

УДК 502.1(075.8): 621.74

Шалевская И. А., Гутько Ю. И.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ

Одной из главных проблем литейного производства по отрицательному влиянию на здоровье человека и состояние окружающей среды остается экология, так как при выплавке литейных сплавов, изготовлении форм и стержней, заливке и выбивке литейных форм, очистке отливок выделяется значительное количество пыли, вредных газов и образуются твердые промышленные отходы.

В решении проблемы утилизации отходов важным и целесообразным является комплексный подход в ее реализации, заключающийся в рассмотрении вопросов улавливания, транспортирования, накопления, обезвреживания и утилизации отходов. При изготовлении 1 т отливок в атмосферу поступает до 50–70 кг пыли, 2–3 кг оксида углерода (при плавке чугуна в вагранке 200–250 кг), 1–2 кг оксида азота и серы, 0,5–1,5 кг фенола, формальдегидов, ароматических углеводородов, аммиака, цианидов, в водный бассейн поступает до 3 м³ сточных вод, а в отвалы вывозится до 6 т отработанных формовочных смесей. Metallургические шлаки – ценное сырье для производства строительных материалов. Однако эти материальные ресурсы используются пока недостаточно [1].

Отходы литейного производства содержат химические вещества, и это является барьером на пути их переработки и повторного использования. Сегодня на отходы литейного производства приходится большая часть поступающих на свалки промышленных отходов.

Экологические проблемы возникают в первую очередь из-за поступающих на свалки литейного песка, шлака и пыли из фильтрующих устройств. Пыль из фильтрующих устройств классифицируется как опасные отходы.

С технической точки зрения большая часть отходов литейного производства может быть переработана и повторно использована.

Современное промышленное производство стремится к развитию безотходных технологических процессов, более широкому использованию в производстве всевозможных отходов и побочных продуктов. Оно направлено на охрану природы, т. е. на поддержание рационального взаимодействия между деятельностью человека и окружающей средой, рациональное использование природных ресурсов, предупреждение вредного влияния на природу. Экономическая целесообразность и социальная привлекательность предприятий и комплексов, которые практически полностью используют сырье и не загрязняют окружающую среду, очевидны. При разработке литейной технологии имеется возможность широко использовать как отходы литейного производства, так и отходы, а также побочные продукты других производств.

Серьезной проблемой литейного производства остается утилизация твердых отходов литейного производства, из которых 90 % составляют отработанные формовочные и стержневые смеси, относящиеся к 4-й категории опасности. Эти материалы составляют основную долю отходов литейного производства. Большую их часть регенерируют, не подлежащие регенерации горелые земли также можно использовать.

Наиболее перспективными направлениями развития литейного производства, снижающими экологическую опасность, являются: разработка и освоение экологически безопасных и безотходных технологических процессов и оборудования, применение регенерации отработанных смесей на местах их образования с возвратом (до 95 %) в производство. В современных условиях рациональное использование сырьевых и материальных ресурсов приобретает первостепенное значение. Поэтому уделяется большое внимание широкому использованию промышленных отходов и сопутствующих продуктов взамен первичных сырьевых

материалов. Утилізація багатотоннажних твердих відходів для виробництва будівельних матеріалів сприяє розширенню сировинної бази, економії традиційного сировини та енергії, скороченню витрат на виробництво та зниженню цін на будівельні матеріали.

Формувочні (горелі) піски представляють крупнотоннажний відход литейного виробництва, основні компоненти якого: SiO_2 (80–85 мас. %), CaO (5–7 %), Al_2O_3 (4–6 %) [2]. Формувочні піски в литейному виробництві підлягають ретельному хімічному та гранулометричному контролю, за рахунок цього оброблені (горелі) піски також характеризуються стабільністю складу.

В зв'язі з цим в роботі проведені дослідження відходів формувочних сумішей литейного виробництва з метою визначення можливості застосування матеріалу як сировини для будівельної індустрії.

