

УДК 621.742

Федоров Н. Н.

ВЛИЯНИЕ КВАРЦЕВЫХ ПЕСКОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЕСЧАНО-БЕНТОНИТОВЫХ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ

Технология изготовления стального и чугунного литья массой от нескольких килограммов до нескольких десятков килограммов в сырых песчано-бентонитовых формах в современных автоматизированных литейных цехах крупносерийного и массового производства занимает доминирующее положение по сравнению с другими видами литья.

В современных технологических процессах литья с применением сырых песчано-бентонитовых форм, например Сейатцу-процесс [1, 2], в качестве связующего материала литейных форм применяются высококачественные бентонитовые глины, а в качестве огнеупорного наполнителя традиционно применяют недефицитные кварцевые пески.

Известно, что к наполнителям формовочных смесей предъявляются следующие требования: высокая огнеупорность, негызотворность, возможность многократного повторного использования, недефицитность, низкая себестоимость. По химическому составу наполнитель должен иметь максимальное содержание основного компонента и минимальное вредных примесей. Таким требованиям отвечают украинские формовочные пески, из которых наиболее перспективными являются пески Ореховского и Староверовского месторождений. Кроме них, на отечественных литейных заводах в качестве огнеупорных наполнителей также применяются Вольногорский и Днепровский речной пески.

Производственная и лабораторная практика показывает, что применение различных разновидностей кварцевых песков в изготовлении песчано-бентонитовых формовочных смесей (ПБС) обеспечивает различие в технологических свойствах готовых смесей. Особенно отмечается различие в оптимальном влагосодержании и значении «мокрой» прочности при испытании «сырых» образцов на разрыв в зоне конденсации влаги.

С целью установления влияния кварцевых песков с различными характеристиками на технологические свойства ПБС в данной работе были исследованы:

- изменение свойств формовочных смесей с разными наполнителями в зависимости от изменяющегося влагосодержания;
- поверхностные свойства кварцевых песков различных месторождений и их водопоглощающая способность.

В качестве связующего для приготовления формовочных смесей с разными наполнителями применялись два вида бентонитовых глин: активированный Константиновский бентонит марки ПТ₁А производства ПАО «Завод утяжелителей» и активированный Дашуковский бентонит аналогичной марки производства ПАО «Дашуковские бентониты».

Для исследований был взят Ореховский песок марки 5К₂О₂02 (ГОСТ 2138-91). Выбор менее качественной марки Ореховского песка был осуществлен с той целью, чтобы результаты исследований с этим песком могли быть распространены на более качественные марки формовочных песков Ореховского карьера (2К₃О₁025 и 3К₃О₁025). Марка Староверовского песка, взятого для исследований – 2К₁О₁025, как основная для этого карьера. Также для сравнительной оценки использовались Вольногорский (2К₁О₂016) и Днепровский речной (1К₁О₂03) кварцевые пески.

Сравнительный анализ наиболее востребованных в литейном производстве Ореховского и Староверовского песков (табл. 1) показывает, что оба они относятся к группе кварцевых формовочных песков. Глинистая составляющая в Ореховском песке, по сравнению со Староверовским, преобладает более чем в четыре раза, что относит Ореховский песок к последней (пятой) группе кварцевых песков в зависимости от содержания глинистой составляющей. Староверовский песок является более однородным по зерновому составу (92,94 %) с преобладанием фракции 0,20 (83,7 %). Гранулометрический состав Ореховского песка

более рассредоточен по фракциям, что обуславливает его меньшую однородность (75,88 %). Преобладающим зерном в Ореховском песке также является фракция 0,20 (51,40 %). Кроме того, Ореховский песок имеет сравнительно меньший средний размер зерна, чем Староверовский (0,231 против 0,247 мм соответственно). Обе разновидности песков имеют округлую и полуокруглую форму зерен.

Таблица 1

Сравнительная характеристика песков Ореховского и Староверовского месторождений

Песок	Массовая доля глинистой составляющей, %	Массовая доля диоксида кремния, %	Коэффициент однородности, %	Средний размер зерна, мм	Модуль мелкости	Марка по ГОСТ 2138-91
Ореховский	1,54	98,46	75,88	0,231	57,72	5К ₂ О ₂ 02
Староверовский	0,34	99,66	92,94	0,247	54,00	2К ₁ О ₁ 025

Значительное влияние на свойства ПБС оказывает их влагосодержание: одни свойства с повышением влажности повышаются, другие, наоборот, снижаются (рис. 1–3). Это создает трудности при выборе оптимальной влажности при работе с разными формовочными материалами.

