

УДК 621.74

Поступила 21.11.2017

РОЛЬ ОГНЕУПОРНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ В ПРОЦЕССАХ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ

THE ROLE OF REFRACTORY FILLER IN 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, компьютерного моделирования влияния формы зерна песка на формирование прочности стержневой смеси. Установлена существенная зависимость прочности литейного стержня от качественных характеристик огнеупорного наполнителя.

The results of research, computer simulation of the influence of the shape of the grain of sand on the formation of the strength of the core mixture are presented. An essential dependence of the strength of the core on the quality characteristics of the refractory filler is established.

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.*

Качество внутренних полостей отливок формируется в результате процессов, происходящих при комплексном взаимодействии материалов двух различных сред в зоне непосредственного контакта с литейным стержнем. Литейный стержень подвергается воздействию механических нагрузок, обусловленных гидродинамическим напором потоков и статическим давлением жидкого металла, находящегося в полости литейной формы, а также вследствие затрудненной усадки сплава и термических напряжений в отливке. В результате данного воздействия жидкого металла на литейный стержень существует вероятность деформирования, эрозийного разрушения его поверхности и, как следствие, изменение шероховатости, размерной точности отдельных элементов тела отливки в сравнении с заданными, образования засоров, грубой поверхности отливки, трещин. Для предупреждения развития данных дефектов литейный стержень должен представлять собой термически устойчивый объект, обладающий определенным уровнем механических свойств.

Прочностные и пластические свойства литейного стержня при контакте с жидким сплавом определяются его структурой, характеристиками и свойствами исходных компонентов стержневой смеси. Структура стержневой смеси формируется за счет образования физико-химических связей между отдельными зернами огнеупорного наполнителя. Такие связи образуются при введении связующего, обеспечивающего адгезионно-когезионную связь частиц (рис. 1).

Следует заметить, что потенциально-возможные прочностные и пластические свойства структуры стержневой смеси литейного стержня для большинства современных стержневых технологий определяются именно характером и величиной сил когезионного взаимодействия в зоне единичного контакта и удельным количеством таких контактов в заданном объеме смеси. В связи с этим процессы формирования, используемые в изготовлении литейных стержней, направлены на обеспечение оптимального уплотнения структуры стержневой смеси, соответствующей достижению требуемого количества контактов между зернами огнеупорного наполнителя через оболочку связующего.

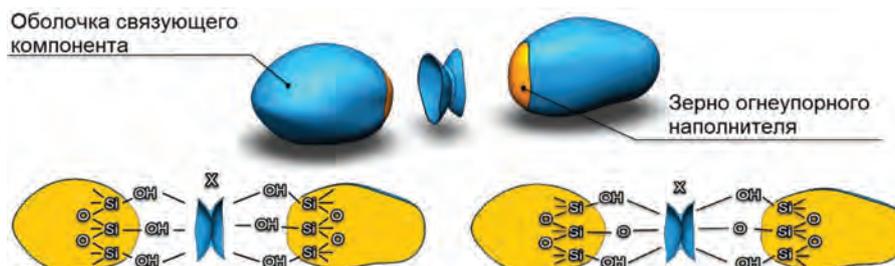


Рис. 1. Модель химического взаимодействия зерна песка со связующим компонентом в зоне единичного контакта

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, падением газопроводящей способности смеси и требует оптимизации. 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 прочно закрепленных 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.

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 проведено 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: 1K₂O₁016 (Гомельский ГОК), 2K₂O₁02 (Староверовский карьер ООО ПКФ «СТАРК»), 1K₂O₂02 (ООО «БАЛКУМ», Нижегородская обл.). В результате была установлена зависимость степени округлости зерна огнеупорного наполнителя от его величины (табл. 1).

Таблица 1. Форма зерен огнеупорных наполнителей различных месторождений

Средний размер зерен песка, мм	Форма зерна песка, %								
	1K ₂ O ₁ 016			2K ₂ O ₁ 02			1K ₂ O ₂ 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

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 1K₂O₁016 Гомельского

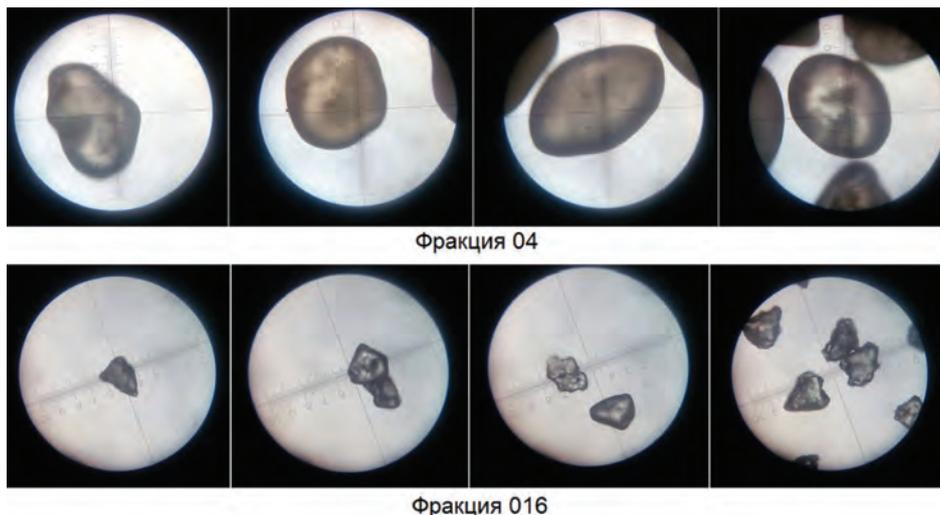


Рис. 2. Микроскопический анализ формы зерен огнеупорных наполнителей фракций 04, 016. ×20

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).

