

УДК 691.64

О. В. КОЗУНОВА, кандидат технических наук, А. Г. ТАШКИНОВ, кандидат технических наук, М. П. КАХАНЧИК, студентка (ПК-51), В. В. ЗАЯЦ, студент (ПК-51), Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

## ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА СТРОИТЕЛЬНОГО РАСТВОРА С ОТРАБОТАННОЙ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСЬЮ ПО ПРОЧНОСТИ И ПЛАСТИЧНОСТИ

Рассмотрено использование вторичных ресурсов в повторном применении без утилизации. В данной научно-исследовательской работе рассматривается отработанная формовочная смесь (ОФС). Она используется в строительном растворе как частичная замена мелкого заполнителя. Проведены испытания на прочность и пластичность.

**Введение.** Одной из главных экологических проблем Республики Беларусь является проблема накопления отходов производства и потребления. Одним из таких отходов является отработанная формовочная смесь в металлургической промышленности. Формовочная смесь – это смесь песчано-глинистых и высокоогнеупорных материалов (шамот, асбест и др.) со связующим, используемая для изготовления разовых и полупостоянных форм.

В качестве основных материалов для формовочной массы используют кварц и кристобалит. Однако они не вступают между собой в химическое взаимодействие. Для изготовления упрочненной литейной формы необходим связующий материал. Им могут быть гипс, фосфат или силикат. В зависимости от связующего материала добавляется жидкость для замешивания. Для гипсовой связки добавляется вода, для фосфатной – кремниевый золь и дистиллированная вода, для силикатной – этилсиликат и соляная кислота.

**Материалы для приготовления смеси:** для приготовления смесей используются природные и искусственные материалы. Песок – основной компонент формовочных смесей. Обычно используется кварцевый или цирконовый песок из кремнезема. Глина является связующим веществом, обеспечивающим прочность и пластичность, обладающим термической устойчивостью. Широко применяют бентонитовые или каолиновые глины.

### Свойства формовочных смесей:

– прочность – способность смеси обеспечивать сохранность формы без разрушения при изготовлении и эксплуатации;

– пластичность – способность воспринимать очертания модели и сохранять полученную форму;

– текучесть – способность смеси обтекать модели при формовке, заполнять полость стержневого ящика;

– способность выдерживать высокую температуру сплава без оплавления или химического с ним взаимодействия;

– долговечность – способность сохранять свои свойства при многократном использовании.

Далее будут рассмотрены характеристики строительного раствора при частичной замене мелкого заполнителя отработанной формовочной смесью.

### Задание на подбор начального состава строительного раствора.

Тип раствора: кладочный, марка раствора М100 ( $R_p = 7,5$  МПа), марка цемента М400 ( $R_c = 39,2$  МПа), подвижность – 8–12 см.

Подбор состава строительного раствора производится по методу абсолютных объемов.

### Состав раствора на пробный замес

*Начальный состав:*

Для 1 м<sup>3</sup> Ц – 272 кг, В – 204 кг, П – 1490 кг.

Для 2 л Ц – 0,54 кг, В – 0,4 кг, П – 3 кг.

*С 10 % ОФС:*

Для 1 м<sup>3</sup> Ц – 272 кг, В – 204 кг, П – 1341 кг, ОФС – 149 кг.

Для 2 л Ц – 0,54 кг, В – 0,5 кг, П – 2,8 кг, ОФС – 0,3 кг.

*С 15 % ОФС:*

Для 1 м<sup>3</sup> Ц – 272 кг, В – 204 кг, П – 1266 кг, ОФС – 224 кг.

Для 2 л Ц – 0,54 кг, В – 0,5 кг, П – 2,53 кг, ОФС – 0,45 кг.

*С 20 % ОФС:*

Для 1 м<sup>3</sup> Ц – 272 кг, В – 204 кг, П – 1192 кг, ОФС – 298 кг.

Для 2 л Ц – 0,54 кг, В – 0,5 кг, П – 2,4 кг, ОФС – 0,6 кг.

*С 25 % ОФС:*

Для 1 м<sup>3</sup> Ц – 272 кг, В – 204 кг, П – 1117 кг, ОФС – 373 кг.

Для 2 л Ц – 0,54 кг, В – 0,5 кг, П – 2,23 кг, ОФС – 0,75 кг.

