

621.742.4

---

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕСЧАНО-МАСЛЯНЫХ СМЕСЕЙ ПРИ  
ОТВЕРЖДЕНИИ НАГРЕТЫМ ВОЗДУХОМ**

---

**Фирстов А.П.**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Металлургических технологий»  
Нижнетагильский технологический институт (филиал)  
Уральского Федерального Университета  
Россия, 622031, Нижний Тагил, Красногвардейская, 59

**STUDIES OF SAND-OIL MIXTURES WHEN CURING WITH HEATED AIR****A.P. Firstov**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the Department of Metallurgical Technologies  
Nizhny Tagil Institute of Technology (branch)  
Ural Federal University  
Russia, 622031, Nizhny Tagil, Krasnogvardeyskaya, 59

**АННОТАЦИЯ**

Помимо положительных физико-химических характеристик песчано-масляных смесей, высокой прочностью на разрыв формовочной смеси после сушки, не гигроскопичностью, хорошей выбиваемостью, растительные масла все-таки исключены из литейной технологии. Основным фактором исключения растительных масел из литейного производства являлся запрет или снижение их использования в промышленности, с их передачей в пищевую промышленность.

**ABSTRACT**

In addition to the positive physico-chemical characteristics of sand-oil mixtures, high tensile strength of the molding mixture after drying, non-hygroscopicity, good knockability, vegetable oils are still excluded from the casting technology. The main factor in the exclusion of vegetable oils from foundry production was the prohibition or reduction of their use in industry, with their transfer to the food industry.

**Ключевые слова:** песчано-масляная смесь, отверждение, горячий воздух.

**Keywords:** sand-oil mixture, curing, hot air.

**В основном в литейном производстве растительные масла нашли применение как связующий компонент песчано-масляных смесей в начале XX<sup>-го</sup> века. В это время появляется много источников по песчано-масляным смесям, как связующий материал для стержней и как добавки к формовочным смесям: Косовский П.А. [1], Евангулов М.Г. [2], Карлов К.Н. [3], Кузелев М.Я. [4], Воронин Г.Н. [5], Прегер Э. [6], Гавриленко А.П. [7], Юшкин В.П. [8] и т.д.**

Более полные составы формовочных и стержневых смесей описаны в книгах, как справочный материал, начала сороковых и середина шестидесятых годов XX<sup>-го</sup> века, следующих авторов: Берг П.П. [9], Попилов Л.Я. [10], Сварика А.А. [11], Аксёнов П.Н. [12], Куманин И.Б. [13], Головин С.Я. [14], Рубцов Н.Н. [15], Гиршович Н.Г. [16] и т.д.

Для технических целей применяли масло тунга, рыжика, льна, конопли [1, 17]. Эти масла не нашли широкого применения в пищевой промышленности, а тунговое масло даже токсично [18].

В начале 30-х годов XX века встает вопрос о замене растительных масел применяющихся в технических производствах, на искусственные или синтетические вещества, а высвободившиеся

пищевые продукты применять по назначению. Этот вопрос был поднят Сталиным И.В. на XVII съезде партии ЦК ВКП(б): «Тратить жиры и масла на технические цели, когда не хватает его на питание ... В настоящее время еще не налажено производство заменителей жиров ..., ускоренного развития технических культур...» [19]. Эти заявления коснулись и литейного производства. По этой причине использование песчано-масляных смесей утратило свое значение как связующее вещество в литейном производстве. По этой причине велись работы по замене традиционных масел (льняное, хлопковое, тунговое) на другие масла (, подсолнечное 4ГУ [20], клещевины, рыжика, рапсовое [2], кукурузное и соевое [21], горчичное [22]), на их снижение в составе смесей (4ГУ [20], БМ [23], Союзформолитье» [20], «Бифталь» [4, 20], масло «С» [4] и масло «Ц» [9]), и на замену растительных масел смолами, с определенной их доводкой (ОХМ [10], СКТ [10], хлопковый soapstock [24] и хлопковый гудрон [25]). Данные примеры не привели к широкому распространению их в литейном производстве.

Таким образом, технология теплового отверждения песчано-масляных смесей, с конвективной сушкой стержней или форм, была преобладающей вплоть до конца 50<sup>-х</sup> годов XX века, пока ей на смену не пришли связующие

химического отверждения, пытающиеся заменить растительные масла.

Но возможен еще один путь возрождения песчано-масляных связующих. Такой путь может являться сокращение ввода растительных масел в литейную смесь под действием нагретого воздуха.