При исследовании свойств ПБС с регламентированным по ГОСТ 28177-89 содержанием бентонита – 5 мас. ч., влагосодержание смесей изменялось в пределах 2...4 мас. ч. Смесей приготавливались в лабораторных бегунах при длительности перемешивания 20 мин. для обеспечения качественного распределения бентонита и получения стабильных свойств. Составы опытных ПБС представлены в табл. 2.

Таблица 2

Составы ПБС для исследования влияния влагосодержания

Номер ПБС	Состав смеси, мас. ч.			
	Ореховский песок	Староверовский песок	Дашуковский бентонит	Константиновский бентонит
1	95	–	5	–
2	95	–	–	5
3	–	95	5	–
4	–	95	–	5

Из представленных на рис. 1 зависимостей, можно сделать вывод, что при увеличении содержания влаги в ПБС прочность на сжатие в сыром состоянии в начале увеличивается, затем уменьшается. Водные пленки, образующиеся на поверхности глинистых частиц, при некотором определенном количестве воды (2,5 мас. ч.) способствуют наиболее полному проявлению поверхностных сил сцепления. В этом случае связь между частицами наполнителя и глинистых частиц обусловлена образованием моста, что обеспечивает наибольшую прочность ПБС. При дальнейшем увлажнении бентонита, вода начинает играть роль «смазки», уменьшающей эффект взаимного притяжения частиц, что приводит к снижению прочности [3]. Оптимальное влагосодержание ПБС с разными бентонитами и наполнителями для обеспечения максимальных прочностных характеристик смесей составляет 2,5 мас. ч.

Прочность на сжатие в сыром состоянии практически одинакова для смесей с Дашуковским и Константиновским бентонитами (рис. 1). Из данных рис. 1 видно, что исходная прочность смесей со Староверовским песком меньше, чем с Ореховским (0,084...0,086 МПа против 0,093...0,096 МПа), что объясняется увеличенным содержанием глинистой составляющей в Ореховском песке. Кроме того, Ореховский песок имеет меньший коэффициент однородности, т. е. более рассредоточенный фракционный состав, что обеспечивает большую плотность контактной поверхности зерен этого наполнителя, и, следовательно, большую прочность.

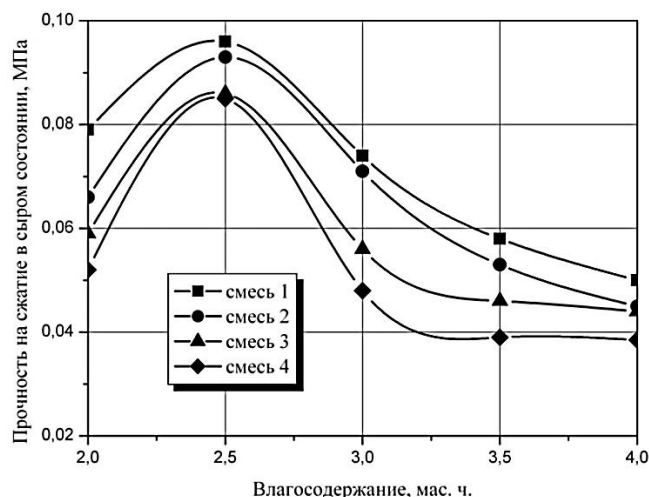


Рис. 1. Залежність міцності на стискання в сирому стані ПБС від вологості

Характер залежності газопроникності ПБС від вологості сумішей як з Дашуковським, так і з Константиновським бентонітами практично однаковий (рис. 2). З даних рис. 2 видно, що для досліджуваних сумішей з збільшенням вологості газопроникність спочатку збільшується, оскільки вода згладжує поверхню зерен піску, а потім зменшується, за рахунок того, що надлишкова вода зменшує переріз каналів і пор формувальних сумішей.