Метою даної роботи є дослідження можливостей утилізації та повторного використання відходів литейного виробництва.

Досліджувані матеріали були відходами наступних формувочних сумішей, застосовуваних в литейному виробництві:

1. Швидко висихаюча суміш на рідкому склі (БС):

- оброблена суміш 50 %;
- кварцевий формувочний пісок Староверовського родовища 50 %;
- едкий натр 15 кг вище 100 %;
- рідке скло 7 % вище 100 %.

2. Заповнювальна суміш (НС):

- оброблена суміш 100 %;
- тощий формувочний пісок Часовярського родовища до 3 % вище 100 %.

3. Стержнева суміш (СС-1):

- тощий формувочний пісок Часовярського родовища 84 %;
- кварцевий формувочний пісок Староверовського родовища 16 %;
- лігносульфонати 1 % вище 100 %.

4. Рідка самозатвердіюча суміш (ЖСС):

- кварцевий формувочний пісок Староверовського родовища 95–98 %;
- біліт шлаковий порошкообразний 2,5 %;
- рідка композиція 8–9 % (рідке скло, смачувач НБ, вода технічна).

Оброблені формувочні суміші – дисперсний сыпучий матеріал, зерна якого покриті оболочкою зв'язуючих композицій, залишених після високотемпературної обробки.

Досліджували два види відходів:

- композиційна суміш (суміш з отвала, що складається з швидко висихаючої суміші на рідкому склі, заповнювальної суміші, стержневої суміші з лігносульфатом, ЖСС);
- повертальна суміш, після полігонального сита (суміш з відходів швидко висихаючої суміші на рідкому склі, заповнювальної суміші, стержневої суміші з лігносульфатом).

Першочерговим вимогою, що визначає придатність відходів для застосування в будівельстві, є радіаційно-гігієнічна характеристика. З метою встановлення сумарної удільної активності радіонуклідів відходів відповідно до вимог ДБН В.1.4-1.01-97 «Регламентовані радіаційні параметри. Допустимі рівні» досліджено радіаційний паспорт сировини та встановлено, що діапазон сумарної активності досліджуваних проб сировини становить $A_{\text{эфф.}} = 29,7\text{--}34,6$ Бк/кг [3]. Ці результати не перевищують допустимого нормованого значення для першого класу за застосуванням сировинних матеріалів $A_{\text{эфф.}} < 370$ Бк/кг, що означає можливість використання відходів у всіх видах будівельства без обмежень.

За даними хімічного аналізу відходи містять в основному оксиди кремнію, хімічний склад відходів представлений в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав исследуемых смесей

Окислы, %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	прочее
Композиционная смесь	83,6	4,01	3,92	0,13	1,43	0,67	0,02	0,45	0,96	0,05	4,81
Возвратная смесь	83,31	6,04	4,01	0,10	2,22	0,36	0,04	0,84	1,03	0,03	0,98

Содержание сульфитов и сульфатов в пересчете на SO₃, снижающих долговечность строительных материалов и изделий, не превышают нормируемых значений: SO₃ < 3 %, а п.п.п. < 5 %.

Зерновой (гранулометрический) состав мелкого заполнителя отражает содержание в нем зерен разной крупности и характеризуется условной величиной модулем крупности, значение которого для заполнителей, применяемых для производства бетонов, регламентируется требованиями ДСТУ Б В.2.7- 32-92 «Песок плотный природный для строительных материалов, изделий, конструкций и работ. Технические условия» [4] должен входить в область оптимальных значений. Зерновой состав отходов по результатам отсева на стандартных ситах приведен в табл. 2.

Таблица 2

Зерновой состав отходов

Остатки на ситах	Размер ячеек сита, мм					Содержание частиц менее 0,16 мм
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Композиционная смесь						
частные	2,5	2,5	16,0	25,0	49,5	7,0
полные	2,5	5,0	21,0	73,5	93,0	
частные	1,5	1,0	6,5	15,5	57,0	19,5
полные	1,5	2,5	9,0	24,5	80,5	

Зерновой состав мелкого наполнителя является важнейшим показателем качества, определяющим степень его пригодности в бетонах и растворах.