Сейчас, когда широко освоен процесс химического и теплового отверждения стержней непосредственно в стержневом ящике введение других компонентов в смесь можно избежать. Достичь стабильности результатов и придания повышенной прочности смеси возможно продувкой оснастки нагретым атмосферным воздухом.

Для ускорения процесса окисления (высыхания) подсолнечное масло подвергают обработке, заключающейся в продолжительном нагревании в интервале температур -  $140 \div 180^{\circ}\text{C}$ . С ростом температуры увеличивается скорость большинства реакций. И это справедливо для процесса отверждения, однако рост температуры приводит к неравномерному отверждению связующего по всему объему смеси. Использование нагрева для ускорения сушки не должно превышать температуры  $200^{\circ}\text{C}$  [26]. При сушке, помимо удаления влаги, происходят окисление и полимеризация, с укрупнение молекул. При окислении масло из жидкого состояния переходит в густую клейкую массу (линоксин). При более высокой температуре резко падают связующие свойства масляной плёнки, которая начинает гореть [20].

Активность образующихся аллильных свободных радикалов

( $-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-$ ), если ее сравнивать с активностью большинства других свободных радикалов, не очень велика, но она гораздо больше реакционной способности гидроперекисей ( $-\text{C}-\text{O}-\text{O}-$ ). Свободный аллильный радикал может реагировать со многими компонентами смеси, однако при встрече с другой двойной связью он образует новый свободный радикал большего

размера, который, в свою очередь, может продолжить стадию роста цепи в реакции окислительной полимеризации [27, 28].

Реакция полимеризации протекает достаточно медленно из-за невысокой реакционной способности компонентов растительного масла. Для ускорения протекания процесса отверждения необходимо затратить дополнительную энергию. Взаимодействие компонентов масла с кислородом воздуха должно происходить по всему объёму смеси равномерно. Для более интенсивного протекания процесса отверждения по всему объёму стержневой смеси необходимо добиться оптимального режима отверждения, принимая во внимание некоторые физические особенности:

- невысокая температура протекания процесса;
- доступ воздуха в полном объёме по всему стержню и быстрый вывод его и продуктов реакции из смеси, при минимальном его объёме.

Для реализации поставленной задачи на кафедре «Автоматизация и технология литейного производства» НТИ (филиал) УрФУ была разработана экспериментальная установка для продувки стержней подогретым воздухом.

Принцип работы заключается в следующем: из стационарного компрессора 1 (с максимальным давлением воздуха 3 атм.) воздух по трубопроводу 2 поступает в нагреватель 3, где при помощи электрических тэнов воздух нагревается до требуемой температуры.

Температура регулируется с помощью резистора сопротивления 6, который соединен с тэнами. Контроль температуры воздуха на выходе из нагревателя осуществляется термопарой 5. Далее воздух также по трубопроводу подается в стержневой ящик 4 со смесью. Для вывода воздуха в дне стержневого ящика установлены венты по периметру нижней части всего стержня.

Схема установки продувки стержней подогретым воздухом изображена на рисунке 1.



Рис. 1. Установка для продувки песчано-масляной смеси на подсолнечном масле в нагретом воздухе: 1. – компрессор; 2. – воздухонагреватель; 3. – стержневой ящик; 4. – регулятор температуры (резистор); 5. – термопара

Для исследования песчано-масляных смесей в нагретом воздухе введем следующие переменные:

независимые переменные:

$x_1$  – температура горячего воздуха при продувке образца,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$x_2$  – время продувки образца, мин;

$x_3$  – содержание подсолнечного масла, %, зависимая переменная:

$y$  – прочность смеси на разрыв, МПа.

Результаты исследований приведены в таблице 1

Таблица 1

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Время продувки, мин.	Содержание масла, %	Предел прочности в сухом состоянии, МПа
140	8	1,5	1,9
140	8	2	1,85
140	8	2,5	1,8
140	10	1,5	1,88
140	10	2	1,84
140	10	2,5	1,78
140	12	1,5	1,86
140	12	2	1,82
140	12	2,5	1,75
160	8	1,5	2
160	8	2	1,96
160	8	2,5	1,94
160	10	1,5	1,98
160	10	2	1,94
160	10	2,5	1,91
160	12	1,5	1,94
160	12	2	1,91
160	12	2,5	1,88
180	8	1,5	2,2
180	8	2	2,1
180	8	2,5	1,97
180	10	1,5	2,05
180	10	2	1,95
180	10	2,5	1,92
180	12	1,5	2,3
180	12	2	2,05
180	12	2,5	1,97

