

О. И. Шинский /д. т. н./, В. О. Шинский

Т. В. Лысенко /д. т. н./, Л. И. Солоненко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев, Украина  
Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина  
e-mail: joy\_ludmila.89@mail.ru

## Физические свойства низкотемпературных литейных форм

О. I. Shynsky /Dr. Sci. (Tech.), V. O. Shynsky

Т. V. Lysenko /Dr. Sci. (Tech.), L. I. Solonenko

Physical-technological Institute metals and alloys of NASU, Kiev, Ukraine

Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine  
e-mail: joy\_ludmila.89@mail.ru

## Physical properties of low-temperature casting molds

**Цель.** Определить рациональное значение влажности формовочной смеси для изготовления низкотемпературных форм (НТФ). А также определить влияние плотности формовочной смеси на прочностные характеристики формы и влияние вакуумирования в процессе охлаждения на твердость НТФ.

**Методика.** Применены стандартные методики определения текучести смеси, плотности и влияния вакуумирования на твердость.

**Результаты.** Определены рациональные значения влажности формовочной смеси для изготовления НТФ, влияние плотности формовочной смеси на прочностные характеристики, влияние вакуумирования в процессе охлаждения на твердость НТФ.

**Научная новизна.** Получены зависимости влияния технологических параметров формовочной смеси и параметров процесса на основные технологические свойства низкотемпературных форм, позволяющие прогнозировать их свойства.

**Практическая значимость.** Использование результатов исследований позволяет получать низкотемпературные формы с заданными свойствами, обеспечивающими производство качественных отливок из алюминиевых и железоуглеродистых сплавов. (Ил. 3. Табл. 3. Библиогр.: 4 назв.)

**Ключевые слова:** низкотемпературная литейная форма, плотность, твердость, влажность, текучесть.

**Постановка проблемы.** Задача изготовления литейной формы заданной прочности при минимальных затратах труда, энергетических и материальных ресурсов продолжает оставаться весьма актуальной. Одним из направлений решения этой задачи является применение НТФ, где роль связующего вещества выполняет вода. Использование воды в качестве связующего вещества приводит к сокращению трудоемкости операций формообразования и выбивки форм и стержней на 80–90 %, а также существенно сокращает объем вредных газовых выбросов в окружающую среду.

**Целью работы** является определение рационального значения влажности формовочной смеси для изготовления НТФ, оценка влияния насыпной плотности формовочной смеси на прочность НТФ, а также влияния вакуумирования в процессе охлаждения на твердость НТФ.

**Изложение основного материала исследования.** Качество литейной формы, которая в значительной степени определяет качество отливки, зависит от целого ряда свойств формовочной смеси. Для процесса формообразования особое значение имеют пластические свойства, которые позволяют оценить реакцию смеси на внешнее усилие, т. е. способность формоваться. Способность смесей к деформации определяется текучестью.

Текучесть характеризует способность формовочной смеси под действием внешнего давления получать пластические деформации без изменения объема и заполнять полость формы или стержневого ящика [1]. Это свойство определяет равномерность распределения смеси при уплотнении по всему объему формы. Учитывая такую особенность НТФ, как низкая сырая прочность, которая не зависит от способа и усилия уплотне-

ния, наиболее рациональным способом уплотнения смеси является виброуплотнение. В пользу этого метода свидетельствует и повышение текучести смеси при вибрации формы. В этом случае текучесть смеси приобретает решающее влияние на распределение плотности, а следовательно, и механические свойства формы.

Влияние текучести (сопротивления сдвигу) зависит от внутреннего трения смеси и от сил взаимного сцепления. Силы сцепления, действующие в смесях, обусловлены молекулярными и капиллярными силами. В смесях НТФ, состоящих в основном из песка и воды, силы сцепления зависят от количества влаги и доли глинистой составляющей в песке.

