

Влияние состава, дисперсности и температуры охлаждения формовочных материалов на прочностные свойства низкотемпературных форм

Рассмотрены вопросы, связанные с изучением влияния состава, дисперсности и температуры охлаждения формовочных материалов на прочностные свойства низкотемпературной формы (НТФ). В результате проведенных исследований с целью определения прочностных показателей НТФ показано, что основными факторами, оказывающими влияние на прочностные свойства замороженной формовочной смеси, являются влажность и температура охлаждения, менее эффективно на повышении прочности сказывается добавка в смесь глины и уменьшение зернистости песка.

Ключевые слова: низкотемпературная форма, замороженная формовочная смесь, прочность на изгиб, прочность на сжатие, деформация.

Проблема получения литейной формы заданной прочности при минимальных затратах труда, энергетических и материальных ресурсов продолжает оставаться весьма актуальной. Одним из перспективных методов решения этой проблемы может стать применение низкотемпературных форм (НТФ) [1]. Литье в НТФ связано с существенным увеличением прочности литейных форм и стержней в 5-10 раз в сравнении с соответствующими характеристиками песчаных сырых и сухих форм и стержней.

Использование воды в качестве основного связующего приводит к сокращению трудоемкости операций формообразования, выбивки форм и стержней на 80-90%, а также существенному сокращению вредных газовых выбросов в окружающую среду при операциях приготовления, удаления формовочной и стержневой смесей [2].

Основной целью работы являлось определение прочностных показателей НТФ в зависимости от влажности, температуры охлаждения, добавки глины и зернистости песка. В работе использовали стандартные методики исследований свойств замороженной формовочной смеси.

Для ограничения объема опытно-лабораторных работ и получения общих зависимостей влияния перечисленных параметров НТФ на ее прочностные характеристики применен метод многофакторного эксперимента. Переменные факторы при постоянной плотности формовочного материала $\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$

представлены в табл. 1. По результатам 16 экспериментов (табл. 2, 3) по каждому виду испытаний получены уравнения регрессии для определения прочности как многофакторной функции:

$$\sigma_{\text{сж}} = -1,89 + 0,55B - 0,07T - 0,41Г + 5,34M - 0,007BT + 0,004BG - 0,3BM - 0,015TG + 0,021TM - 0,28GM, \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{и}} = 1,14 + 23,17B - 0,0338T - 0,266Г + 0,0602M - 0,0045BT + 0,0045BG + 0,0633BM - 0,0023TG + 0,0193TM + 0,2533Г, \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{сж}}$ – предел прочности на сжатие; $\sigma_{\text{и}}$ – предел прочности на изгиб.

Анализ полученных уравнений позволил сделать вывод о достаточно высоком уровне детерминированности ($r_2 = 0,921$ для $\sigma_{\text{сж}}$ и $r_2 = 0,905$ для $\sigma_{\text{и}}$), что указывает на наличие сильной зависимости между независимыми переменными и уровнем прочности формы. Использование F статистики позволило определить, является ли этот результат случайным. Так как полученный результат определения $F_2 = 32,3$ значительно больше табличного $F_{\text{кр}} = 4,8$, полученные уравнения могут быть использованы для прогноза уровня прочности НТФ. Расчеты значимости переменных с применением t -статистики показали, что основными факторами, оказывающими влияние на прочность формы, являются влажность и температура, в то время как количество глины и дисперсность песка практически не оказывают влияния на прочность

Таблица 1

Элементы многофакторного эксперимента

№ п/п	Факторы	Обозначение	Предельные значения		
			-1	0	+1
1	Влажность смеси, %	B	5	7,5	15
2	Температура замораживания, °С	T	-60	-35	-10
3	Добавка глины, %	Г	0	2,5	3
4	Максимальный размер зерен песка	M	0,25	0,62	1

Таблица 2

Исходные и расчетные данные по определению прочности на изгиб замороженной формовочной смеси

№ п/п	Факторы				$\sigma_{и}$, МПа	
	Влажность, %	Температура, °С	Добавка глины, %	Максимальный размер зерен песка, мм	Экспериментальная	Расчетная
1	15	-10	5	1,0	5,85	6,84
2	5	-10	5	1,0	4,45	3,21
3	15	-60	5	1,0	11,50	11,52
4	5	-60	5	1,0	5,40	5,64
5	15	-10	0	1,0	6,80	6,45
6	5	-10	0	1,0	2,45	3,05
7	15	-60	0	1,0	11,20	10,55
8	5	-60	0	1,0	4,50	4,90
9	15	-10	5	0,25	5,83	5,27
10	5	-10	5	0,25	1,30	2,12
11	15	-60	5	0,25	11,10	10,67
12	5	-60	5	0,25	5,10	5,27
13	15	-10	0	0,25	5,90	5,84
14	5	-10	0	0,25	3,10	2,91
15	15	-60	0	0,25	9,69	10,66
16	5	-60	0	0,25	6,30	5,49

