

## Исследование процесса сушки гипсовых форм

Проведены исследования процесса сушки форм на основе гипса. Разработан технологический процесс сушки форм с использованием микроволновой установки, позволивший повысить качество форм и стержней за счет стабилизации их размеров, а также качество сложных алюминиевых отливок.

**Ключевые слова:** формовочная смесь на основе гипса, сушка, микроволновая установка, алюминиевые отливки.

Развитие техники и новых отраслей машиностроения определяет технологические направления производства деталей машин, к которым часто предъявляются повышенные требования. Литые изделия составляют значительную долю по массе и трудоемкости изготовления любой продукции из металла. От качества отливок, их точности и экономичности в конечном счете зависит и качество двигателей, станков, автомобилей.

Повышение сложности, точности и тонкостенности литых заготовок влияет на направление развития технологий производства отливок. Литые цветных сплавов находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности, особенно при разработке технологии производства новых высокоточных приборов, механизмов и машин. В литейном производстве основные затруднения связаны со сложностью формы деталей и необходимостью получения отливок высокого качества.

В настоящее время в мелкосерийном и опытном производстве получила распространение технология литья алюминиевых сплавов в гипсовые формы [1-4].

Такая технология имеет ряд преимуществ [1, 5]:

- в гипсовых формах можно быстро получать отливки разных размеров – от мелких до крупных, различного веса – от нескольких грамм до десятков килограмм;

- для получения отливок не нужна дорогостоящая оснастка;

- для изготовления гипсовых смесей используются широко распространенные дешевые материалы – гипс, песок, асбест и т. п.;

- выход годного составляет 70-80%, в то время как при литье таких же деталей в песчаную форму он равен лишь 20-30%.

Формовочные смеси на основе гипса состоят из трех главных компонентов: огнеупорного материала – песка, кристобалита, шамота, маршалита; армирующего материала – различных сортов асбеста с разной длиной волокна, и связки в виде гипса.

Отличительной особенностью формовочного материала на основе гипса является его хорошая текучесть в смеси с водой. Хорошая текучесть, чистота поверхностей после затвердевания и точность воспроизведения отпечатка делают возможным получение из них формы по любой сложной модели. Спо-

собность гипса быстро затвердевать, легкость и простота формовки является также важным свойством этого материала. Затвердевание в течение 5-10 мин позволяет быстро изготавливать формы и стержни.

Однако, на сегодня, по-прежнему «узким» местом остается операция сушки гипсовых форм. Сушка является энергоемкой и продолжительной операцией.

Обычная процедура сушки гипсовых стержней включает следующие операции: провяливание на стеллажах после изготовления в течение 1-2 суток; затем стержень помещают в термокамеру на 56 часов при температуре от 80 до 150 °С.

Поэтому целью работы является разработка технологии сушки форм и стержней на основе гипса в качестве формовочного материала, позволяющего сократить время ее проведения, что даст возможность получать точные детали сложной формы необходимого качества.

Процессы, происходящие в смесях, можно описать следующим образом. При смешивании порошкообразного гипса с водой образуется двугидрат кальция.

Реакция гидратации:



В процессе затвердения гипса происходит ряд химических и физических изменений. Внешне процесс твердения заключается в том, что механическая смесь порошкообразного гипса (полугидрата), песка и воды, с течением времени затвердевает.

Весь процесс затвердения гипса можно разделить на два периода: первый – период схватывания гипса, или сплетения выделившихся кристаллов двугидрата, второй период – уплотнения связей, то есть цементирования кристаллов солями, выделяющимися при испарении избыточной, свободной влаги.

Сроки затвердевания форм и стержней на основе гипса зависят от ряда факторов: от качества сырья, тонкости помола, условий обжига, температуры окружающей среды, гипса и воды при приготовлении, состава смеси, величины водогипсового соотношения, длительности и условий хранения.

Для приготовления смеси использовали гипс марки Г-10 Н-III ДСТУ Б В.2.7-82-2010, кварцевый песок 1К<sub>1</sub>О<sub>1</sub>025 ГОСТ 2138-91, ПАВ, воду.