### Расчеты:

1 Определяем количество цемента на 1 м<sup>3</sup> песка:

$$Q_c = \frac{830R_p}{K_n R_c} + 45 = \frac{830 \cdot 7,5}{0,7 \cdot 39,2} + 45 = 272 \text{ кг,}$$

где  $K_n$  – коэффициент крупности песка ( $K_n = 0,7$ ).

2 Рассчитываем количество воды:

$$B = 0,75Q_c = 0,75 \cdot 272 = 204 \text{ кг.}$$

3 Вычисляем расход песка:

$$Q_n = V_n \rho_n = 1 \cdot 1490 = 1490 \text{ кг,}$$

где  $\rho_n$  – насыпная плотность песка.

4 Находим состав раствора в частях по объему

$$\frac{Ц}{Ц} = \frac{П}{Ц} = \frac{В}{Ц} = 1:5,5:0,75.$$

Расход материалов на пробный замес:

$$V = 2 \text{ л} = 0,002 \text{ м}^3;$$

$$Ц = 272 \cdot 0,002 = 0,54 \text{ кг;}$$

$$П = 1490 \cdot 0,002 = 3 \text{ кг;}$$

$$В = 204 \cdot 0,002 = 0,4 \text{ кг.}$$

В таблицах 1 и 2 приведены результаты испытаний на сжатие полученных образцов начального состава растворной смеси и с отработанной формовочной смесью ОФС (в скобках дана объемная доля ОФС от заполнителя).

Для каждого образца даны: разрушающая нагрузка ( $P$ , кН), площадь торцевой грани кубика ( $F$ , мм<sup>2</sup>), рассчитанный предел прочности на сжатие ( $R$ , МПа), средний предел прочности на сжатие ( $R_{cp}$ , МПа), средний предел прочности на сжатие на 28-е сутки ( $R_{cp}(28)$ , МПа).

Таблица 1 – Результаты испытаний (возраст образцов – 28 суток)

№ образца	Параметры образца			
	$P$ , кН	$F$ , мм <sup>2</sup>	$R$ , МПа	$R_{cp}$ , МПа
<i>Начальный состав</i>				
1	27	4970	5,43	5,68
2	27	5077	5,32	
3	32	5076	6,3	
<i>Первый замес (10 % ОФС)</i>				
1	52	5075	10,25	10,86
2	58	5040	11,51	
3	54,5	5040	10,81	
<i>Второй замес (15 % ОФС)</i>				
1	65	4970	13,1	13,64
2	71	5006	14,18	
3	44	5112	13,64	

Таблица 2 – Результаты испытаний (возраст образцов – 14 суток)

№ образца	Параметры образца				
	$P$ , кН	$F$ , мм <sup>2</sup>	$R$ , МПа	$R_{cp}$ , МПа	$R_{cp}(28)$ , МПа
<i>Третий замес (20 % ОФС)</i>					
1	62	5040	12,3	12,2	16,26
2	63	4970	12,68		
3	57	4900	11,63		
<i>Четвертый замес (25 % ОФС)</i>					
1	69	5076	13,59	13,95	18,6
2	68,5	5041	13,59		
3	74	5040	14,68		

При возрасте, отличном от 28-суточного, предел прочности раствора определяется по формуле

$$R_p(28) = R_p(n) \frac{28(\alpha - 1) + n}{\alpha n},$$

где  $n$  – возраст образцов, сут,  $R_p(n)$  – предел прочности в возрасте  $n$  суток, МПа;  $\alpha = 1,5$ .

Определяем предел прочности на 28-е сутки третьего замеса при 20%-й замене песка ОФС:

$$R_p(28) = 12,2 \cdot \frac{28(1,5 - 1) + 14}{1,5 \cdot 14} = 16,26 \text{ МПа.}$$

Определяем предел прочности на 28-е сутки четвертого замеса при 25%-й замене песка ОФС:

$$R_p(28) = 13,95 \cdot \frac{28(1,5 - 1) + 14}{1,5 \cdot 14} = 18,6 \text{ МПа.}$$

**Исследование прочности раствора с добавлением отработанной формовочной смеси (ОФС).** На графиках (рисунки 1 и 2) показаны зависимости полученной

прочности от нормируемой для различных марок строительного раствора.