Таблица 3

Исходные и расчетные данные по определению прочности на сжатие замороженных формовочных смесей

№ п/п	Факторы				$\sigma_{сж}$, МПа	
	Влажность, %	Температура, °С	Добавка глины, %	Максимальный размер зерен песка, мм	Экспериментальная	Расчетная
1	15	-10	5	1,0	6,3	6,52
2	5	-10	5	1,0	4,0	3,02
3	15	-60	5	1,0	18,4	18,65
4	5	-60	5	1,0	10,8	11,30
5	15	-10	0	1,0	9,2	8,92
6	5	-10	0	1,0	4,6	5,62
7	15	-60	0	1,0	17,5	17,3
8	5	-60	0	1,0	10,7	10,15
9	15	-10	5	0,25	6,8	7,1
10	5	-10	5	0,25	0,9	1,35
11	15	-60	5	0,25	20,8	20,02
12	5	-60	5	0,25	10,4	10,45
13	15	-10	0	0,25	8,7	8,45
14	5	-10	0	0,25	3,4	2,9
15	15	-60	0	0,25	16,9	17,62
16	5	-60	0	0,25	8,2	8,22

НТФ. Для сравнения полученных расчетных данных с экспериментальными на рис. 1 представлен в виде двух штриховых линий график расчетных значений $\sigma_{и}$ (для случая В = 5%, температур от -10 С до -60 °С, Г = 0 и 5%). Расчетные кривые приближаются к экспериментальным.

Проведенный анализ результатов экспериментов по определению влияния параметров замороженной формовочной смеси на ее предел прочности на сжатие показал (рис. 2), что уже при температуре замораживания -10 °С величина $\sigma_{сж}$ для песка с 5%-ми влаги без добавки глины (кривые 4 и 5) превышает 4 МПа. Это значительно выше прочности сухих форм. С понижением температуры замораживания (до -60 °С) величина $\sigma_{сж}$ растет более, чем вдвое, достигая 8-11 МПа. Резко возрастает прочность и

при повышении влажности до 15%. Это связано с образованием более толстой непрерывной ледяной связки между песчинками, которая может колебаться в пределах 10-44 мкм, за счет сильного капиллярного всасывания. При понижении температуры прочность такой связки возрастает, так как возрастает прочность самого льда [3].

Важным фактором, определяющим прочностные свойства замороженного формовочного материала, является состав песка. Пески, содержащие малые количества SiO₂ (тощие пески типа Т016Б), являются многофазным материалом, в состав которого входит глина, полевошпат, слюда и окислы [4]. Такие примеси в составе песка создают дополнительные плоскости скольжения в системе «лед-песок» и снижают ее прочность. Такой песок не может быть

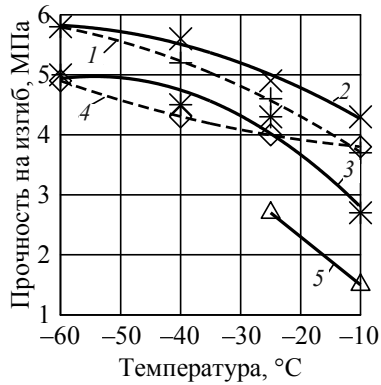


Рис. 1. Прочность на изгиб низкотемпературной смеси: 1 – песок ЗК02А, влажность 5%, без добавки глины; 2 – песок ЗК02А, влажность 5%, без добавки глины; 3 – песок ЗК02А, влажность 5%, с добавкой глины 5%; 4 – песок ЗК02А, влажность 5%, с добавкой глины 5%; 5 – лед пресноводный

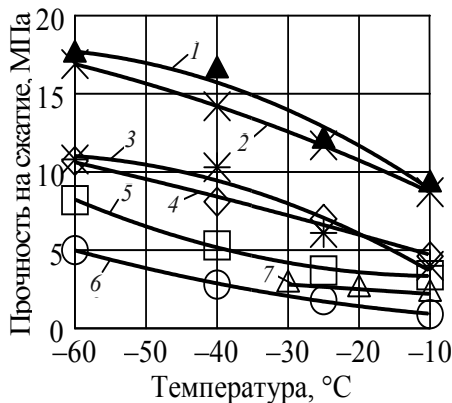


Рис. 2. Прочность на сжатие низкотемпературной формовочной смеси: 1 – песок ЗК02А, влажность 5%, без добавки глины; 2 – песок ЗК02А, влажность 5%, без добавки глины; 3 – песок ЗК02А, влажность 5%, с добавкой глины 5%; 4 – песок ЗК02А, влажность 5%, с добавкой глины 5%; 5 – песок ЗК16А влажность 5%, без добавления глины; 6 – песок Т016В влажность 5%, без добавления глины; 7 – лед пресноводный

использован как основа замороженной формовочной смеси.