Гипс и песок смешивают в смесителе в соотношении 2:1 в течение 10 мин до получения однородной

сухой массы. Количество воды берется в пропорции на 100 вес. ч. смеси, 45 вес. ч. воды. Температура воды должна быть в пределах 15-20 °С. Теплую воду выше 30 °С применять не желательно. Это приводит к быстрой кристаллизации гипса с излишним выделением тепла и увеличением объемного расширения. В воду добавляют ПАВ из расчета 20 г на 10 л воды для улучшения проливаемости и заполняемости формы.

Жидкую смесь готовили в специальном миксере, который вращается с частотой 600-800 об/мин. Перемешивание производили в течение 45 с. Время затвердевания такой смеси 11-13 мин.

Для исследования процесса сушки изготовлены цилиндрические образцы диаметром 70 мм и высотой 110 мм. Были изготовлены четыре партии образцов. Три партии образцов установлены на стеллаж для провяливания. Первая партия образцов провяливалась в течение 40 ч, вторая – 24 ч, третья – 16 ч. Четвертая партия образцов провяливаю на стеллажах не подвергалась.

Все образцы были взвешены и помещены в микроволновую печь «Хот-Стрим» ДВ-6-02-6-100. Сушка проводилась по графику, представленному на рис. 1. Сначала включали 1 магнетрон, который работал 30 мин. Мощность одного магнетрона – 1 кВт/ч. Затем включали второй магнетрон и сушка продолжалась еще 30 мин. Через 1 ч включен третий магнетрон и сушку проводили в течение 60 мин. Через 2 часа после начала интенсивной сушки были включены еще три магнетрона и сушка продолжалась еще 2 ч. Затем включали еще три магнетрона на 30 мин. Общее время сушки – 270 мин.

Оставшиеся образцы из микроволновой печи перенесены в тепловой шкаф, где находились в течение 24 ч при температуре 120 °С для удаления выступившей влаги с поверхности образцов.

Каждые 15 мин из микроволновой печи извлекали для взвешивания по три образца из каждой партии. Для этого процесса использовали лабораторные весы общего назначения с точностью взвешивания 0,01 г. По результатам экспериментов для каждой партии образцов построены зависимости потери влаги с течением времени сушки. На рис. 2 представлены зависимости потери веса образцами от времени сушки для первой партии образцов с самым продолжительным временем естественной сушки.

В результате обработки данных в исследуемом

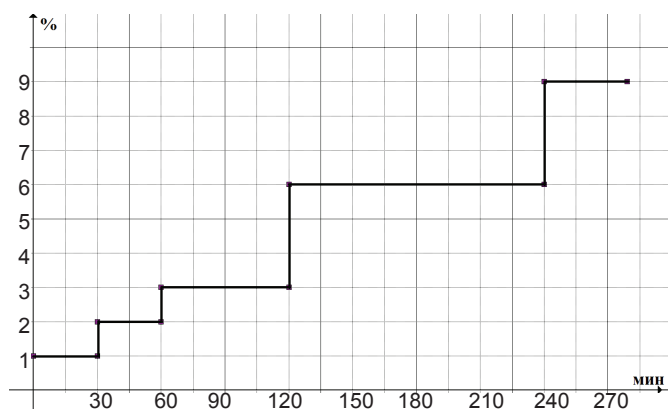


Рис. 1. Схема сушки гипсовых образцов

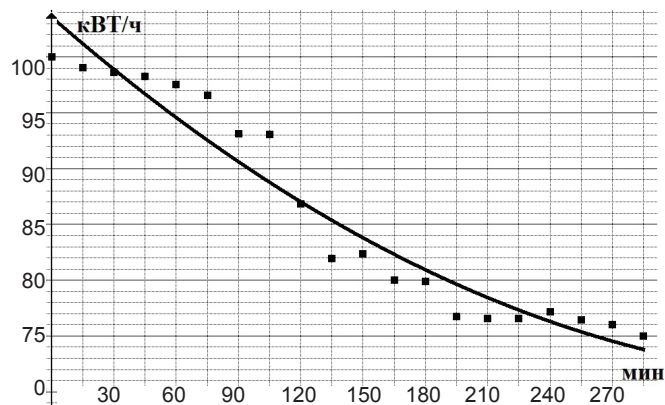


Рис. 2. Зависимость потери веса образцами от времени их сушки

интервале установлено, что потерю веса образцами за время сушки можно описать экспоненциальным уравнением.