На рисунке 1 видно, что полученная прочность 5,68 МПа соответствует марке М100, что и требовалось по заданию.

При замене мелкого заполнителя на 10 % формовочной смеси от его массы прочность на сжатие увеличилась с 5,68 до 10,86 МПа. Полученная прочность соответствует марке М200, что больше на одну марку в сравнении с начальным составом (см. рисунок 1).

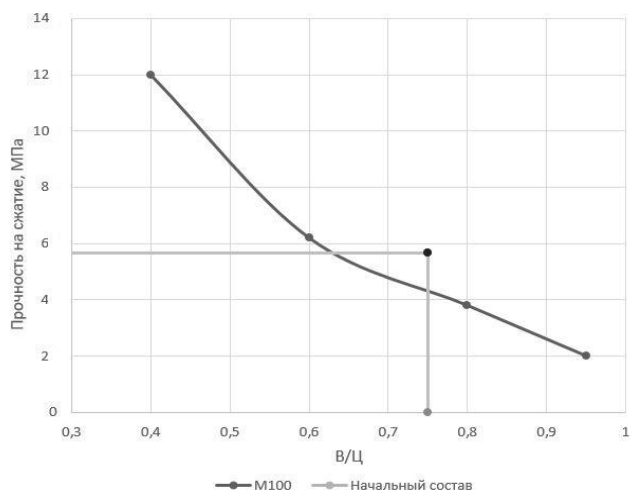


Рисунок 1 – Корректировка строительного раствора по прочности для начального состава

При замене мелкого заполнителя на 15 % формовочной смеси от его массы прочность на сжатие увеличилась с 5,68 до 13,64 МПа. Полученная прочность находится между марками М200 и М300, что больше на полторы марки в сравнении с начальным составом (см. рисунок 1).

При замене мелкого заполнителя на 25 % формовочной смеси от его массы (см. рисунок 2) прочность на сжатие увеличилась с 5,68 до 18,6 МПа. Полученная прочность соответствует марке М300, что больше на две марки в сравнении с начальным составом (см. рисунок 1).

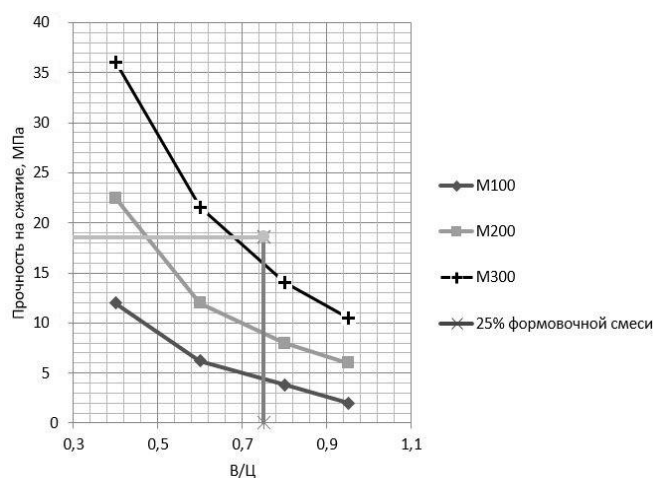


Рисунок 2 – Корректировка строительного раствора по прочности при замене мелкого заполнителя на 25 % формовочной смеси

При замене мелкого заполнителя на 20 % формовочной смеси от его массы прочность на сжатие увеличилась с 5,68 до 16,26 МПа. Полученная прочность соот-

ветствует марке М300, что больше на две марки в сравнении с начальным составом (см. рисунок 1).

На рисунке 3 показана итоговая прочность на сжатие всех образцов в зависимости от процентного содержания формовочной смеси в строительном растворе. Из этой зависимости видно, что при введении в строительный раствор отработанной формовочной смеси как часть мелкого заполнителя ведет к увеличению прочности.

