

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.742.487

Фирстов А.П.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕСЧАНО-МАСЛЯНЫХ СМЕСЕЙ В КИПАЮЩЕМ СЛОЕ

Аннотация. Публикации по применению песчано-масляных смесей относятся к сороковым годам XX века. Наличие большого количества растительных масел как связующего компонента в стержневых смесях вносит некое замешательство при выборе их для применения в производстве. В литейном производстве в большей степени применяют подсолнечное, льняное масла и сопутствующие продукты переработки различных растительных масел.

Масляные связующие позволяют получать стержни высокого качества с высокой газопроницаемостью, пластичностью, выбиваемостью, они негигроскопичны и могут храниться длительное время, не меняя своих характеристик. Газотворная способность стержней невелика, так как количество связующего относительно мало и колеблется в пределах 1,5–3%. Их доступность, распространенность и дешевизна позволяют еще раз обратить на них внимание.

При этом с перечисленными достоинствами песчано-масляные смеси имеют и недостатки: низкая прочность в сыром состоянии, тем самым вводится необходимость применения в технологии получения стержней драйверов; обязательная сушка этих стержней, которая идет при температуре 200–230°C с продолжительностью 1–4 ч, что увеличивает технологическое время изготовления стержня; соблюдение точной технологии сушки стержней (при более низкой температуре длительность сушки увеличивается, а при более высокой идет обугливание масла, приводящее к потере необходимой прочности).

В настоящее время опять возрастает интерес к растительным жирам как к экологически чистым связующим для литейного производства.

Целью данной работы является возрождение незаслуженно забытых песчано-масляных связующих с возможностью процентного снижения их в стержневой смеси, что приведет к упразднению или уменьшению перечисленных выше недостатков.

Ключевые слова: песчано-масляная смесь, кипящий слой, скорость псевдоожижения, растительное масло, прочность

Введение

Натуральные растительные масла применяются в литейном производстве в качестве связующего материала довольно давно и являются наиболее качественными по отношению к другим связующим [2–6].

В настоящее время опять возрастает интерес к растительным жирам как к экологически чистым связующим для литейного производства [1, 7–10].

Одна из причин возросшего роста – это возможность снижения количества связующего в составе стержневой смеси без потерь основных свойств связующего. Для снижения количества связующего (подсолнечное масло) нужно создать ситуацию, в которой будут поставлены условия всестороннего контакта компонентов.

Идея активного перемешивания веществ была взята при сушке песка в аппаратах кипящего слоя [8].

Экспериментальная часть

В лаборатории литейного производства (НТИ (филиала) УрФУ) была разработана экспериментальная установка для приготовления стержневой смеси.

Установка (рис. 1) состоит из корпуса 1, системы подачи воздуха, системы подачи связующего. Система подачи связующего состоит из баллона для связующего, насоса высокого давления, системы трубопро-

водов, системы распыления связующего. Система подачи воздуха состоит из компрессора 2, который соединен трубопроводом с газораспределительной решеткой 4, через которую беспрепятственно проходит воздух. Расход воздуха осуществляется с помощью регулятора расхода воздуха 3.

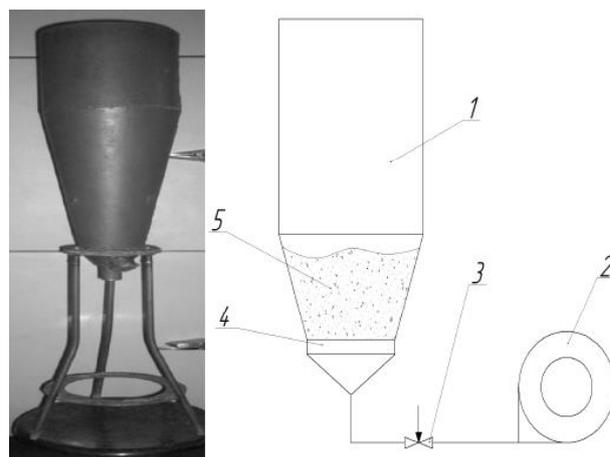


Рис. 1. Установка (а) и схема рабочей емкости (б) для приготовления смеси в кипящем слое:
1 – корпус; 2 – компрессор; 3 – регулятор расхода воздуха; 4 – газораспределительная решетка; 5 – песок

Приготовление смеси происходит в резервуаре 1. Песок 5 помещается в резервуар через загрузочное

окно, связующее заливается в баллон. Компрессор 2 создает давление в пустотелом коробе и смесь в резервуаре 1 находится во взвешенном состоянии, в это же время из системы распыления подается связующее. Загрузка установки при лабораторных испытаниях составляет 0,3–1,5 кг.

