

УДК 621.742.5.06.55

ПРИМЕНЕНИЕ КВАРЦЕВЫХ И КВАРЦ-ПОЛЕВОШПАТОВЫХ ПЕСКОВ В ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЯХ ДЛЯ ЧУГУННОГО ЛИТЬЯ

Проведены исследования по применению кварцевых и кварц-полевошпатовых песков для форм и стержней чугунного литья. Обоснована необходимость их применения в качестве формовочных материалов для получения чугунных отливок массой до 1500 кг и корпусов сушильных цилиндров массой до 36 т. Сделаны выводы о преимуществах гусаровского, карельского и финского песков перед применяемыми кварцевыми песками. Кроме песков использовали портландцемент, глину, жидкое стекло, графит и шунгит. Углеродсодержащие материалы вводили в состав смеси для улучшения формовочных, физико-механических и противопригарных свойств. Были отработаны и предложены рецептуры смесей, технологии плавки и заливки металла. Для изготовления стержней из песчано-цементных смесей при получении отливок корпусов сушильных цилиндров для бумагоделательных машин необходимо применять пески зернистостью 0,5–1,0 мм с содержанием глинистой составляющей не более 0,6 %.

Ключевые слова: кварцевые и кварц-полевошпатовые пески, формовочные смеси, плавка, чугун, отливка, сушильные цилиндры.

В связи с повышением требований к качеству литья проблема обеспечения литейного производства высококачественными песками остается актуальной. К отливкам сушильных цилиндров предъявляются высокие требования по шероховатости поверхности, прочности и износоустойчивости. Корпус цилиндра отливают из высоколегированного чугуна, по механическим свойствам близкого к стальному литью, серого чугуна с пластинчатым графитом, легированного Cr, Ni, Mo, Cu, или из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

Литейный завод АО «Петрозаводскмаш» испытывает недостаток в песках зернистостью 0,6–0,8 мм, используемых при получении сушильных цилиндров. Для решения этой проблемы завод неоднократно завозил формовочный песок фирмы «Валмет» из Финляндии, а также с Гусаровского месторождения из Украины. Цель настоящей работы — выявление возможностей замены импортного и привозного формовочного песка карельским.

Научно-технический прогресс заставляет литейщиков и металлургов повышать требования к качеству формовочных материалов. В составах перспективных формовочных смесей и противопригарных покрытий рекомендуются и применяются в основном высококондиционные материалы: обогащенные кварцевые пески, пылевидные кварц, циркон, бентонит, графит, корунд и др. [1–5]. Из-за повышенного спроса эти материалы становятся все более дефицитными. Часто перевозимые в железнодорожных вагонах формовочные материалы загрязняются остатками предыдущих перевозимых грузов и материалов, что ухудшает качество песка. Таким образом, использование местных формовочных песков актуально. Литейные формы, по мнению Г. Инсли [3], имеют связь с необожженной керамикой или безобжиговым огнеупором. Эти материалы работают при высоких температурах и подвергаются воздействию расплавленного металла при заливке чугуна или других сплавов. Сопутствующие

кварцу минералы в кварцевых песках обычно вредны вследствие ухудшения огнеупорных свойств полученных из этих материалов форм и стержней.

На технологические свойства смесей оказывает влияние гранулометрический состав песков. Для чугунного плацевого и конвейерного литья литейный завод АО «Петрозаводскмаш» применяет пески Новинского и Струго-Красненского карьеров, расположенных на северо-западе России.

В настоящей работе изучали зерновой, химический и минеральный составы привозимых в АО «Петрозаводскмаш» формовочных песков и песков с территории Республики Карелия для выяснения зависимости противопригарных и огнеупорных свойств от формы, величины зерен, а также от химического и минерального составов. Количество глинистой составляющей в песках определяли на приборе модели 021, ситовый анализ выполняли на приборе модели 028м. Физико-механические свойства смесей исследовали на образцах диаметром и высотой 50 мм. При изготовлении образцов из песчано-цементных смесей в качестве связующего применяли портландцемент марки 400–500 с периодом схватывания не менее 45 мин Пикалёвского глиноземного комбината. Образцы из песчано-цементных смесей после изготовления выдерживали до испытаний в течение 24 и 48 ч. Жидкое натриевое стекло с модулем 2,8–3,0 плотностью 1300 кг/м³ применяли для жидкостекольной смеси, которую использовали для облицовочной и стержневой смеси конвейерного и плацевого чугунного литья, а также в качестве состава для ремонта форм и стержней сушильных цилиндров. Составы для обмазки форм сушильных цилиндров готовили с применением гусаровского песка с добавкой в качестве связующего глины. Для улучшения противопригарных свойств смеси в ее состав дополнительно вводили серебристый графит, добавка которого одновременно способствовала лучшему нанесению обмазки на форму сушильного цилиндра, снижа-