Методом множественной регрессии в статистические показатели, представленные в программе Statistic v.10.0.RU получены таблице 2:

Таблица 2

**Статистические показатели множественной регрессии при продувке песчано-масляной смеси и уравнение регрессии:**

Итоги регрессии для зависимой переменной: Прочность смеси на разрыв, МПа. (Таблица1) R= ,89789519 R2= ,80621577 Скоррект. R2= ,78093957 F(3,23)=31,896 p						
	БЕТА	Ст.Ош. - БЕТА	В	Ст.Ош. - В	t(23)	p-знач.
Св.член			1,371481	0,138086	1,93206	0,000000
Температура, $^{\circ}\text{C}$	0,770614	0,091790	0,005639	0,000672	-1,39541	0,000000
Время продувки, мин	-0,091107	0,091790	-0,006667	0,006717	-0,99256	0,331252
Содержание масла,%	-0,451740	0,091790	-0,132222	0,026867	-0,92145	0,000057

$$y = 1,37 + 0,0056x_1 - 0,007x_2 - 0,13x_3 \quad (1)$$

Анализируя найденное уравнение, получаем, что при повышении температуры и со снижением времени продувки, а так же со снижением содержания связующего песчано-масляная смесь приобретает высокую прочность.

Используя полученное уравнение (1) можно прийти к абсурду: это высокая температура (при

температуре выше  $200^{\circ}\text{C}$  масло выгорает), минимальное время продувки (зачем установка?) и «отсутствие» связующего, поэтому должны быть разумные и оптимальные пределы по использованию данного уравнения.

Дополнительные опыты: Для получения оптимальных пределов необходимо определить значения параметров путём нахождения минимальных значений температуры продуваемого

воздуха и времени продувки при которых испытываемый стержень будет иметь повышенную прочность, максимальные представлены в таблице 1. Для этого были проведены ряд дополнительных опытов, с содержанием в смеси растительного

подсолнечного масла – 1,0%. Содержание растительного подсолнечного масла выше 1,0% описано подробно в технической литературе многими авторами [13, 26, 29, 30, 31].

Таблица 3

**Определение параметров в смеси с содержанием растительного подсолнечного масла – 1,0%. по уравнению 1**

№ опыта	t <sup>0</sup> С	τ, мин	y, МПа
1	180	6	1,1
2	160	6	0,88
3	140	6	0,55
4	180	4	0,6
5	160	4	0,44
6	140	4	0,25
7	180	2	0,16
8	160	2	-

Из проведённых дополнительных опытов видно, что понижение связующего, ниже 1,5% резко снижает предел прочности в сухом состоянии, нижний уровень по времени продувки не может быть ниже четырех минут, а по температуре продуваемого воздуха температура будет достаточной в пределах 180<sup>0</sup>С, (таблица 1 и таблица 3).

Таким образом, оптимальные значения факторов по продувке воздухом песчано-масляных смесей следующие:

- температура продуваемого воздуха = 170 ÷ 180<sup>0</sup>С;
- время продувки = 6 ÷ 8 мин.;
- содержание масла = 1,5%.

### Литература

1. Косовский П.А. Рабочий справочник по чугуно-литейному и модельному делу. Общая ред. К.Ф. Неймайера М. изд. ЦК ВСРМ. 1926.-162с.
2. Евангулов М. Г. Литейное дело. М.: Вопросы труда, (Л.: тип. Ленингр. правда), 1928. - 97 с.
3. Карлов Техминимум шпешечника (стерженщика). 4-е изд., испр. и доп. М.; Л.: ОНТИ. Глав. ред. лит-ры по черной металлургии, 1937. - 182 с.
4. Кузелев М. Я. Скворцов А.А. Смеляков Н.Н. Справочник рабочего-литейщика. 3-е изд. М.; Свердловск: Машгиз, Урало-Сибирское отделение, 1961. - 584 с.
5. Воронин Г. Н. Литейное дело. Т.1. Л.; М.: Госмашметиздат, тип. "Красный печатник", 1932. - 140 с.
6. Евангулов М.Г. Технология металлов. Литейное дело. 4-ое изд. Л.-М.: Гос. издательство Ленинград-Москва, 1925. - 238 с.
7. Гавриленко А. П. Механическая технология металлов. Ч. 1: Общие свойства металлов, Ч.2. Литейное дело. Полное руководство к устройству литейных и ведению в них работ. М.: Типография Русского товарищества. Чистые пруды. Мельников, 1913. - 775 с.