Для удобства и большей точности исследования возможностей получения смесей методом осаждения связующего в кипящем слое в баллон заливалося определенное количество связующего. Регулировалась скорость воздуха во время подачи связующего и время кипения смеси после подачи связующего.

Теория, материалы и методы исследования

Сущность процесса перемешивания состоит в том, чтобы из песка и связующего получить однородную смесь, все зерна песка которой были бы покрыты тонким, равномерным слоем связующего. Условия активного перемешивания создают аппараты кипящего слоя.

Чтобы повысить процесс обволакивания песчинок с минимальным количеством связующего, необходимо обеспечить усиленное омывание высушиваемого материала потоком воздуха.

Преобразование слоя песка под влиянием восходящего воздуха, когда твердые частицы переходят во взвешенное состояние и напоминают по свойствам жидкость [11]. Процесс псевдооживления происходит при движении газа через слой сыпучего материала. При этом частицы становятся подвижными, хорошо перемешиваются в пределах объема загрузочного устройства, тем самым выравнивая поле концентраций и температур.

Различают три состояния слоя сыпучего материала [12, 13]. При небольшой скорости движения газа слой твердых частиц остается неподвижным (рис. 2, линия 1). При таком режиме идет процесс фильтрации. При большой скорости наблюдается режим уноса твердой фазы (рис. 2, линия 3). В этом режиме осуществляют процессы пневмо- и гидротранспорта.

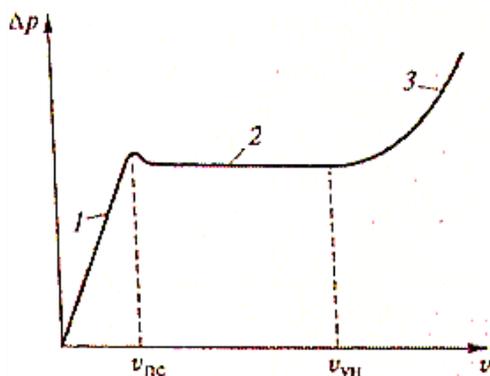


Рис. 2. Зависимость перепада давлений в слое сыпучего материала от скорости продувки газа при различных состояниях этого материала [12]: 1 – неподвижный слой; 2 – псевдооживление; 3 – унос твердых частиц; $v_{нс}$ – скорость начала псевдооживления; $v_{ун}$ – скорость уноса

В определенном диапазоне значений скорости воздуха существует третье состояние сыпучего слоя (песка) – так называемое псевдооживленное (рис. 2, линия 2). В этом режиме слой уже перестает быть неподвижным, но унос еще не наступает. Частицы уже не соприкасаются друг с другом, а свободно витают в воздухе, но из аппарата не уносятся, такую зону называют «зоной кипящего слоя».

Таким образом, стоит вопрос по определению оптимальных свойств смесей, полученных методом осаждения.

Результаты исследования

Для определения критической скорости оживления пользуются расчетным методом [14].

Расчет критических скоростей проводят по формуле

$$\omega_{кр}^p = \frac{Re_{кр} \cdot \nu}{d_3}, \quad (1)$$

где $Re_{кр}$ – число Рейнольдса в момент начала псевдооживления и начала уноса;
 ν – кинематическая вязкость, m^2/c ;
 d_3 – эквивалентный диаметр частиц, м.

Число Рейнольдса определяют по формуле Тодеса, с привлечением критерия Архимеда и проницаемости слоя.

По формуле (2) рассчитывается параллельно число Рейнольдса [15] с последующим нахождением скорости начала псевдооживления и начала уноса:

$$Re = 0,153 \cdot Ar^{0,714}. \quad (2)$$

Расчет позволил определить критические скорости начала псевдооживления и начала уноса, которые равны $\omega_{кр,псев} = 0,1 м/с$ и $\omega_{кр,унос} = 0,4 м/с$ соответственно.

Таким образом, для получения кипящего слоя нужно придерживаться скорости подачи в интервале 0,1–0,4 м/с, но для получения заранее положительного результата предлагается на изготовленной установке получать песчано-масляную смесь со скоростью в пределах 0,2–0,35 м/с.