ла инфильтрацию металла и шлака в ее стенку, улучшая противопожарные свойства облицовочного слоя. В качестве формовочных песков помимо гусаровского были исследованы новинский и струго-красненский. Данные исследований новинского и струго-красненского песка показали, что они по зерновому, химическому составу, газопроницаемости и огнеупорности соответствуют маркам 2K02Б, 4K0315А и Б по ГОСТ 2138.

Содержание кремнезема в гусаровском песке [6] от 96,5 до 98,0 мас. %. Количество примесей находилось в пределах, мас. %: оксиды железа от 0,3 до 0,7, суммарное содержание оксидов кальция, магния, натрия и калия от 0,5 до 1,3, потери при прокаливании от 0,3 до 0,8. Газопроницаемость песка 700–860 мкм², огнеупорность 1700–1710 °С. По зерновому, химическому составу, газопроницаемости, наличию вредных примесей и огнеупорности поставляемый Гусаровским карьером песок соответствовал требованиям марок 1-2K04А и Б по ГОСТ 2138.

Необходимо отметить, что струго-красненский песок более мелкозернистый по сравнению с гусаровским и с большим количеством вредных примесей, что способствовало появлению брака отливок по термехимическому пригару и газовым раковинам.

Карельский и финский пески рассевали на фракции, после чего определяли химический состав каждой из них. В финском песке минимальное количество кремнезема (70,24 мас. %) содержит фракция на сетке с ячейками 1×1 мм, максимальное (79,86 мас. %) фракция на сетке 0,2 × 0,2 мм. Фракция на сетках от 0,1 до 1,0 мм характеризуется повышенным содержанием оксидов алюминия, натрия и калия. Во фракции песка мельче 0,1 мм большее содержание оксидов железа и магния и более высокие потери при прокаливании. Количество глинистой составляющей в финском песке, по нашим данным, не превышает 0,4 мас. %, зернистость песка от 0,4 до 1,0 мм, содержание кремнезема от 70 до 80 %. Финский песок более крупный по сравнению с гусаровским и струго-красненским (табл. 1–3). При практическом использовании песков, поставленных с Гусаровского карьера и фирмой «Валмет» литейному заводу АО «Петрозаводскмаш», были получены хорошие результаты при изготовлении отливок корпусов сушильных цилиндров [7].

Для качественной оценки импортного и карельского песков были отобраны пробы этих материалов, проведены лабораторные и промышленные испытания. Наиболее подробно нами были изучены пробы карельских песков № 27, 30 и 32. Проба № 27 отобрана в районе п. Пряжа Республики Карелия из флювиогляциальной дельты, которая находится вблизи АЗС по дороге на Крошнозеро. Месторождение площадью 2 × 0,5 км² простирается от южного края п. Пряжа в юго-западном направлении и имеет прогнозные P_3 запасы около 1 млн м³.

Проба № 30 была отобрана из действующего песчаного карьера, расположенного в 5 км на запад от п. Эссоила по дороге на Вешкелицы. Карьер расположен вблизи автомобильной дороги и связан отдельной веткой с железной дорогой. Ориентировочные прогнозные запасы P_3 песка составляют 2,25 млн м³.

Проба № 32 отобрана из озерно-ледниковых песков в районе п. Инжунавлок, расположенного на западном берегу оз. Сямозеро, вблизи дороги Эссоила – Курмойла – Сяргилахта. Предварительные запасы песка 0,5–1 млн м³.

В пробах карельских песков более 70 % зерен сосредоточено во фракциях крупнее 0,2 мм, что позволяет получать из этих песков формовочные и стержневые смеси с необходимой газопроницаемостью для производства тяжелого чугуна, в том числе и корпусов сушильных цилиндров. Зерновой состав кварц-полевошпатовых и кварцевого струго-красненского песков приведен в табл. 1, химический и минеральный составы исследованных песков — в табл. 2 и 3.

