огнеупорного наполнителя (форма зерен песка и характер ее распределения в зависимости от дисперсности, наличие прочнозакрепленных примесей на поверхности частиц) отводится второстепенное значение. Вместе с тем, в рамках теории формирования прочности смесей эти характеристики рассматриваются как значительно влияющие на количество удельных контактов в объеме стержневой смеси.

В данной работе исследовали влияние качественных и количественных характеристик огнеупорного наполнителя на формирование прочности стержневой смеси с целью последующего прогнозирования работы литейных стержней, стабильного обеспечения их геометрической и размерной точности, недопущения образования дефектов, вызванных механическим воздействием расплава на литейный стержень.

С этой точки зрения одной из важных гранулометрических характеристик огнеупорного наполнителя является форма его зерен. Принято считать, что форма зерен песка постоянна по фракционному составу в рамках определенной марки и влияет на количество контактов в стержневой смеси, расход связующего материала. Для качественной оценки формовочных песков было произведено микроскопическое изучение их зерен в зависимости от среднего размера. При этом для исследования были использованы наиболее распространенные марки песков, применяемые на литейных предприятиях Республики Беларусь: 1К<sub>2</sub>О<sub>1</sub>016 (Гомельский ГОК), 2К<sub>2</sub>О<sub>1</sub>02 (Староверовский карьер ООО ПКФ «СТАРК»), 1К<sub>2</sub>О<sub>2</sub>02 (ООО «БАЛКУМ», Нижегородская обл.). В результате чего была установлена зависимость степени округлости зерна огнеупорного наполнителя от его величины (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Форма зерен песков различных месторождений

Средний размер зерен песка, мм	Форма зерна песка, %								
	1К <sub>2</sub> О <sub>1</sub> 016			2К <sub>2</sub> О <sub>1</sub> 02			1К <sub>2</sub> О <sub>2</sub> 02		
	округлая	полуокруглая	угловатая	округлая	полуокруглая	угловатая	округлая	полуокруглая	угловатая
1	21	52	27	24	45	31	26	44	30
0,63	20	52	28	22	44	34	24	42	34
0,4	18	50	32	21	42	37	23	39	38
0,315	15	45	40	19	40	41	20	38	42
0,2	14	42	44	16	39	45	18	36	46
0,16	12	39	49	9	32	59	14	33	53
0,1	9	33	58	5	24	71	10	27	63
0,063	4	25	71	3	19	78	5	22	73
0,05	0	15	85	0	10	90	2	16	82
Поддон	0	9	91	0	4	96	0	7	93

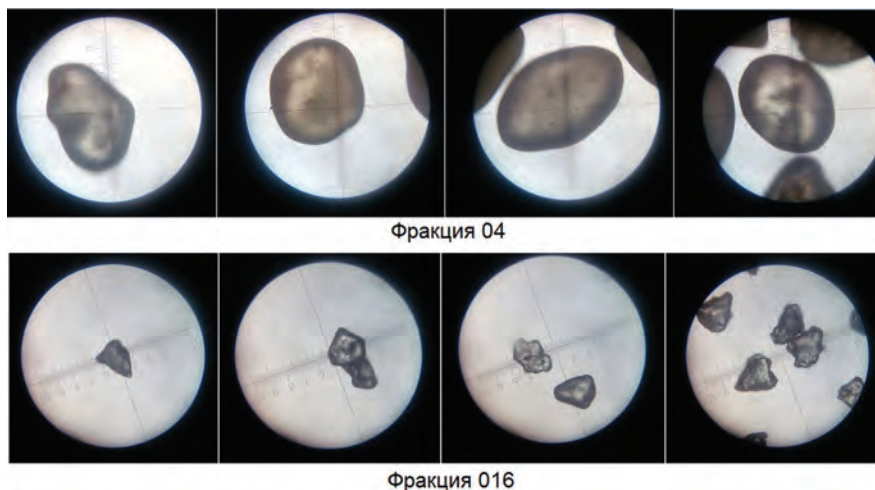


Рис. 2. Форма зерен огнеупорных наполнителей фракций 04, 016.  $\times 20$

Качественный анализ частиц выделенного среднего размера показал, что для зерен песков фракций 1, 063, 04, 0315, 02 наиболее характерна полуокруглая окатанная форма, а для зерен более мелких фракций – преимущественно угловатая (рис. 2).