Интервал вычислений достаточно большой, и теперь встает вопрос определения оптимального значения скорости воздушного потока. Для проверки этого предположения готовились смеси при четырех разных режимах оживления, исследование проводилось на смесях с содержанием связующего 0,5 и 1% с временем кипения 5 с. Из готовых смесей отбиралось десять проб, и из полученных данных высчитывали коэффициент однородности (ГОСТ 23409.3–78, ГОСТ 25470–82). По результатам основных описательных статистик находили оптимальную скорость кипящего слоя применительно к данной установке. Результаты расчетов представлены в табл. 1 и 2.

Как мы видим из табл. 1 и 2, при скорости ожигения $\omega = 0,3$ м/с коэффициент однородности имеет наибольшее значение с минимальными статистическими значениями, это говорит о том, что при данной скорости ожигения существуют оптимальные условия для качественного распределения связующего.

Из исследуемых смесей были изготовлены образцы для проверки их на прочность при разрыве в сухом состоянии. Полученные данные сведены в табл. 3.

Если сравнить данные по коэффициенту однородности из табл. 1 и 2 с данными по прочности из табл. 3, то можно заметить, что прочность на разрыв в сухом состоянии находится в прямой зависимости от равномерности распределения связующего, т.е. с увеличением однородности распределения увеличивается и прочность.

Диаграмма на рис. 3 наглядно показывает, что максимальная прочность наблюдается при скорости потока воздуха, равной 0,3 м/с.

Сухая прочность получена достаточно высокая при малых концентрациях связующего и может являться конкурентоспособной с песчано-масляными смесями на основе льняного масла, даже при концен-

трации 1%. При пониженной скорости потока воздуха (<0,3 м/с) наблюдается пониженная сухая прочность, вероятнее всего снижение обосновано неполным покрытием зерен песка связующим. При высокой скорости потока воздуха (> 0,3 м/с) начинается унос песчинок.

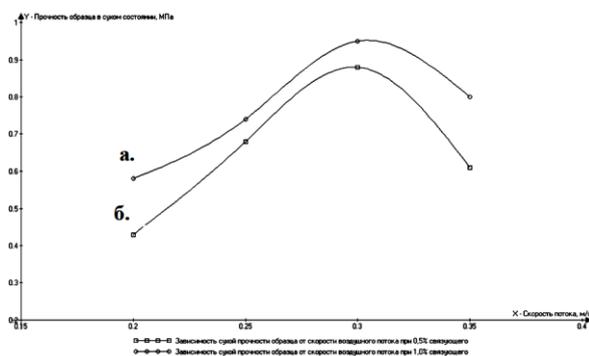


Рис. 3. Зависимость сухой прочности образца от скорости воздушного потока при содержании связующего в смеси 0,5 % (а) и 1,0 % (б)

Таблица 1

Однородность распределения для смесей с 0,5 % связующего

Скорость, м/с	Дисперсия	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации	Коэффициент однородности
0,2	76,7	8,756	30,193	69,8
0,25	106,7	10,328	57,378	62,6
0,3	28,0	5,325	28,748	71,25
0,35	30,0	5,477	32,219	67,8

Таблица 2

Однородность распределения для смесей с 1 % связующего

Скорость, м/с	Дисперсия	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации	Коэффициент однородности
0,2	498,9	22,336	45,583	54,42
0,25	288,9	16,997	28,328	71,6
0,3	40,0	6,325	16,644	83,37
0,35	130,0	11,402	21,513	78,48

Таблица 3

Прочность на разрыв в сухом состоянии для смесей с различным содержанием связующего при заданных режимах кипящего слоя

Содержание связующего, %	Скорость, м/с	Прочность на разрыв в сухом состоянии, МПа
0,5	0,2	0,43
0,5	0,25	0,68
0,5	0,3	0,88
0,5	0,35	0,61
1	0,2	0,64
1	0,25	0,7
1	0,3	0,95
1	0,35	0,72

Для того чтобы исследовать, как влияет продолжительность кипячения на однородность распределения связующего по зернам песка, готовилась смесь с подсолнечным связующим, равным 1%. Исследование проводилось для режима с наилучшими показателями распределения связующего $\omega = 0,3$ м/с, для проверки были выбраны интервалы времени в 5, 10 и 15 с. Полученные результаты представлены в табл. 4.