Отличие импортного песка от карельского заключается в незначительном отклонении в зерновом составе в сторону увеличения крупных фракций. Анализ химического и минерального составов показал, что финский песок содержит большее количество гидроксидов железа. Кварцевые пески отличаются от кварц-полевошпатовых по содержанию кремнезема и примесей.

Исследованиями химического и зернового составов карельских песков выявлено их незначительное отличие от финского песка по этим характеристикам. Наиболее близким по химическому составу к импортному песку следует считать сямозерский песок (проба № 32). Содержание кремнезема в карельских исследованных песках находилось в пределах от 73 до 85 мас. %.

Минералогические исследования показали, что основная масса импортного и карельского песков представлена зернами кварца. В песках в одинаковом количестве содержится плагиоклаз, микроклин, моноклинный амфибол и биотит. Форма зерен песка угловатоокатанная. Различие состоит в том, что в финском песке содержится до 0,45 мас. % гидроксидов железа. По содержанию кремнезема и вредных примесей эти

Таблица 1. Зерновой состав исследованных песков, остаток на ситах, мас. %

Показатели	Карельский песок пробы			Финский песок	Струго-красненский песок
	27	30	32		
Фракция песка, мм:					
2,5	—	0,2	0,2	—	—
1,6	0,4	1,0	1,8	3,35	0,42
1,0	3,6	3,8	10,6	16,0	1,78
0,63	18,7	11,0	31,4	41,15	7,28
0,4	16,3	9,0	20,6	28,9	20,9
0,315	37,9	32,0	22,0	5,8	21,78
0,2	12,1	19,6	5,2	2,0	33,38
0,16	6,7	14,4	4,6	0,9	8,4
0,1	1,8	4,6	1,4	0,15	4,38
0,063+0,05	1,8	4,2	1,7	0,4	0,3
<0,05	0,08	0,2	0,5	0,3	0,2
Глинистая составляющая, %	0,38	0,4	0,56	0,47	0,35
Сумма	99,76	99,4	99,96	99,8	99,17
Сумма на 3 смежных ситах	72,9	65,0	74,0	86,05	76,06

пески относятся к классу кварц-полевошпатовых с содержанием кремнезема менее 90 мас. %. Карельский песок в естественном виде содержит от 0,5 до 4,5 мас. % глинистой составляющей. В пробах № 25–29 более 70 мас. % зерен сосредоточено во фракциях крупнее 0,2 мм, что дает возможность получить после регенерации песок с улучшенным зерновым составом, который можно использовать для получения отливок крышек и корпусов сушильных цилиндров.

Результаты изучения зернового, химического и минерального составов кварцевых новинского, струго-красненского и гусаровского песков показали, что они отличаются от карельских кварц-полевошпатовых песков по содержанию как кремнезема, так и других компонентов, а также по зерновому и минеральному составам. Были проведены лабораторные и промышленные испытания карельских и привозных кварцевых песков в формовочных смесях для получения чугунного литя, подобраны составы жидко-

стекольных, песчано-цементных и песчано-глинистых смесей. Вначале из подобранных смесей готовили для мелких отливок массой 20–100 кг стержни и формы, которые заливали чугуном при 1330–1340 °С. Чугун выплавляли в лабораторной индукционной тигельной печи ИСТ-0,06. На всех образцах отливок, полученных с применением карельских песков, была чистая, без пригара поверхность, не было также обнаружено дефектов. Из карельского песка пробы № 32 были изготовлены стержни для получения отливки массой 1500 кг с толщиной стенки до 182 мм. Перед установкой в форму стержни окрашивали заводским противопопригарным покрытием из талька и серебристого графита на основе лака ВЛ-557, а также покрытий с дополнением шунгита. При минералогическом исследовании, проведенном на микроанализаторе TESCAN, состава с шунгитовой добавкой были обнаружены новообразованные волокнистые частицы, по форме похожие на «нанотрубки», содержащие углерод, кислород, азот, серу, калий и хром (рис. 1). На рис. 2 [1 (2)] показан контактный слой формы сушильного цилиндра с металлом после заливки формы чугуном. Исследования проведены на микроанализаторе TESCAN.