В таблице приведены математические зависимости потери веса образцами за время сушки и величины достоверности аппроксимации  $R^2$ .

#### Математические зависимости потери веса образцами за время сушки

Номер партии	Уравнение полиномы	Коэффициент достоверности
1	$y = 0,0203x^2 - 1,6235x + 103,5788$	$R^2 = 0,9394$
2	$y = 0,0072x^2 - 1,3056x + 102,9649$	$R^2 = 0,9522$
3	$y = 0,0189x^2 - 1,5518x + 103,9131$	$R^2 = 0,9037$
4	$y = 0,012x^2 - 1,1913x + 102,4617$	$R^2 = 0,9425$

Опытным путем установлено, что одновременное включение большого количества магнетронов (6-9) приводит к быстрому нагреву форм и стержней, что влечет за собой большой риск их полного разрушения. Кроме того, происходит стремительная потеря влаги в наружных слоях форм и стержней, что значительно увеличивает осыпаемость песка с их поверхности и приводит к образованию засоров в отливках. Прочность форм и стержней при этом резко снижается, нарушается геометрия размеров.

При эксплуатации установки с использованием 1-2 магнетронов формы и стержни нагревались очень медленно. Потеря влаги увеличивалась на 5-7% по сравнению с провяливанием на воздухе, время сушки при этом изменилось не существенно.

При режиме работы на 5-6 магнетронах формы теряют 20-25% влаги за промежуток времени 3-5 часов.

Повторная сушка форм и стержней в микроволновой установке приводит к их полному разрушению.

Анализ проведенных исследований показал, что целесообразно использовать комбинированный режим сушки, включающий в себя предварительное провяливание на воздухе, затем плавную сушку в микроволновой установке и дополнительную сушку в

тепловом шкафу. Заключительную операцию необходимо производить на протяжении 20-24 ч для того, чтобы удалить влагу, которая выступает на поверхности форм и стержней при сушке в микроволновой установке. В противном случае при заливке металл «кипит» и в отливках возникают газовые раковины.

При данном режиме сушки формы нагреваются постепенно, только через 2 часа после начала сушки начинается видимое осветление ее поверхности и происходит интенсивная потеря влаги, температура поверхности образцов превышает 50 °С. После 270 мин такого режима образцы перестают терять влагу, поэтому их помещают в термошкаф для удаления влаги с поверхности. Лучшую чистоту поверхности и меньшую плотность имеют образцы из первой партии.

Экономический эффект при внедрении новой технологии сушки с использованием микроволновой вакуумной установки позволил практически вдвое сократить затраты на электричество. Таким образом, заливать метал в гипсовую форму по новой технологии можно уже через сутки после начала сушки, в то время как при стандартном подходе – через трое суток.

## Выводы

Изучение механизма потери влаги гипсопесчаными формами позволяет:

– вводить в состав смеси только необходимое количество воды, что ведет к снижению брака по газовым раковинам и улучшить качество поверхности отливки;

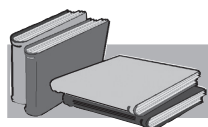
– определять оптимальное время сушки формы в зависимости от толщины ее стенки и состава формочной смеси.

Разработаны математические зависимости потери влаги образцами в зависимости от продолжительности сушки, которые можно описать в виде экспоненциальных зависимостей.

Проведены исследования процесса сушки песчаных форм на основе гипса и разработан технологический процесс сушки форм с использованием микроволновой установки, позволивший повысить качество форм и стержней за счет стабилизации их размеров, а также качество сложных алюминиевых отливок.

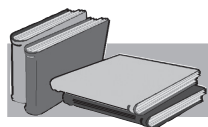
Предложенный режим сушки позволяет снизить ее длительность на 50% и тем самым уменьшить затраты на электроэнергию до 50-70% в зависимости от размеров стержня.

Предложенный технологический процесс сушки показал свою высокую эффективность и был апробирован в производственных условиях НПЦ «Европейские технологии машиностроения», г. Харьков.



## ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванов В. Н.* Специальные виды литья: Учебное пособие / Под ред. В. С. Шуляка. – М.: МГИУ, 2007. – 316 с.
2. Специальные способы литья: Справочник / В. А. Ефимов, Г. А. Анисович и др. / под ред. В. А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 436 с.
3. *Оболенцев Ф. Д.* Качество литых поверхностей. – М.: Машгиз, 1965. – 284 с.
4. *Кестнер О. Е., Бураданьянц В. К.* Точное литье цветных сплавов в гипсовые и керамические формы. – М.: Машиностроение, 1973. – 287 с.
5. *Ясюков В. В., Лысенко Т. В., Волянская К. В.* Композиционные отливки с регулируемым поверхностным слоем // Металл и литье Украины. – 2016. – № 4. – С. 36-40.
6. *Бураданьянц В. К.* Гипсовая оснастка для точного литья. – М.: Машиностроение, 1963. – 245 с.
7. *Мариненко Д. В., Пономаренко О. И., Гримзин И. А.* Получение корпусных тонкостенных отливок в гипсовые формы // Матеріали Х міжнародної науково-практичної конференції «Литво-2016» (24-26 травня 2016 р., м. Запоріжжя). Запоріжжя: Редакційний відділ ЗТПП, 2016. – С. 180-181.



## REFERENCES

1. *Ivanov V. N.* (2007). Spetsial'nye vidy lit'ia: Uchebnoe posobie [*Special types of casting: Manual*]. Ed. by V. S. Shuliak. Moscow: MGU, 316 p. [in Russian].
2. *Efimov V. A., Anisovich G. A.* et al. (1991). Spetsial'nye sposoby lit'ia: Spravochnik [*Special casting methods: Directory*]. Ed. by V. A. Efimov. Moscow: Mashinostroenie, 436 p. [in Russian].
3. *Obolentsev F. D.* (1965). Kachestvo litykh poverkhnostei [*Quality of cast surfaces*]. Moscow: Mashgiz, 284 p. [in Russian].
4. *Kestner O. E., Buradan'iants V. K.* (1973). Tochnoe lit'e tsvetnykh splavov v gipsove i keramicheskie formy [*Precision molding of color alloys in plaster and ceramic molds*]. Moscow: Mashinostroenie, 287 p. [in Russian].
5. *Yasiukov V. V., Lysenko T. V., Volianskaia K. V.* (2016). Kompozitsionnye otlivki s reguliruemym poverkhnostnym sloem [*Composition mold pieces with the adjustable surface layer*]. Metall i lit'e Ukrainy, no. 4, pp. 36-40 [in Russian].
6. *Buradan'iants V. K.* (1963). Gipsovaia osnastka dlia tochnogo lit'ia [*The plaster equipment for precise molding*]. Moscow: Mashinostroenie, 245 p. [in Russian].
7. *Marinenko D. V., Ponomarenko O. I., Grimzin I. A.* (2016). Poluchenie korpusnykh tonkostennykh otlivok v gipsove formy [*Receiving shell-type thin-walled mold pieces in plaster molds*]. Materialy X mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Litvo-2016» (24-26 travnia 2016 r., m. Zaporizhzhia), Zaporizhzhia Redaktsiinyi viddil ZTPP, pp. 180-181 [in Russian].

---

**Анотація**

*Грімзін І. А., Пономаренко О. І., Мариненко Д. В., Євтушенко Н. С.*  
Дослідження процесу сушіння гіпсових форм

*Проведено дослідження процесу сушіння форм на основі гіпсу. Розроблено технологічний процес сушки форм із використанням мікрохвильової установки, що дозволило підвищити якість форм і стрижнів за рахунок стабілізації їх розмірів, а також якість складних алюмінієвих виливків.*

---

**Ключові слова**

*Формувальна суміш на основі гіпсу, сушіння, мікрохвильова установка, алюмінієві виливки.*

---

**Summary**

*Grimzin I., Ponomarenko O., Marinenko D., Yevtushenko N.*  
Investigation of the drying process of gypsum molds

*It was carried out the investigation of the drying process of forms on the basis of gypsum. It was developed the technological process of drying of forms using microwave installation that allowed improving the quality of molds and cores due to stabilization of their sizes as well as quality of complex aluminum castings.*

---

**Keywords**

*Molding sand on the basis of gypsum, drying, microwave installation, aluminum castings.*

Поступила 12.03.17