После обработки полученных данных получается, что однородность распределения связующего остается практически неизменной, но, как видно, прочность на разрыв в сухом состоянии падает. Это происходит потому, что из-за малой толщины пленок подсолнечного масла, которое выступает в качестве связующего, реакция полимеризации происходит быстрее. Увеличивая зону контакта связующего с кислородом при псевдоожигении получаем: чем больше время этого контакта, тем быстрее происходит полимеризация и снижается прочность смеси, так как подсолнечное масло теряет свою связующую способность. Встает задача связать полученные данные с нахождением зависимости прочности на разрыв в сухом состоянии относительно раз-

личного времени кипячения смеси в установке с различным содержанием связующего в песчано-масляной смеси. Данные по этим расчетам представлены в табл. 5.

С помощью компьютерной программы STATISTICA v.10.0.RU оценивали параметры множественной регрессии, где зависимой переменной являлась прочность на разрыв в сухом состоянии (МПа), а независимыми переменными были содержание связующего в смеси (%) и время кипячения, с. Полученные данные приведены в табл. 6.

При аналитическом анализе получено уравнение, с помощью которого можно предсказывать предел прочности на растяжение в сухом состоянии при коэффициенте регрессии $R = 0,9$:

$$y = 1,014 - 0,047x_1 - 0,018x_2. \quad (3)$$

В ходе исследования наблюдалось, что с увеличением содержания связующего ($> 1\%$), вводимого в смесь, его распределение по объему смеси ухудшалось (шло образование комков). При содержании связующего 1,5 % смесь прекращала кипеть.

Таблица 4

Влияние дополнительного кипячения на свойства смеси

Время дополнительного перемешивания, с	Коэффициент однородности	Прочность на разрыв в сухом состоянии, МПа
5	83,87	0,95
10	84,2	0,81
15	82,75	0,76

Таблица 5

Зависимость прочности смеси на разрыв в сухом состоянии от содержания связующего при заданных режимах кипячения

Содержание связующего в смеси, %	Время кипячения, с	Прочность на разрыв в сухом состоянии, МПа
0,5	5	0,88
0,5	10	0,77
0,5	15	0,72
1	5	0,95
1	10	0,81
1	15	0,73
1,5	5	0,84
1,5	10	0,71
1,5	15	0,68

Таблица 6

Итоги множественной регрессии

Итоги регрессии для зависимой переменной: Прочность на разрыв в сухом состоянии, МПа (Таблица данных 1) $R = ,90054419$ $R^2 = ,81097985$ Скоррект. $R^2 = ,74797313$ $F(2,6) = 12,871$ p						
Связующий член	БЕТА	Ст.Ош. - БЕТА	В	Ст.Ош. - В	t(6)	p-знач.
	–	–	1,014444	0,053947	1,8044	0,000001
Содержание связующего в смеси, %	–0,226003	0,177492	–0,046667	0,036650	–1,2733	0,250012
Время кипячения, с	–0,871724	0,177492	–0,018000	0,003665	–1,9113	0,002680

По данным табл. 5 видно, что при различном содержании связующего в смеси ее прочность на разрыв в сухом состоянии существенно не изменяется, хотя наблюдается его спад. Это говорит о том, что при меньшем содержании связующего его распределение по объему смеси лучше, чем при большем содержании. В связи с этим можно говорить о том, что за счет осаждения связующего на зерна песка, что дает его более качественное распределение, можно получить необходимую прочность смеси с меньшим содержанием связующего, чем при приготовлении смеси традиционными методами перемешивания (механическими), которая равна 1,5%, но все же при содержании связующего ниже 1% закономерность к понижению прочности существует.

Заключение

Таким образом, оптимальные характеристики при получении качественной песчано-масляной смеси в кипящем слое будут следующие:

– песчано-масляная смесь в кипящем слое должна иметь скорость потока воздуха, равную $0,3 \pm 0,05$ м/с, с временем перемешивания (кипения), равным 5–6 с, с максимальной прочностью;

– песчано-масляная смесь в кипящем слое не должна превышать 1% связующего, с однородностью песка не ниже 80%, для получения заведомо положительного эффекта.

Список источников

1. Лясс А.М. Быстротвердеющие формовочные смеси с жидким стеклом. М.: Машиностроение, 1965. 332 с.
2. Евангулов М.Г. Формовочное дело. Для литейщиков, формовщиков и учеников литейного дела. М.; Л.: Огиз – Гос. науч.-техн. изд-во, 1931. 238 с.