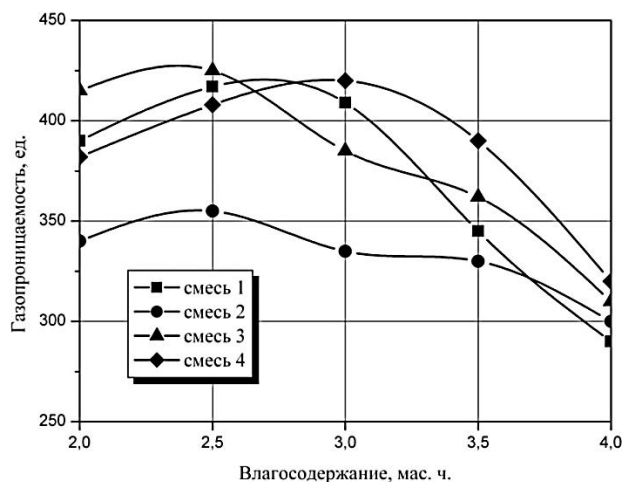


Рис. 2. Залежність газопроникності ПБС від вологості

Газопроникність сумішей на основі Староверовського піску вище, ніж сумішей на основі Ореховського, що пояснюється більшим середнім діаметром зерна і меншим вмістом глинистої складової в Староверовському піску. Більшій газопроникності сумішей з Староверовським піском також сприяє і висока однорідність його зернового складу. В цілому, газопроникність досліджуваних ПБС відповідає вимогам.

Більше впливу на якість лиття надає поверхнева міцність сумішей, оскільки динамічне вплив струї металу сприймається, в першу чергу, поверхневими шарами форми. Поверхнева міцність, визначена за величиною осипаності, для сумішей з різними бентонітами відповідає нормативному значенню. Цей показник досягає мінімальних вимог значень – 0,4...0,8 %. Найменше значення осипаності продемонструвала суміш з Ореховським піском і Константиновським бентонітом – 0,43 % при 4 мас. ч. вологи; найбільше значення осипаності встановлено для суміші з Староверовським піском і Дашуковським бентонітом – 0,85 % при тій же вологості.

Максимальная прочность в зоне конденсации влаги для смесей с двумя разновидностями бентонитов проявляется при увеличенном влагосодержании (3,5 мас. ч.), по сравнению с влагосодержанием, необходимым для обеспечения максимальной прочности на сжатие в сыром состоянии (2,5 мас. ч.).

Дашуковский бентонит обеспечивает смеси более низкую прочность в зоне конденсации влаги (рис. 3) по сравнению с Константиновским, при этом максимальное значение этого свойства проявляется для смесей со Староверовским песком.

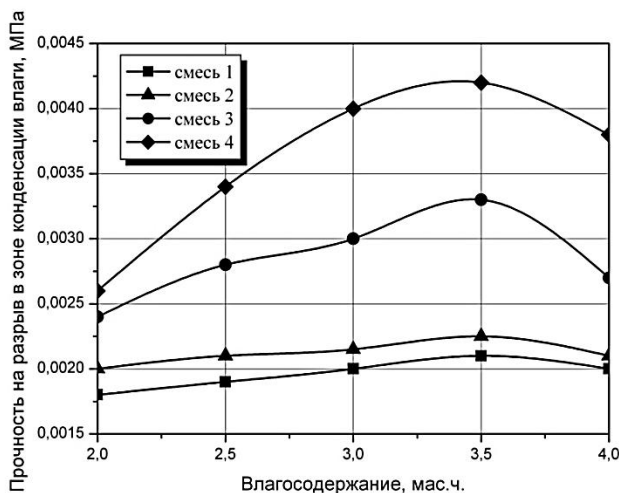


Рис. 3. Зависимость прочности на разрыв в зоне конденсации влаги ПБС от влагосодержания

Прочность в зоне конденсации влаги для двух бентонитов со Староверовским песком достаточно высокая (0,033...0,042 МПа), что благоприятно влияет на противоужиминные свойства смесей с этим наполнителем. Близкие значения показателя прочности в зоне конденсации влаги показали и смеси с разными бентонитами с Вольногорским песком (0,032...0,035 МПа) и Днепровским песком (0,035...0,044 МПа).

Для смесей с Ореховским песком были установлены самые минимальные значения прочности в зоне конденсации влаги (0,021...0,023 МПа), что, вероятно, объясняется особенностями поверхностных свойств зерен этого наполнителя.

Известно [3], что прочность ПБС на разрыв в зоне конденсации влаги, прежде всего, зависит от преобладания в ионообменном комплексе бентонитовой глины катионов Na^+ . Путем химической активации бентонита можно обеспечить сравнительно высокие значения «мокрой» прочности смеси. В нашем эксперименте применялся только активированный бентонит. Поэтому причиной низкой «мокрой» прочности смеси с Ореховским песком можно признать особенности распределения воды на поверхности песчинок этого наполнителя.