Как видно из данных табл. 2 исследуемые отходы, особенно возвратная смесь, не входят в область оптимальных значений. Кроме того, возвратная смесь характеризуется повышенным содержанием частиц размером менее 0,16 мм, по сути являющихся пылевидными составляющими, что может отрицательно повлиять на технические характеристики бетонов и растворов. Пылевидные и особенно глинистые частицы создают на поверхности зерен заполнителя пленку, которая препятствует сцеплению с цементным камнем, в результате чего прочность бетона значительно снижается, содержание таких частиц не должно превышать 5–7 %.

Однако в практике строительной индустрии допускается применять наполнители с отклонениями показателей от нормируемых значений при соответствующем технико-экономическом обосновании. Таким обоснованием служат испытания технических характеристик бетонов и растворов с применением исследуемых отходов.

При проектировании составов бетонов и растворов на основе применения отходов необходимо установить рациональное количественное соотношение сырьевых материалов, обеспечивающее как получение требуемой формуемости смесей, так и бетонов, обладающих заданным комплексом физико-механических свойств (прочность при сжатии и изгибе, средняя плотность, морозостойкость и т. д.) при минимальном расходе цемента.

Специфика подбора составов тяжелого бетона состоит в правильном учете абсолютного объема, занимаемого цементом, крупным заполнителем и отходами, а также обеспечении непрерывной гранулометрии смеси наполнителей, так как при этом уменьшается межзерновая пустотность, что используется при оптимизации составов [5].

Важной характеристикой заполнителей является удельная поверхность зерен. С уменьшением размеров их поверхность возрастает и требует большего количества цементного теста для пленки, обволакивающей отдельное зерно и активно участвующей в формировании свойств бетонной смеси.

Поскольку нельзя получить смесь с минимальным объемом пустот и наименьшей поверхностью зерен, то в практике бетонной технологии после предварительных расчетов подбирают варианты составов тяжелых бетонных смесей, устанавливая такое количественное соотношение наполнителей, чтобы плотность бетона с учетом технологических особенностей формирования по возможности приближалась к максимальным значениям.

Расчет вариантов составов тяжелого бетона выполнен с использованием следующих основных эмпирических зависимостей:

- прочности бетона от активности цемента и значения водоцементного отношения;
- удобоукладываемости бетонной смеси от расхода воды;
- прочности бетона и удобоукладываемости бетонной смеси от характеристик исследуемых отходов [6].

В исследованиях использованы следующие материалы:

- отходы формовочных смесей после помола до значений удельной поверхности 230–270 м²/кг;
- шлакопортландцемент марки 400;
- щебень фракции 5–20 мм, с модулем крупности $M_{кр} = 1,0$;
- природный кварцевый песок;
- суперпластификатор С-3.

Разработанные и откорректированные составы бетонных смесей проектной марки по прочности при сжатии 200 и их характеристики сведены в табл. 3. При использовании отходов наиболее оптимальными являются составы № 4, 6, 8. Под № 1 приведен контрольный состав бетона без использования отходов.

Таблица 3

Вариантные составы тяжелых бетонных смесей

№	Расход материалов (кг/м ³)						С-3 % от цем.	Удобо- укл. ОК, см	Ср. пл-ть, кг/м ³	Пл-ть на сж. кгс/см ²		Пр-ть на изгиб, кгс/см ²
	цемент	песок	щебень	вода	КС	ВС				После ТО	28 сут. тв.	
1	332	654	1114	200	-	-	-	5,0	2300	144	230	34,2
2	320	-	1077	220	633	-	-	5,0	2250	20	129	29,7
3	313	-	1054	234	-	619	-	5,0	2250	79	112	24,7
4	331	327	1113	200	327	-	-	2,0	2300	128	205	38,6
5	329	325	1108	192	-	325	-	2,0	2280	103	159	35,4
6	335	-	1264	203	527	-	-	2,0	2330	132	199	38
7	334	-	1259	195	-	525	-	2,0	2315	118	137	30,4
8	323	-	1086	182	638	-	0,8	2,0	2230	232	296	47,2
9	326	-	1097	184	-	645	0,8	2,0	2250	118	160	32,3

При расчетах составов растворных смесей использованы необходимые сырьевые материалы, указанные в табл. 4. При этом установлена проектная марка по прочности на сжатие 100. Составы растворных смесей и их характеристики приведены в табл. 4.