Добавка в замороженный формовочный материал 5% глины повышает прочность его на сжатие незначительно (кривые 4 и 3). Такая смесь может быть отнесена уже к смесям 2-го рода. При перемешивании в них происходит образование глинистой пасты, обладающей высокой структурной прочностью и пластической вязкостью. Связующие с глиной распределяются более равномерно между манжетами и пленками на свободных поверхностях. Толщины оболочек находятся в пределах от 10 до 30 мкм. При этом известно [5], что чем меньше соотношение в связующем между содержанием глины и жидкой фазы, тем больше проявляются капиллярные свойства композиции и тем меньше роль глины в формировании структуры.

Проведенные испытания на разрыв образцов формовочной смеси

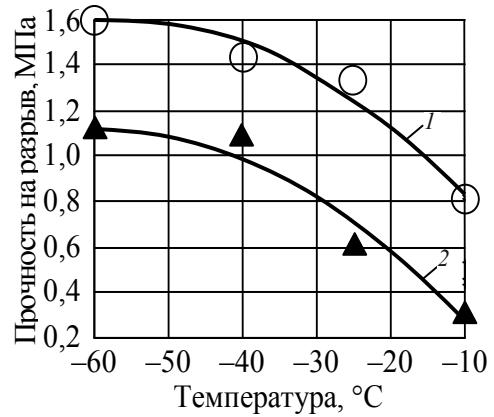


Рис. 3. Прочность на разрыв низкотемпературной формовочной смеси: 1 – песок ЗК02А, влажность 5%, без добавки глины; 2 – песок ЗК02А, влажность 5%, без добавки глины

показали (рис. 3), что уже при $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 5% влажности прочность смеси на разрыв $0,3\text{ МПа}$ на порядок выше прочности сырой смеси для автоматических линий $0,012\text{--}0,035\text{ МПа}$ и вдвое выше прочности сухой смеси $0,05\text{--}0,15\text{ МПа}$, а при 15%-ной влажности равна средней прочности стержневой массы $1\text{--}1,5\text{ МПа}$ [2].

При понижении температуры замораживания формы от $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ прочность на сжатие возрастает более чем вдвое. Как и при сжатии, прочность на разрыв с увеличением влажности смеси от 5 до 15% возрастает примерно вдвое. Более эффективно влияет на прочность повышение влажности при низкой температуре замораживания формы.

Сравнение значений прочности на сжатие и разрыв показали (табл. 4), что для замороженной формовочной смеси величина $\sigma_{\text{сж}}$ более чем на порядок выше, чем $\sigma_{\text{р}}$. Такое соотношение наблюдается и для обычных формовочных смесей [5].

Результаты испытания на изгиб (рис. 1) показывают, что прочность НТФ как с добавками глины, так и без них, возрастает по мере охлаждения, но не столь резко, как при других механических испытаниях и увеличивается примерно на 50%. Добавка 5% глины повышает на 20% прочность НТФ на изгиб. Следует отметить, что соотношение значений $\sigma_{\text{и}}$, $\sigma_{\text{р}}$ и $\sigma_{\text{сж}}$ отличается от таковых в обычной песчано-глинистой форме и составляет для НТФ:

$$\sigma_{\text{сж}} > 2\sigma_{\text{и}} > 10\sigma_{\text{р}}, \quad (3)$$

для обычных смесей это соотношение имеет вид:

$$\sigma_{\text{сж}} > 10\sigma_{\text{р}} > 30\sigma_{\text{и}}. \quad (4)$$

Таблица 4

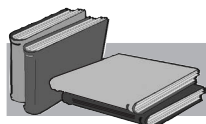
Прочность замороженной формовочной смеси (песок ЗК02А, влажность 5% и 15%)

Прочность, МПа	$t_{\text{охл}} = -60\text{ }^{\circ}\text{C}$		$t_{\text{охл}} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$	
	Влажность 5%	Влажность 15%	Влажность 5%	Влажность 15%
$\sigma_{\text{сж}}$	11,0	17,5	4,5	9,0
$\sigma_{\text{р}}$	1,1	1,6	0,3	0,8

Выводы

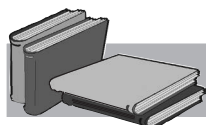
В результате проведенных исследований с целью определения прочностных показателей НТФ проведены эксперименты и показано, что основными факторами, оказывающими влияние на прочностные свойства замороженной формовочной смеси являются влажность и температура охлаждения, менее эффективно на повышение прочности сказывается добавка в смесь глины и уменьшение зернистости