Оценка водопоглощающей способности, т. е. количества влаги, которое прочно удерживается на поверхности частиц наполнителя, производилась по следующей методике. Песок увлажнялся избыточным количеством воды. Обильно смоченный песок помещался в пластиковую пробирку, которая затем помещалась в центрифугу типа ЦЛК-1. Пробирка вращалась на центрифуге с частотой 1000 мин^{-1} в течение 3 мин. Во время центрифугирования избыточная вода оттеснялась на дно пробирки и через отверстия в днище вытеснялась наружу. На поверхности зерен песка оставалась лишь та часть воды, которая прочно удерживалась на поверхности частиц наполнителя силами адгезии. После центрифугирования навеска песка просушивалась до постоянной массы. Численное значение водопоглощающей способности песка определяли по разнице масс навески до и после просушивания. Установленные по описанной методике значения водопоглощающей способности исследуемых песков представлены на рис. 4.

Сопоставляя полученные значения прочности смесей в зоне конденсации влаги и данные рис. 4, можно констатировать, что чем большее количество воды удерживается на поверхности песчинок, тем меньше «мокрая» прочность смеси и, следовательно, тем больше вероятность образования на отливках поверхностных дефектов типа ужимин.

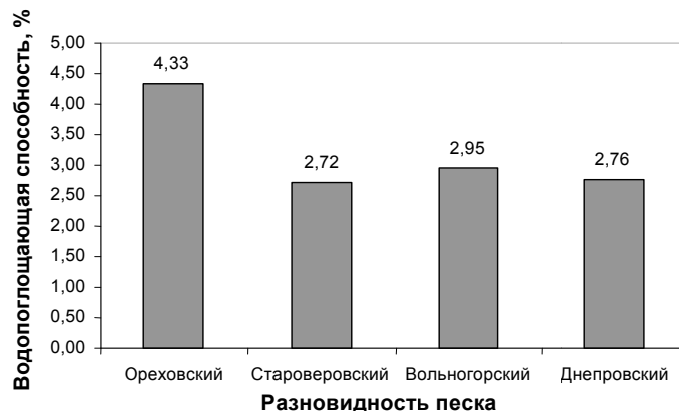


Рис. 4. Водопоглощающая способность кварцевых песков

Для сравнительной оценки влияния водопоглощающей способности кварцевых песков различных разновидностей на качество плоских поверхностей отливок провели следующий эксперимент. В сырые песчаные формы, изготовленные из смесей с Константиновским бентонитом и Ореховским, Староверовским, Днепроовским, Вольногорским кварцевыми песками, заливали серый чугун при температуре 1420°C . Фотоснимки полученных экспериментальных отливок в форме брусков $250 \times 200 \times 20$ мм с развитой горизонтальной поверхностью после выбивки и очистки приведены на рисунке 5. Верхняя по отношению к горизонту плоскость плит, полученных в формах из смесей со Староверовским, Днепроовским и Вольногорским песками сформировались без поверхностных дефектов, а плоскость плиты, полученной в форме из смеси с Ореховским песком была поражена значительным количеством ужимин. Очевидно, что образующаяся при нагреве теплом жидкого металла зона конденсации влаги на поверхности формы, изготовленной из смеси на основе Ореховского песка с повышенной водопоглощающей способностью, имеет большее количество поверхностной воды и ослабленную прочностную связь между частицами наполнителя. Таким образом, положение о пропорциональной связи между водопоглощающей способностью песка и вероятностью образования на отливках поверхностных дефектов типа ужимин получило экспериментальное подтверждение.

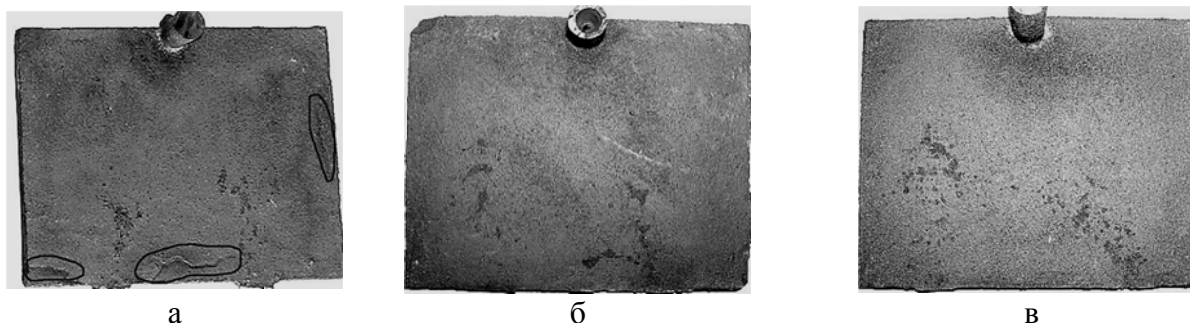


Рис. 5. Чугунные отливки, полученные в формах из смесей с разными песками: а – с Ореховским песком; б – со Староверовским песком; в – с Днепроовским песком

С помощью пневматического поверхностемера типа Т-3 установили, что удельная поверхность Ореховского песка существенно выше, чем Староверовского, Вольногорского и Днепроовского (рис. 6).