Песчано-цементную смесь в условиях производства готовили в смешивающих бегунах. Количество портландцемента марки 400 с периодом схватывания от 45 до 120 мин, выпускаемого Пикалевским глиноземным комбинатом, в исследуемых смесях 11, 13 и 15 мас. %, водно-цементное отношение 0,4. Величина зерен применяемых песков колебалась от 0,2 до 0,6 мм, влажность смеси — от 5,4 до 6,4 мас. %, прочность смеси через 24 ч — от 1,0 до 5,0 МПа, через 48 ч — от 1,2 до 7,5 МПа, газопроницаемость — от 140 до 500 мкм² осыпaeмoсть — от 1,2 до 1,7 %. Было установлено, что чем больше дисперсность песка, тем больше предел прочности при сжатии и газопроницаемость смеси. При проведении исследования определяли влияние количества цемента на прочность, газопроницаемость и осыпaeмoсть смеси. Через 24 ч в смесях с одинаковым

Таблица 2. Химический состав исследованных песков, мас. %

Оксид	Карельский песок пробы			Финский песок	Струго- красненский песок
	27	30	32		
SiO ₂	80,90	79,26	77,22	76,18	91,26
TiO ₂	0,20	0,14	0,12	0,12	Сл.
Al ₂ O ₃	10,21	10,90	11,97	12,52	1,42
Fe ₂ O ₃	0,60	1,12	0,97	0,76	0,80
FeO	0,36	0,43	0,57	0,72	0,19
MnO	0,014	0,015	0,014	0,029	–
MgO	0,40	0,51	0,60	0,60	0,97
CaO	1,31	1,68	1,54	1,96	2,45
Na ₂ O	3,20	3,28	3,80	3,10	1,75
K ₂ O	2,45	2,10	2,30	3,35	–
H ₂ O	0,20	0,03	0,08	0,20	–
И. м. п. п.	0,14	0,52	0,68	0,35	0,94

Таблица 3. Минеральный состав исследованных песков*

Песок	Проба	Минеральный состав, мас. %				
		кварц	плагиоклаз	микроклин	зерна глинистого состава	остальные минералы
Пряжинский	№ 27	78	10,2	6,4	Сл.	Амфибол 2,5, группы эпидота 0,5, слюды 2,0
Эссойльский	№ 30	72,0	18,9	5,2	Ед.	Моноклин+амфибол 1,852, биотит 0,55, группы эпидота 0,81
Инжунаволоцкий	№ 32	71,0	12,5	8,5	Сл.	Амфибол 4,0, группы эпидота 1,0, слюды 2,0
Финский	Валовая	72,87	16,4	6,55	0,17	Гидроксиды железа 0,45, моноклинный амфибол 2,05, биотит 0,62, группы эпидота 0,13
Новинский	Со склада песка	96,55	2,42	Ед.	Ед.	Карбонат 0,63, гидроксиды железа 0,1
Струго- красненский	С прирельсо- вого склада	84,42	1,39	3,0	Ед.	Карбонат 0,65, ильменит 0,1, гидроксиды железа 0,1

* Форма зерен угловатоокатанная.

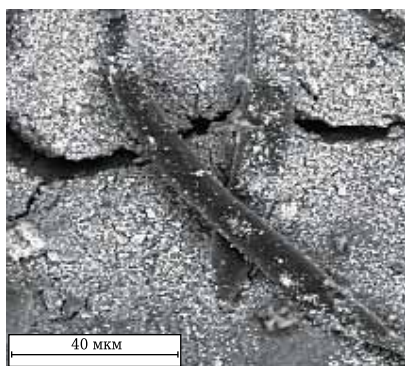


Рис. 1. Волокнистые образования в смеси огнеупорной глины с шунгитом

зерновым составом песка при содержании цемента 11, 13 и 15 % предел прочности при сжатии 0,9, 1,1 и 2,7 МПа, газопроницаемость смеси 341, 275 и 170 мкм², осыпaeмость 5,6, 2,3 и 1,2 соответственно, т. е. чем выше расход цемента, тем больше предел прочности при сжатии и тем меньше газопроницаемость и осыпaeмость смесей.

Плавку чугуна для получения отливок корпусов сушильных цилиндров и исследуемых отливок проводили в индукционных тигельных печах вместимостью 8 и 25 т фирмы ASEA. Чугун в печи нагревали до 1480 °С, выдерживали в течение 10 мин, снижали температуру до 1420 °С и модифицировали при выпуске из печи ферросилицием ФС-75 в количестве 0,2–0,3 % от массы набираемого в ковш металла. Металл заливали при 1345–1350 °С, время заливки отливки к сушильным цилиндрам составляло 45–55 с, время от начала модифицирования до заливки металла в форму не превышало 17 мин.