Т а б л и ц а 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, в виду 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 САД- и САЕ-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 форм четырех фракций (01, 016, 02, 04) (рис. 3).

Генерированием частиц огнеупорного наполнителя заданной формы и среднего размера имитировался процесс заполнения виртуальной емкости объемом 1 см³, в результате чего были сформированы трехмерные модели структуры стержневой смеси (рис. 4, а, б).

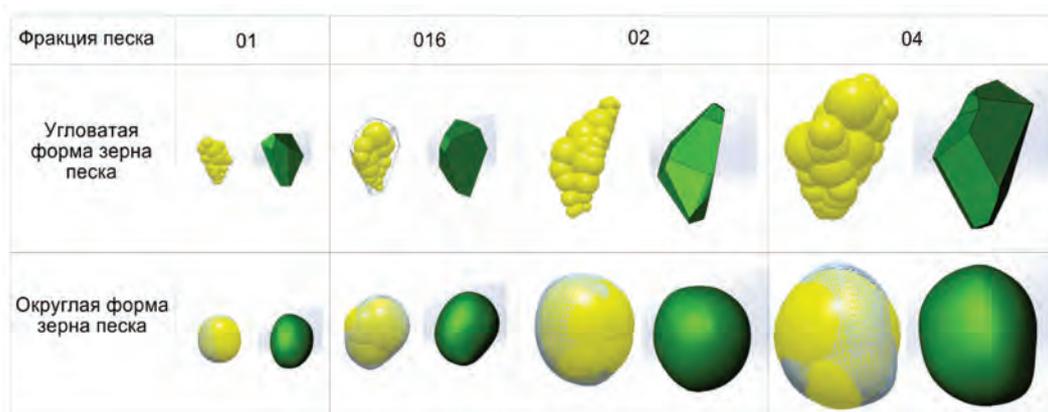


Рис. 3. Трехмерные модели зерен песка



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

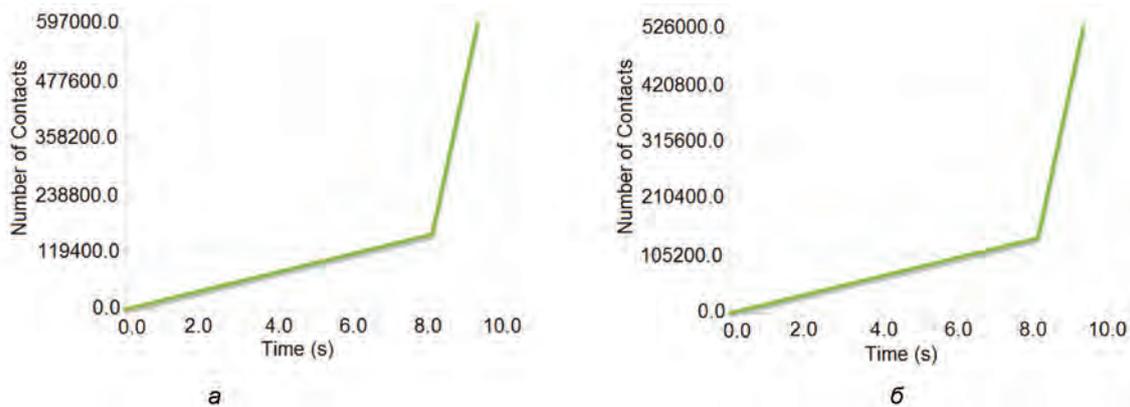


Рис. 5. Зависимость количества реализуемых контактов между частицами округлой и угловатой формы формовочного песка средним размером 0,2 мм от времени: *a* – частицы угловатой формы; *б* – частицы округлой формы

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 г/см³. Подсчет числа контактов осуществлялся с применением контактных векторов (рис. 4, б) между частицами песка (рис. 5).

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).

Т а б л и ц а 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 ³	4001000	1211000	597000	79000
Концентрация контактов в объеме стержневой смеси для частиц округлой формы, шт/см ³	3958000	1134000	526000	64000

Необходимо отметить, что угловатая форма зерна 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, расширяет 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.

References

1. **Brechko A. A., Velikanov G. F.** *Formovochnye i sterzhnevye smesi s zadannymi svoystvami* [Molding and core mixtures with desired properties]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1982. 216 p.