Изучение под бинокулярным микроскопом показало, что зерна Ореховского песка имеют более пористую поверхность, чем зерна песков других разновидностей. Очевидно, что определенная часть вводимой в смесь воды, дополнительно расходуется на капиллярное насыщение трещин и других поверхностных несплошностей Ореховского песка. Соответственно для получения необходимой пластификации бентонита общее содержание воды в смеси с таким песком необходимо увеличивать. Как избыточное количество влаги на поверхности отдельных зерен, так и общая повышенная влажность смеси, очевидно, и являются причинами снижения ее «мокрой прочности».

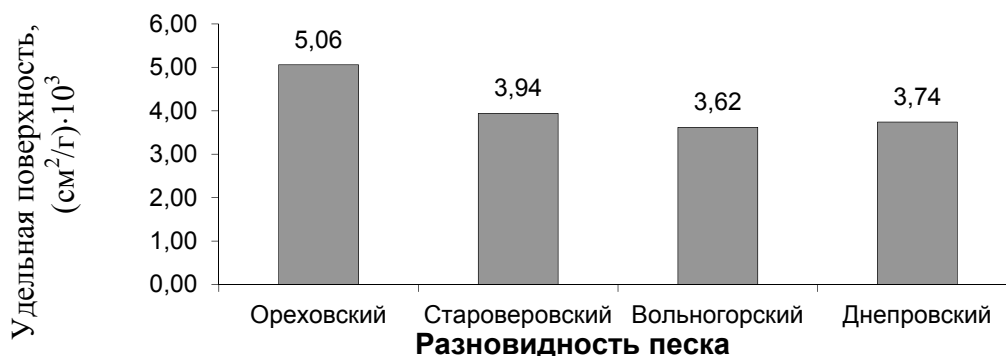


Рис. 6. Удельная поверхность кварцевых песков различных месторождений

Как известно, при постоянном содержании бентонита в смеси, чем меньше зернистость применяемого кварцевого песка, тем большее содержание воды необходимо для достижения заданной прочности формовочной смеси. Отсюда можно предположить, что применение в литейных цехах мелкозернистых песков с повышенной водопоглощающей способностью при изготовлении отливок с развитыми плоскими поверхностями повышает вероятность образования на них поверхностных дефектов типа ужимин.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования ПБС с разными кварцевыми песками отечественного производства позволяют констатировать следующее:

1. Наиболее востребованные в литейном производстве Ореховский и Староверовский кварцевые формовочные пески, характеризующиеся высокой однородностью, оказывают различное влияние на формирование комплекса технологических свойств сырых ПБС, в частности, прочности на разрыв в зоне конденсации влаги.

2. Вероятность образования поверхностных дефектов на отливках, получаемых в сырых песчано-бентонитовых формах, помимо прочих факторов, зависит и от поверхностных свойств применяемых кварцевых песков. Эту зависимость можно количественно оценить по водопоглощающей способности песков. Из кварцевых песков украинских месторождений наибольшей водопоглощающей способностью обладает Ореховский песок. Поэтому при производстве отливок, к которым предъявляются особые требования к обеспечению качественной и бездефектной поверхности, этот песок необходимо заменять другими наполнителями с минимальными значениями водопоглощающей способности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шеремет А. Н. Запуск осенью 2009 года на ЛЛМЗ самой производительной в Восточной Европе опочной АФЛ фирмы HWS-Sinto, Германия / А. Н. Шеремет // *Литье Украины*. – 2009. – № 12. – С. 6–13.
2. Буданов Е. Н. Производство алюминиевых отливок по Сейатцу-процессу на заводах Голландии / Е. Н. Буданов, И. А. Мельников // *Литье Украины*. – 2009. – № 12. – С. 26–34.
3. Илларионов И. Е. Формовочные материалы и смеси : монография / И. Е. Илларионов, Ю. П. Васин. – Чебоксары : Изд-во Чуваш. Ун-та, 1992. – Ч. 1. – 223 с.