Учитывая достаточный уровень механических свойств НТФ, изготовленных из смесей без добавки глины, и отрицательное ее влияние на газопроницаемость, исследование текучести проводили на смесях без добавления глины.

Для исследований формовочной смеси использовался песок марки ЗК02А (гранулометрический состав 0315-02-016 со средним значением зерна 0,24 мм и модулем мелкости  $N = 67,08$  (ГОСТ 2138-91). Содержание влаги в исследуемых смесях определялось по ГОСТ 23409.5-78.

Содержание воды в смеси по массе изменяли от 0 до 15 %. Результаты определения текучести смесей для изготовления НТФ приведены в табл. 1 и представлены на рис. 1.

Таблица 1

### Результаты определения текучести смесей

Содержание воды, %	0	2	5	7	10	15
Текучесть, %	62	47	53	54	55	55

Анализ приведенных результатов показывает, что сухой песок, вследствие отсутствия каких-либо связующих компонентов, обладает текучестью 62 %. Незначительная добавка воды – 2 % снижает текучесть смеси до 47 %. Дальнейшее увеличение содержания воды в смеси способ-

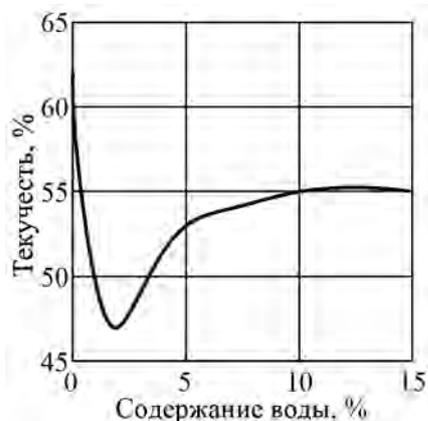


Рис. 1. Влияние содержания воды на текучесть формовочной смеси

ствует увеличению текучести, причем при содержании воды в смеси 5 и 15 % различие в этом показателе незначительно и составляет 2 %. Меньшее значение текучести при содержании воды 2 % очевидно вызвано гидратацией глинистой составляющей в песке и действием капиллярных сил и сил сцепления, которые могут достигать больших значений.

Возрастание текучести смеси при содержании воды более 2 % можно объяснить появлением избыточной воды, находящейся в виде гравитационной или механически удерживаемой влаги и адсорбцией влаги на поверхности песчинок, что снижает силы трения между ними.

Смеси с содержанием воды 5 % и более процентов обладают практически одинаковыми значениями текучести. Таким образом, исходя из соображений получения достаточного уровня механических свойств, газопроницаемости и текучести, можно считать, что оптимальное значение влажности формовочной смеси для изготовления НТФ составляет 5 %.

Данные о двух механических параметрах – уплотняемости и твердости – представлены вместе, т. к. твердость и прочность НТФ зависит от плотности смеси в форме.

В исследованиях применялось уплотнение образцов с помощью копра и виброуплотнение экспериментальных форм. Использовался песок марки ЗК02А (гранулометрический состав 0315-02-016 со средним значением зерна 0,24 мм и модулем мелкости  $N = 67,08$  (ГОСТ 2138-91). Методика определения плотности выполнялась по ГОСТ 23409.13-78. Плотность смеси составила:

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{0,169}{0,000098} = 1724 \text{ кг/м}^3$$

Уплотнение форм производилось на вибростоле при амплитудах колебания от 0,04 до 1,5 мм, с частотой вибрации 3000 об/мин (табл. 2).

На рис. 2 и 3 приведены зависимости величин плотности формовочной смеси для образцов с высотой 50 и 150 мм при изменении амплитуды и при постоянном времени вибрации 2 мин, и при изменении времени и постоянной амплитуде (1,1 мм). Анализ зависимостей на рис. 2 и 3 плотности формовочной смеси показывает, что с увеличением амплитуды вибрации плотность смеси увеличивается до  $1700 \text{ кг/м}^3$  при амплитуде вибрации 1,1 мм. Дальнейшее увеличение амплитуды вибрации не оказывает заметного влияния на изменение плотности смеси.