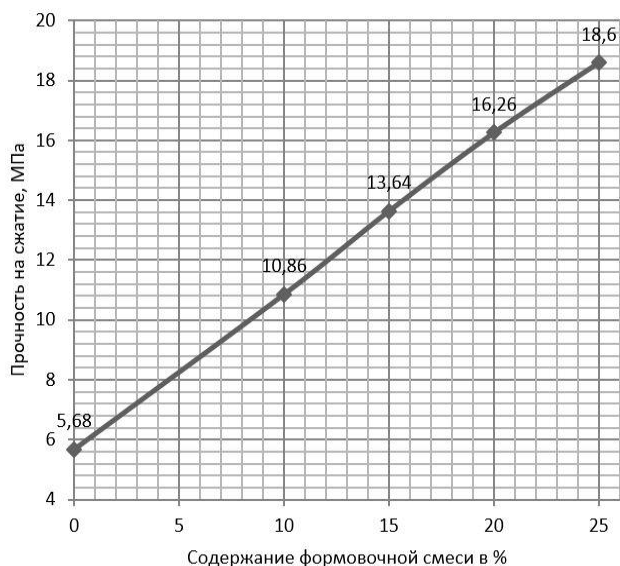


Рисунок 3 – Зависимость прочности от процентного содержания формовочной смеси

**Исследование пластичности раствора с добавлением формовочной смеси.** На кубиках с добавлением 25 % формовочной смеси было проведено испытание с учетом разгрузки и повторного нагружения.

Первый кубик (рисунок 4, линия 1) не проходил данное испытание и был разрушен при значении 74 кН.

Второй кубик (рисунок 4, линия 2) был нагружен до значения 66 кН, после отдыха в 1 минуту был повторно нагружен до разрушения. Разрушение произошло на значении 69 кН.

Третий кубик (рисунок 4, линия 3) был нагружен до значения 52 кН, после отдыха был повторно нагружен до 66 кН и после повторного отдыха был нагружен до значения 68 кН, после чего произошло разрушение.

Получено 02.10.2018

**O. V. Kozunova, A. G. Tashkinau, M. P. Kahanchik, V. V. Zayats.** Optimization of composition of structural solution with waste forming mix on durability and plasticity.

Use of secondary resources in repeated application without utilization is considered. In this research the waste forming mix (WFM) is considered. It is used in structural solution as partial replacement of shallow filler. Strength tests and plasticity are carried out.

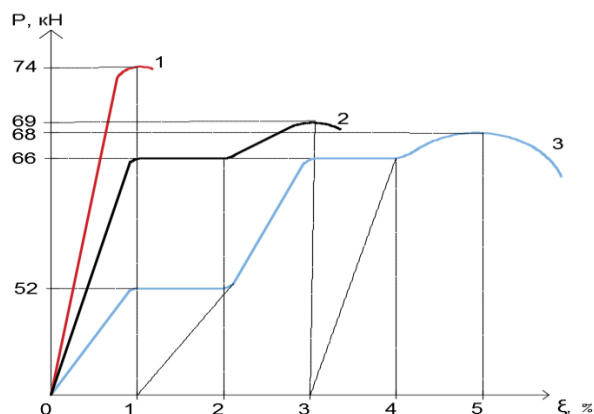


Рисунок 4 – Диаграмма деформирования образцов-кубиков

На основании данного испытания можно сделать вывод: строительный раствор с содержанием 25 % формовочной смеси начал проявлять пластические свойства, что обусловлено составом формовочной смеси, а именно включением металлических частиц.

**Выводы.** В результате проведенных испытаний было установлено, что:

1) прочность строительного раствора растет при частичной замене мелкого заполнителя на отработанную формовочную смесь. В дальнейшем эти результаты помогут снизить стоимость готового раствора с наилучшими характеристиками;

2) строительный раствор при добавлении 25 % формовочной смеси, стал проявлять пластические свойства. Поэтому можно предположить, что формовочную смесь можно использовать в качестве добавки пластификатора. Но для этого требуется ряд дополнительных исследований. У отработанной формовочной смеси есть недостаток – это содержание металлических включений, которые отрицательно сказываются на свойствах раствора, вызывая преждевременную коррозию.

#### Список литературы

1 **Боровский, Ю. Ф.** Формовочные и стержневые смеси / Ю. Ф. Боровский, М. И. Шацких. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отделение, 1980. – 86 с.

2 **Илларионов, И. Е.** Формовочные материалы и смеси : [монография] / И. Е. Илларионов, Ю. П. Васин. – Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 1992. – Ч. 1. – 223 с.