8. Юшкин В. П. Литейное дело. Л.: Ленингр. машиностроит. ин-т., полиграф-лаборатория ЛМИ, 1932 - 38 с.

9. Берг П. П. Формовочные материалы и смеси. Для мастеров чугунолитейных цехов. М.; Свердловск: Машгиз, 1944. - 156 с.

10. Попилов Л.Я. Советы заводскому технологу. Справочное пособие. Л.: Лениздат, 1975. С. 7-51.

11. Сварика А.А. Формовочные материалы и смеси. Киев. Техника, 1983. - 144 с.

12. Аксенов П. Н. Формовочное дело. 2-е изд., перераб. и доп. М.: изд-во и 1-я тип. Машгиза, 1949. - 250 с.

13. Куманин И. Б. Лясс А. М. Связующие материалы для стержней. М.: Оборонгиз, 1949. - 272 с.

14. Краткий справочник литейщика. / Головин С.Я. — М.: Машгиз, 1960. -375 с.

15. Справочник литейщика. Общие сведения по литью. [Ред. Н.Н. Рубцова] М.: Изд-во: Машгиз, 1962. – 527 с.

16. Справочник по чугуноному литью / Под ред. д-ра техн. наук Н. Г. Гиршовича.—3-е изд., перераб. и доп.—Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978. - 758 с.

17. Арутюнян Н. С. Корнена Е.П. Нестерова Е.А. Рафинация масел и жиров. Теорет. основы, практика, технология, оборудование. СПб.: ГИОРД, 2004. - 282 с.

18. Богородицкий Н.П. Пасынков В.В. Тареев Б.М. Электротехнические материалы: Учебник для вузов. 7-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. - 304 с.

19. Отчетный доклад XVII съезду партии о работе ЦК ВКП(б) 26 января 1934 г. / И.В. Сталин. Сочинения / И.В.Сталин, т.13, июль 1933 – январь 1934, Гос. издательство политической литературы. М., 1953 год, 282. - 379 с.

20. Чудаков Е.А. Машиностроение. Энциклопедический справочник:

В 15-<sup>ти</sup> т. Технология литейного производства т. III. 6. М.: МАШГИЗ, 1947. - 574 с.

21. Кукуй Д.М. . Скворцов В.А. Андрианов Н.В. Теория и технология литейного производства. Минск, М.: ИНФРА-М, 2011. - 383 с.
22. Патент RU 2449855, В22С 1/24. Связующее для стержней теплового отверждения литейного производства. Кидалов Н. А. и др. 9 с. – 2011106525/02; Заяв. 21.02.2011; Оpubл. 10.05.2012. Бюл. №13.
23. А.С. 67921 СССР, Класс 22h. 2. Способ получения заменителя тунгового масла. Варламов В.С. 2 с. – 338765; Заяв. 14.06.45; Оpubл.27.02.47г.
24. А.С. 128981 СССР, Класс 31с, 103. Крепитель для стержней литейного производства. Замышляева А.М. Слозина Г.З. Платонов П.Н. 1 с. – 627011/22; Заяв. 05.05.59; Оpubл. за 1960 г. Бюл. №11.
25. А.С. 84820 СССР, Класс 31с. 101. Безмасляный крепитель для стержней. Дадашев Х.К Виткинд Л.М. 2 с. – 388800; Заяв. 15.12.48.
26. Бречко А.А., Великанов Г.Ф. Формовочные и стержневые смеси с заданными свойствами. Л.: Машиностроение, 1982. - 216 с.
27. Степанов А.Е., Краснопольский Ю.М. Физиологически активные липиды. М.. Наука. 1991. - 378 с.
28. Головкин Н. А., Перкель Р.Л. Анализ свободных жирных кислот в природных жирах методом газо-жидкостной хроматографии / «Труды ВНИИЖ» выпуск 27, 1970, С. 85 – 92.
29. Гуляев Б. Б., Корнюшкин О.А., Кузин А.В. Формовочные процессы. Л: Машиностроение, Лен. отд., 1987. - 264 с.
30. Илларионов И. Е. Васин Ю.П. Формовочные материалы и смеси. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1992. - 223 с.
31. Мамина Л.И. Кулаков Б.А. Формовочные материалы: Учебное пособие. Красноярск: Сиб федер. ун.-т, 2011. - 344 с.