При уплотнении образцов с постоянной амплитудой 1,1 мм нарастание плотности во времени происходит в течении 1 мин, после чего плотность практически не изменяется. Изме-

Амплитуда колебания вибростола при различных режимах

№ ступеней регулирования	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Амплитуда, мм	0,04	0,06	0,07	0,11	0,15	0,3	0,45	0,6	0,83	1,1	1,5

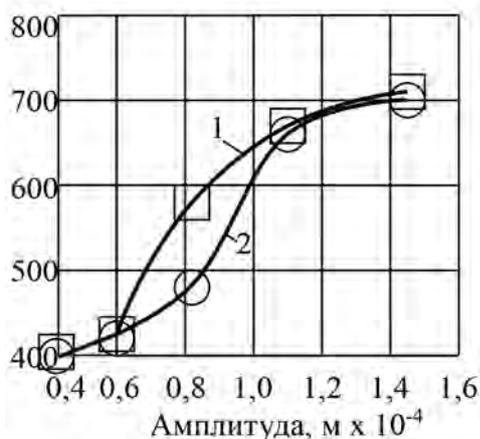


Рис. 2. Влияние амплитуды вибрации на плотность формовочной смеси при постоянном времени уплотнения:

- 1 – при высоте смеси в опоке 150 мм;
- 2 – при высоте смеси в опоке 50 мм

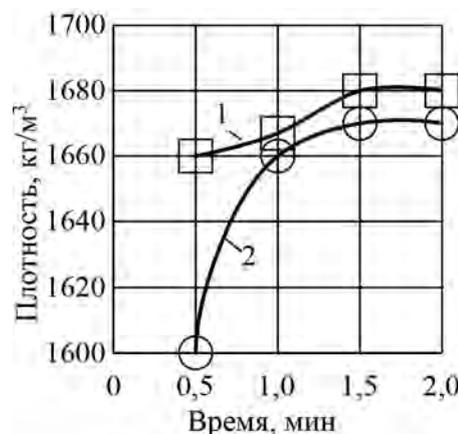


Рис. 3. Влияние времени уплотнения на плотность формовочной смеси при постоянной амплитуде вибрации:

- 1 – при высоте смеси в опоке 150 мм;
- 2 – при высоте смеси в опоке 50 мм

ние высоты смеси в опоке существенно влияет на плотность лишь на начальном этапе уплотнения. В дальнейшем различие в плотности уменьшается и находится в пределах 1...3 %.

Для определения влияния плотности формовочной смеси на твердость опоку объемом 0,003379 м<sup>3</sup> и габаритами 230×115 мм с влажным песком подвергали вибрации по различным режимам, в результате чего получали формовочную смесь с плотностью 1400...1700 кг/м<sup>3</sup>. Затем форму замораживали и измеряли твердость статическим способом непосредственно в холодильной камере. Было установлено, что разница в твердости форм, уплотненных по различным режимам, обусловленная различием в плотности формовочной смеси 1700 кг/м<sup>3</sup> и 1540 кг/м<sup>3</sup>, не превышает 8...9 %, а изменение температуры замораживания приводит к увеличению плотности до 25 %. Твердость НТФ в большей степени определяется температурой охлаждения, чем плотностью смеси в процессе ее уплотнения.

Влияние вакуумирования в процессе охлаждения на твердость НТФ определяли в нижней части экспериментальной формы, где предус-

мотрена вакуумируемая полость. Воздух откачивается с помощью насоса ВВН1-0,75 до вакуума 0,05 МПа, замораживание под вакуумом до указанной температуры проводили в камере, там же измеряли твердость. Результаты приведены в табл. 3.

Таким образом, в результате вакуумирования твердость замороженной формовочной смеси возрастает, причем при понижении температуры замораживания эффект упрочнения снижается: определяющим становится упрочнение от замораживания.