Такая закономерность характерна для всех исследуемых марок формовочных песков и данный факт необходимо учитывать при прогнозировании условий формирования прочности литейных стержней.

Для проверочной оценки влияния формы зерна огнеупорного наполнителя на прочность стержневой смеси было проведено проверочное исследование, включающее применение навесок из искусственно созданных монофракционных песков, состоящих из частиц только округлой и только угловатой формы. Зерновой состав огнеупорного наполнителя подбирали в соответствии с маркой  $1K_2O_1016$  Гомельского ГОК средним размером 0,2 мм, в качестве связующих компонентов использовали фурановую смолу *Askuran 381* и катализатор *Harter rapid 03*. При этом для каждого образца количество связующего материала в составе стержневой смеси строго контролировалось и составляло: смолы – 0,8%, катализатора – 0,4% на 100% массы песка. В результате проведенного исследования было установлено, что прочность образцов с округлой формой зерен заметно уступает прочности образцов с угловатой (табл. 2).

Таблица 2. Прочность образцов в зависимости от формы зерен песка

Форма зерна песка, из которого изготовлен образец	Прочность на разрыв через 1 ч, кПа					Среднее значение	Прочность на разрыв через 24 ч, кПа					Среднее значение
	277	278	281	274	276		439	445	443	447	442	
Угловатая	277	278	281	274	276	277	439	445	443	447	442	443
Округлая	254	248	245	247	250	249	385	387	385	392	390	388

Микроскопический анализ показал, что зерна песка угловатой формы в сравнении с округлыми характеризуются более плотным прилеганием друг к другу при уплотнении, ввиду этого увеличивается площадь контакта манжеты связующего с зёрнами песка, что приводит к более высокой прочности стержневой смеси.

Данный вывод полностью согласуется с результатами компьютерного моделирования структуры стержневой смеси в CAD- и CAE-программах. Анализ структурообразования стержневой смеси при ее уплотнении позволил установить общее количество контактов зерен огнеупорного наполнителя в заданном объеме стержневой смеси. Для моделирования структуры стержневой смеси были разработаны трехмерные модели зерен песка округлой и угловатой формы четырех фракций (01, 016, 02, 04) (рис. 3).

Генерированием частиц огнеупорного наполнителя заданной формы и среднего размера имитировался процесс заполнения виртуальной емкости объемом  $1 \text{ см}^3$ , в результате чего были сформированы трехмерные модели структуры стержневой смеси (рис. 4).

При этом моделировалась динамика изменения количества контактов во времени. В каждом исследовании заданный объем смеси формировался в течение 8 с, после чего подвергался воздействию сил прессования до плотности смеси  $1,45 \text{ г/см}^3$ . Подсчет числа контактов осуществлялся с применением контактных векторов (рис. 4, б) между частицами песка (рис. 5).

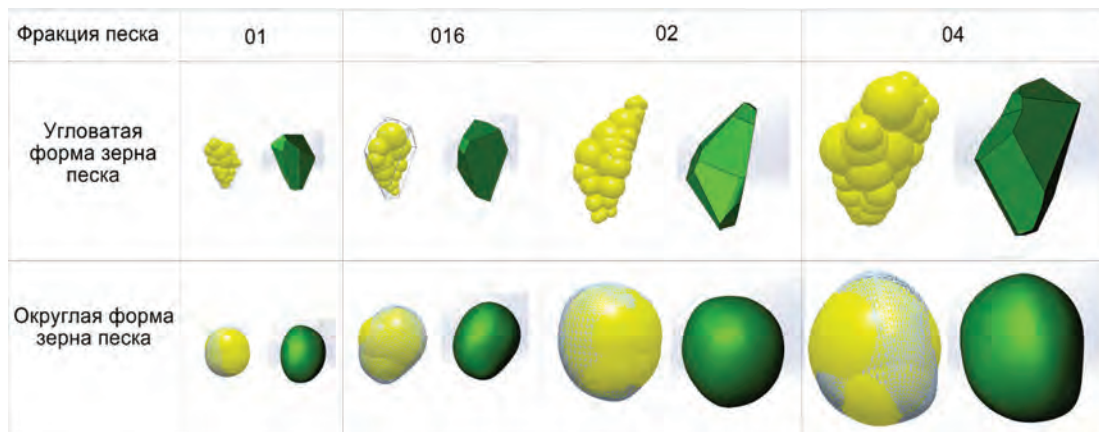


Рис. 3. CAD-модели зерен песка



Рис. 4. Фрагменты моделей стержневой смеси в уплотненном состоянии зерен песка фракции 02: *a* – с применением угловатых зерен песка; *б* – с применением округлых зерен песка