Трещины на отливке возникают вследствие повышенного содержания хрома (более 0,8 %), марганца и кремния в жидком металле. Общим для всех легирующих добавок является упрочняющий эффект, обусловленный легированием феррита и получением дисперсных структур металлической матрицы. Улучшает весь комплекс механических свойств серого чугуна никель. Применяли также комплексное легирование, вводя упрочняющие и карбидобразующие компоненты, что оказывало наиболее благоприятное влияние на механические свойства выплавляемого металла.

Полученным чугуном заливали формы из испытываемых смесей. Испытания показали положительные результаты: брака отливок из-за формовочных и стержневых смесей, приготовленных из карельских песков, не было.

Библиографический список

1. **Васин, Ю. П.** Проблемы изучения формовочных материалов за рубежом / Ю. П. Васин // Литейное производство. — 1962. — № 2. — С. 43–45.
2. **Завёрткин, А. С.** О выборе карельских песков для литейного производства. Докембрий и квартер Карелии (минералогия, металлогения и технология использования минерального сырья) / А. С. Завёрткин, А. Д. Лукашов, И. Н. Демидов. — Петрозаводск, 1988. — С. 13–15.
3. **Инсли, Г.** Микроскопия керамики, цементов, стекол, шлаков и формовочных песков / Г. Инсли, В. Д. Фрешетт. — М.: Гостройиздат, 1960. — 370 с.
4. **Комиссаров, В. А.** Направления развития малоотходных технологических процессов производства отливок / В. А. Ко-

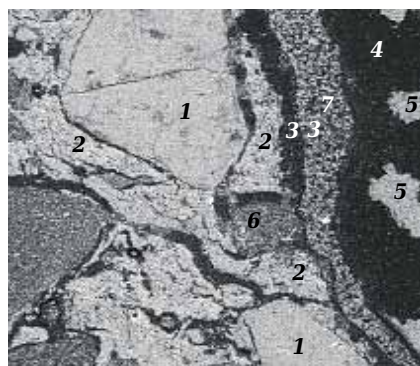


Рис. 2. Контактный слой формы сушильного цилиндра с металлом: 1 — зерно песка; 2 — связка из огнеупорной глины; 3 — остатки от разложения графита в противопригарном покрытии; 4 — продукты химических реакций между расплавленным металлом и покрытием формы; 5 — оставшиеся (не прореагировавшие до конца) частицы песка в продуктах химического взаимодействия металла и покрытия; 6 — зерно песка после воздействия на него закисного железа, проникшего в форму из расплава металла и шлака; 7 — продукты взаимодействия противопригарного покрытия с металлом и шлаком

Для промышленных испытаний использовали две пробы карельских песков — № 27 и 32. По зерновому и химическому составам проба № 32 приближается к показателям, полученным при исследовании импортного песка фирмы «Валмет» для изготовления стержней сушильных цилиндров обрезной шириной 10500 мм и диаметром 1830 мм. Результаты испытания показали, что эти пески можно использовать для получения отливок массой 1500 кг. При этом была получена чистая, без пригара поверхность отливки, дефектов поверхности не было.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования показали возможность применения карельского песка в качестве формовочного материала, в том числе и для получения сушильных цилиндров в случае проведения предварительной регенерации — удаления излишнего количества глинистой составляющей до 0,5–0,6 мас. %.

Наиболее пригодным для этой цели следует считать песок Сямозерского месторождения (проба № 32). Пески Новинского и Струго-Красненского карьеров ввиду их низкой газопроницаемости малоприспособлены для изготовления форм и стержней при получении отливок корпусов сушильных цилиндров. Для производства подобных отливок необходимы пески зернистостью 0,6–1,0 мм, содержащие не более 0,6 мас. % глинистой составляющей.

миссаров, В. В. Серебряков // Литейное производство. — 1983. — № 5. — С. 2–4.

5. **Распопин, И. М.** Пути обеспечения и рационального использования формовочных материалов / И. М. Распопин // Литейное производство. — 1983. — № 4. — С. 17, 18.

6. Формовочные пески : каталог. — М.: НИИИнформации по машиностроению, 1984. — 27 с.

7. **Архипов, Н. В.** Технология производства отливок корпусов сушильных цилиндров бумагоделательных машин / Н. В. Архипов, Л. М. Никитин. — М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1979. — 26 с. ■

Получено 19.04.13

© А. С. Завёрткин, 2013 г.