**Выводы**

1. Установлено, что песок с содержанием воды 5 % и более процентов обладают практически одинаковыми значениями текучести. Таким образом, исходя из соображений получения достаточного уровня механических свойств, газопроницаемости и текучести, можно считать, что рациональное значение влажности формовочной смеси для изготовления НТФ составляет 5 %.

2. Установлено, что разница в твердости форм, уплотненных по различным режимам,

Таблица 3

Измерение твердости при вакуумировании

Температура замораживания смеси, °С	Твердость		Изменение твердости, Δ %
	Без вакуумирования	При вакуумировании	
-10	37,5	46,5	24
-20	51	58	14
-25	62,5	67	7

с плотностью формовочной смеси 1700 кг/м<sup>3</sup> и 1540 кг/м<sup>3</sup> не превышает 8...9 %, а понижение температуры замораживания приводит к увеличению плотности до 25 %. Твердость НТФ в большей степени определяется температурой охлаждения, чем плотностью смеси в процессе ее уплотнения.

3. Установлено, что в результате вакуумирования твердость замороженной формовочной смеси возрастает, причем при понижении температуры замораживания эффект упрочнения снижается: определяющим становится упрочнение от замораживания.

### Библиографический список / References

1. Ниномия Мицуо. Скорость замораживания песочных форм и удельный расход сжиженного азота / Ниномия Мицуо, Катасима Сабуро // Imono J. Jap. Foundrymen's Soc. - 1986. - № 2. - С. 98-104

Ninomia Mitsuo. *Skorost zamorajivaniay pesochnyh form i udelniy rashod snijennogo azota.* Foundrymen's Soc. 1986, no. 2. pp. 98-104.

2. Иванов В. Н. Состояние и перспективы развития массового производства отливок по выплавляемым моделям / В. Н. Иванов // Литейное производство. - 1970. - № 5. - С. 18-21.

Ivanov V.N. *Sostoaynie i perspektivy razvoitiay massovogo proizvodstva otlivok po viplavlayimum modelaym.* Liteynoe proizvodstvo. 1970, no. 5, pp. 18-21.

3. Грузман В. М. Литье в замороженные формы: Обзор / В. М. Грузман. - Москва: НИИМаш, 1983. - 40 с.

Gruzman V. M. (1983). *Litie v zamorojennye formy: obzor* [Casting in frozen form: overview]. Moscow, NIImash, 40 p.

4. Тарасевич Н. И. Моделирование процессов теплопередачи в замороженных формах / Н. И. Тарасевич, И. В. Корниец, О. И. Шинский, О. И. Васильев // Процессы литья. - 2000. - № 2. - С. 61-64.

Tarasevich N. I., Korniets I. V. Shinskiy O. I., Vasiliev O. I. *Modelirovanie protsessov teploperedachi v zamorojennyh formah.* Protsessy litiay. 2000, no. 2, pp. 61-64

**Purpose.** To determine the optimal value of moisture of the moulding mixture for the manufacture of low-temperature forms (LTF). And to determine the influence of density of sand on strength characteristics and the effect of degassing in the process of cooling on the hardness of the LTF.

**Methodology.** Applied standard methods for determining the fluidity of the mixture, density and the effect of degassing on hardness.

**Results.** The optimal value of moisture of the moulding mixture for the manufacture of NTF, the effect of density of sand on strength characteristics, the influence of degassing in the process of cooling on the hardness of the NTF.

**Originality.** The dependences of influence of technological parameters of molding sand and process parameters on basic technological properties of low-temperature forms used to predict their properties.

**Practical value.** The use of research results allows to obtain low-temperature forms with desired properties, enabling the production of quality castings of aluminum and iron-carbon alloys.

**Key words:** casting low-temperature form, density, hardness, moisture content, fluidity.

**Рекомендована к публикации  
д. т. н. В. Е. Хрычиковым**

**Поступила 22.03.2017**