Анализ данных табл. 4 позволяет установить оптимальные составы растворных смесей на основе композиционных отходов (№№ 11, 13) при полной или частичной замене природного мелкого заполнителя.

Таблица 4

Составы растворных смесей и их характеристики

№№	Расход материалов (кг/м ³)					Подвижность раств. смеси, см	Пл-ть раств. смеси кг/м ³	Пр-ть на сж., кгс/см ²		Пр-ть на изгиб, кгс/см ² 28 сут
	цемент	песок	вода	КС	ВС			7 сут	28 сут.	
10	332	1378	310	-	-	6,0	2020	56	112	28
11	320	-	326	1270	-	6,8	1880	64	120	29
12	320	-	323	-	1262	6,5	1865	44	80	27
13	322	651	321	651	-	6,7	1925	50	104	28
14	326	650	324	-	600	6,5	1900	47	83	25

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований по использованию отходов формовочных смесей как мелкодисперсного заполнителя для бетонов и растворов установлено следующее:

– по радиационно-гигиеническим характеристикам исследованные пробы отходов соответствуют требованиям РНС 356-91, относятся к 1-му классу стройматериалов и могут быть использованы во всех видах строительства без ограничений;

– по зерновому составу отходы, прежде всего, – возвратная смесь, они не входят в область оптимальных значений зернового состава мелкого заполнителя для бетонов;

– возвратная смесь характеризуется повышенной пустотностью и содержанием пылевидных и глинистых частиц, что ведет за собой дополнительную водопотребность бетонов и растворов смесей и снижение прочностных свойств;

– применение композиционных смесей в тяжелых бетонах и растворах для частичной или полной замены природного кварцевого песка позволяет достичь проектных марок по прочности на сжатие и изгиб без увеличения расхода цемента;

– введение в тяжелые бетоны и растворы на основе композиционной смеси современного суперпластификатора С-3 повышает их прочностные показатели на 50–75 %, что может позволить скорректировать расход цемента в сторону снижения.

Результаты данных исследований позволяют утилизировать промышленные отходы литейного производства, тем самым способствуя решению экологических проблем и снижению затрат при изготовлении строительных материалов и изделий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калыгин В. Г. Промышленная экология : высш. проф. образ / В. Г. Калыгин . – М. : Изд-во Academia, 2004. – 432 с.
2. Лотош В. Е. Переработка отходов природопользования / В. Е. Лотош. – Екатеринбург : изд-во Полиграфист, 2007. – 503 с.
3. ДБН В.1.4-1.01-97. Регламентовані радіаційні параметри. Допустимі рівні. – На заміну РСН 356-91 / Госстрой УССР [Чинний від 01.01.1998 р]. – К. : Державний комітет України у справах містобудування та архітектури, 1997. – 6 с.
4. ДСТУ Б В.2.7-32-95. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. Введ. 01.01.1996. – Київ : Держкоммістобудування України, 1996. – 13 с.
5. Рогожина Р. Я. Оценка возможности применения отходов литейного производства в качестве заполнителей для бетона // Энергет. стр-во. – 1992. – № 4. – С. 62.
6. ДСТУ Б В.2.6-2-95. Вироби бетонні і залізобетонні. Загальні технічні умови. Конструкції будинків і споруд. – Київ : Держкоммістобудування України, 1996. – 22 с.

Статья поступила в редакцию 16.11.2011 г.