Сведения об авторах

Фирстов Александр Петрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры металлургических технологий, Нижнетагильский технологический институт (филиал) Уральского Федерального Университета, г. Нижний Тагил, Россия. E-mail: first55@mail.ru

3. Берг П.П. Формовочные материалы и смеси. Для мастеров чугунолитейных цехов. М.; Свердловск: Машгиз, 1944. 156 с.
4. Воронин Г.Н. Литейное дело. Т. 1. Л.; М.: Госмашметиздат, тип. «Красный печатник», 1932. 140 с.
5. Аксенов П.Н. Формовочное дело. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во и 1-я тип. Машгиза, 1949. 250 с.
6. Куманин И.Б., Лясс А.М. Связующие материалы для стержней. М.: Оборонгиз, 1949. 272 с.
7. Гуляев Б.Б., Корнюшкин О.А., Кузин А.В. Формовочные процессы. Л.: Машиностроение, Лен. отд., 1987. 264 с.
8. Жуковский С.С. Прочность литейной формы. М.: Машиностроение, 1989. 288 с.
9. Зюзько И.В. Технологические свойства стержневых смесей на основе органических связующих типа 4ГУ // Омский научный вестник. 2009. 1(77). С. 18–20.
10. Гуляев Б.Б., Кривицкий В.С. Технологические свойства формовочных смесей / под. ред. Б.Б. Гуляева // Труды XII совещания по теории литейных процессов. М.: Наука, 1968. С. 7–15.
11. Новый справочник химика и технолога : справ. издание / ред. А. В. Москвин. СПб.: Профессионал, 2006. 1464 с.
12. Гельперин Н. И., Айнштейн В.Г., Кваша В.Б. Основы техники псевдооживления. М.: Химия, 1967. 664 с.
13. Бувевич Ю.А., Минаев Г.А. Струйное псевдооживление. М.: Химия, 1984. 133 с.
14. Мухленов И. П. Расчеты аппаратов кипящего слоя. Л.: Химия, 1986. 352 с.
15. Лыков А.В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. М.: Стройиздат, 1954. 298 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

STUDIES OF SAND-OIL MIXTURES IN THE FLUIDIZED BED

Firstov Alexander P. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Metallurgical Technologies, Nizhny Tagil Institute of Technology (Branch) Ural Federal University, Nizhny Tagil, Russia. E-mail: first55@mail.ru.

Abstract. Publications on the use of sand-oil mixtures date back to the forties of the XX century. The presence of a large amount of vegetable oils, as a binding component in core mixtures, introduces some confusion when choosing them for use in production. Sunflower, linseed oil and related products of processing of various vegetable oils are used to a greater extent in the foundry.

Oil binders make it possible to obtain high-quality rods with high gas permeability, plasticity, knockability, are non-hygroscopic and can be stored for a long time without changing their characteristics. The gas-producing capacity of the rods is small, because the amount of binder is relatively small and ranges from 1,5 to 3%. Their availability, prevalence and cheapness allows you to pay attention to them once again.

At the same time, with the listed advantages of sand-oil mixtures, they have their drawbacks: low strength in the raw state, thereby introducing the need for the use of driers in the technology of obtaining rods; mandatory drying of these rods, which takes place at a temperature of 200÷230°C with a duration of 1÷4 hours, which increases the technological time for the manufacture of the rod; compliance with the exact technology drying rods: at a lower temperature, the drying time increases, and at a higher temperature, the oil is charred, leading to the loss of the necessary strength.

Currently, interest in vegetable fats as environmentally friendly binders for foundry production is growing again.

The purpose of this work is to revive undeservedly forgotten sand-oil binders with the possibility of a percentage reduction in their core mixture, and their percentage reduction in the composition of mixtures will lead to the abolition or reduction of the above disadvantages.

Keywords: sand-oil mixture, fluidized bed, fluidization rate, vegetable oil, strength.

Ссылка на статью:

Фирстов А.П. Исследования песчано-масляных смесей в кипящем слое // Теория и технология металлургического производства. 2023. №1(44). С. 18-23.

Firstov A.P. Studies of sand-oil mixtures in the fluidized bed. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2023, vol. 44, no. 1, pp. 18-23.