песка. Прочность на сжатие смеси с 5% влажности и без добавки глины превышает 8-11 МПа, что значительно выше уровня прочности сухих форм. Отмечено повышенное сопротивление НТФ изгибающим напряжениям. Установлены соотношения между величинами $\sigma_{сж}$, $\sigma_{и}$ и $\sigma_{р}$ для обычных и замороженных формовочных смесей. Для замороженных смесей при температуре $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sigma_{сж} > 2\sigma_{и} > 10\sigma_{р}$, в отличие от обычных смесей, для которых $\sigma_{сж} > 10\sigma_{р} > 30\sigma_{и}$.



ЛИТЕРАТУРА

1. Минова Сусуму, Ниномия Мицуо, Ота Хидеаки, Такаянаги Такеси. Прочность на изгиб замороженной формы // Imono J. Jap. Foundrymen's Soc. – 1982, 54. – № 5. – С. 309-313.
2. Грузман В. М. Литье в замороженные формы: Обзор / В. М. Грузман. – Москва: НИИмаш, 1983. – 40 с.
3. Минова Сусуму, Ота Хидеаки, Ниномия Мицуо. Исследование влажности в замороженной форме. // Imono J. Jap. Foundrymen's Soc. – 1980, 52. – № 9. – С. 530-535.
4. Тарасевич Н. И., Корниец И. В., Шинский О. И., Васильев О. И. Моделирование процессов теплопередачи в замороженных формах // Процессы литья. – 2000. – № 2. – С. 61-64.
5. Лисенко Т. В., Пономаренко О. І., Доценко В. П. та ін. Теоретичні основи формування виливків: навч. посіб. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – 192 с.



REFERENCES

1. Minova Susumu, Ninomiia Mitsuo, Ota Khideaki, Takaianagi Takesi. (1982). Prochnost' na izgib zamorozhennoi formy. [The bending strength of the frozen form]. Imono J. Jap. Foundrymen's Soc., no 5, pp. 309-313. [in Japanese].
2. Gruzman V. M. (1983). Lit'e v zamorozhennye formy: obzor. [Casting in frozen form: overview]. Moskow: NIImash, 40 p. [in Russian].
3. Minova Susumu, Ninomiia Mitsuo, Ota Khideaki, Takaianagi Takesi (1980). Issledovanie vlazhnosti v zamorozhennoi forme. [The study of moisture in frozen form]. Imono J. Jap. Foundrymen's Soc, no. 9, pp. 530-535. [in Japanese].
4. Tarasevich N. I., Korniets I. V., Shinskii O. I., Vasil'ev, O. I. (2000). Modelirovanie protsessov teploperedachi v zamorozhennikh formakh. [Modeling of heat transfer processes in frozen forms]. Protsessy lit'a, no. 2, pp. 61-64 [in Russian].
5. Lysenko T. V., Ponomarenko O. I., Dotsenko V. P. et al. (2014). Teoretychni osnovy formuvannia vylivkiv: navchalni posibnik. [Theoretical bases of formation of castings: a tutorial]. Kharkiv: NTU «KhPI», 192 p. [in Ukrainian].

Анотація

Шинський О. Й., Лисенко Т. В., Солоненко Л. І.

Вплив складу, дисперсності і температури охолодження формувальних матеріалів на міцнісні властивості низькотемпературних форм

Розглянуто питання, пов'язані з вивченням впливу складу, дисперсності і температури охолодження формувальних матеріалів на міцнісні властивості низькотемпературної форми (НТФ). В результаті проведених досліджень з метою визначення міцнісних показників НТФ показано, що основними чинниками, що впливають на міцнісні властивості замороженої формувальної суміші, є вологість і температура охолодження, менш ефективно на підвищенні міцності позначається добавка в суміш глини і зменшення зернистості піску.

Ключові слова

Низькотемпературна форма, заморожена формувальна суміш, міцність на вигин, міцність на стиск, деформація.

Summary

Shinskii O., Lysenko T., Solonenko L.

The influence of composition, dispersity and temperature of cooling mold materials on the mechanical properties of low-temperature forms

The issues associated with the study of the influence of composition, dispersity and temperature of cooling molding materials on the mechanical properties of low-temperature form (LTF) were considered. In studies conducted to determine strength parameters of the LTF it was shown that the main factors influencing the strength properties of frozen molding sand are humidity and temperature of cooling, less efficiently on increase of strength additive in mixture of clay and reducing of a graininess of sand affects.

Keywords

Low-temperature form, frozen forming mixture, flexural strength, compressive strength, deformation.

Поступила 09.12.16