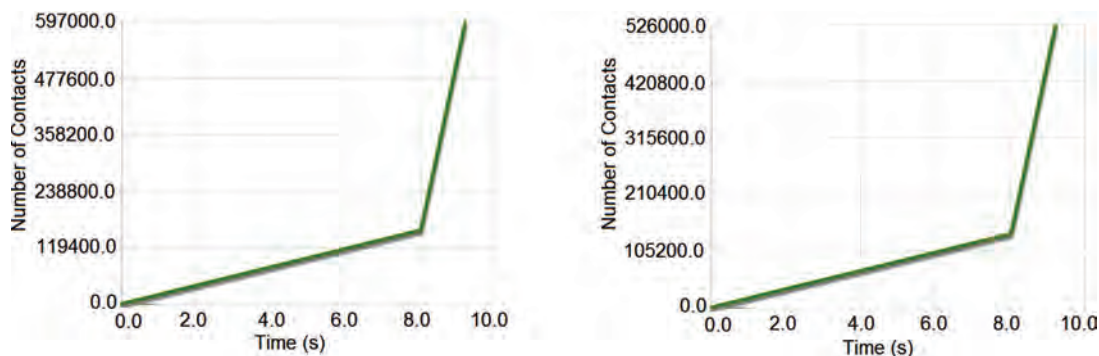


Рис. 5. Зависимость количества реализуемых контактов между частицами округлой и угловатой формы формовочного песка средним размером 0,2 мм от времени: *a* – частицы угловатой формы; *б* – частицы округлой формы

В результате проведенных исследований было установлено, что для частиц песка угловатой формы характерно большее количество реализованных контактов в единице объема уплотненной смеси в сравнении с частицами округлой формы. При этом следует заметить, что с уменьшением удельной поверхности частиц количество реализованных контактов уменьшается (табл. 3).

Таблица 3. Концентрация контактов в единице объема стержневой смеси

Средний размер зерен песка, мм	01	016	02	04
Концентрация контактов в объеме стержневой смеси для частиц угловатой формы шт/см <sup>3</sup>	4001000	1211000	597000	79000
Концентрация контактов в объеме стержневой смеси для частиц округлой формы шт/см <sup>3</sup>	3958000	1134000	526000	64000

Необходимо отметить, что угловатая форма зерен песка характеризуется большей удельной поверхностью их контактов друг с другом, однако характеризуется низкой пористостью и, следовательно, газопроницаемостью смеси, изготовленной с применением данного песка.



Кроме того, следует учитывать, что для зерен угловатой формы более характерна шершавая поверхность, часто покрытая оболочкой другого вещества (глинистая составляющая и низкоогнеупорные примеси), что оказывает существенное влияние на формирование прочности сцепления связующего вещества между зернами огнеупорного наполнителя. Исследования показали, что примесные минералы блокируют контакт зерна песка со связующим, что влияет главным образом на формирование адгезионной прочности, однако в виду преобладающего когезионного характера разрушения образцов из химически твердеющих смесей это не имеет принципиального значения. При этом надо понимать, что наличие глинистой составляющей и низкоогнеупорных примесей в составе стержневой смеси приводит к увеличению связующего компонента и является одной из причин образования пригара на внутренних поверхностях отливки.

Проведенный анализ позволяет установить существенную зависимость прочности литейного стержня от качественных характеристик огнеупорного наполнителя и, тем самым, открывает возможности ее регулирования. Для стабилизированного протекания процессов механического взаимодействия расплава и литейного стержня гранулометрический состав огнеупорного наполнителя должен подбираться не только с учетом размера, характера распределения зерен песка, но и с учетом формы и характера поверхности частиц. Данный подход необходим для формирования структуры стержневой смеси, обеспечивающей стойкость к деформациям и возникновений механических напряжений при контакте с расплавом.

#### **Литература**

1. **Бречко А. А.** Формовочные и стержневые смеси с заданными свойствами/ А. А. Бречко, Г. Ф. Великанов. Л.: Машиностроение. 1982. 216 с.