

## Ключові слова

викривлення, модельний склад, виливок, модель, температура, тиск

## Анотація

Реп'ях С. І.

### Жолоблення виплавлюваних моделей виливків

Наведено опис механізму жолоблення виплавлюваних моделей виливків балочного типу несиметричного таврового перерізу та новий метод розрахунку величини їх жолоблення. Встановлено, що величина жолоблення виплавлюваних моделей виливків знижується з підвищенням тиску запресовування модельного складу в прес-форму, зменшенням коефіцієнта термічного лінійного розширення застосовуваного модельного складу, зменшенням довжини виплавлюваних моделей і залежить від співвідношення ширини і товщини їх стінок.

## Summary

Репуак С.

### Warping of smelt casting models

Description of warping mechanism of smelt casting models of asymmetrical T-shaped beam type and new method of their warping size calculation is brought. It is stated that warping size of smelt casting models goes down with increase of pressure while pressing in of model composition in a press-form, also with diminishing of coefficient of thermal linear expansion of chosen model composition, reducing of smelt casting models length and depends on correlations of their walls width and thickness.

## Keywords

warping, composition model, founding, model, temperature, pressure

Поступила 29.10.10

УДК 621.744

## В. С. Дорошенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## Получение по ледяным моделям оболочковых форм с кристаллогидратами\*

При изготовлении оболочковых песчаных форм по одноразовым ледяным моделям (с использованием жидкости от таяния моделей для гидратации и твердения этих связующих) в качестве связующих предложено использовать такие кристаллогидраты, как цемент, гипс и металлофосфаты. Для этой цели, как показали исследования, наиболее подходит быстротвердеющий цемент, который позволяет в течение 5-7 мин образовать твердую корку из сухой песчаной смеси вокруг моделей в контейнерной форме. Приведены примеры оболочковых форм.

**Ключевые слова:** песчаная форма, лед, ледяные модели, криотехнология, формовка, оболочковая форма, кристаллогидраты

В цикле исследований по созданию экологически чистой технологии производства металл-отливок по одноразовым моделям из льда как конструктивного или матричного материала с добавками или примесями (разновидность evaporative pattern casting process, а также одна из криотехнологий литейного производства) разработаны способы

получения песчаных форм по ледяным моделям, новизна которых состоит в том, что продукты таяния модели частично или полностью впитываются в поровое пространство сухого песка формы [1, 2]. При этом в сухую песчаную формовочную смесь предварительно вводят связующее в порошкообразном виде, способствующее созданию прочной песчаной

\* Работа выполнена под руководством проф. О. И. Шинского при участии Ю. Н. Иванова и А. Г. Черныша

корки в результате взаимодействия с продуктами расплавления модели. После нанесения такой смеси на модель в процессе изготовления формы и таяния модели получают оболочковую песчаную форму. В процессе разработки такого способа формовки его до опытно-промышленного уровня, опираясь на последние классические работы отечественных ученых-формовщиков [3, 4], исследователи столкнулись с рядом физико-химических явлений пропитки с одновременным отверждением, которые пока слабо используются в технологии песчаной формы и подлежат изучению.

В качестве связующих материалов, твердеющих при взаимодействии с водой и создающих прочную корку, для введения в формовочную смесь на этом этапе работы использовали полуводный гипс и цемент. По классификации используемых в настоящее время более чем 100 различных видов связующих для формовочных и стержневых смесей эти материалы относят к кристаллогидратам – кристаллическим веществам, включающим молекулы воды [3]. Цемент и фосфаты, при расширении объема использования последних, выступают их характерными представителями.

Типичными кристаллогидратами являются многие природные минералы, например гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , из которого удаляют кристаллизационную воду путем нагрева до полуводного состояния. В технологии строительных материалов гипс относят к воздушным вяжущим веществам (характеризуются способностью твердеть, будучи смешанными с водой, то есть переходить в камневидное состояние, сохранять и повышать свою прочность на воздухе [5]), а цемент – к гидравлическим (после замачивания водой способны твердеть, а во время предварительного твердения на воздухе продолжают сохранять и наращивать свою прочность в воде). Однако у цементных смесей с использованием недорогих строительных марок цемента (400, 500) довольно продолжительный процесс твердения, что тормозит формовку по ледяным моделям и требует длительного удержания стенки формы из сыпучих материалов без обрушения на тающей модели, а это непростая технологическая задача.

Рассмотрим некоторые характерные свойства кристаллогидратных связующих, применяемых в литейном производстве [3]. Химическое взаимодействие цемента с водой сопровождается образованием кристаллогидратов различной формы, которые плохо растворяются в пресной и минерализованной воде и устойчивы к воздействию атмосферных факторов. В результате гидратации клинкерных минералов образуется цементный камень, позволяющий получать самотвердеющие формовочные материалы в смеси с формовочным песком. Цемент был первым отвержденным на воздухе связующим, который применяли в 30-е годы прошлого века для изготовления литейных форм, то есть был первой холоднотвердеющей смесью (ХТС). Цемент получают путем обжига до спекания при 1300-1450 °С измельченных смесей природных пород известняка и глины или других минералов

подобного состава. Продукт обжига (клинкер) размалывают одновременно с небольшими добавками гипса и других материалов и получают портландцемент. Взаимодействие зерен портландцемента с водой начинается немедленно после затворения. Кристаллогидраты, образующиеся в начальный период гидратации, позволяющие получать пластичное и удобоукладываемое цементное «тесто», что обеспечивает возможность формовки бетонных изделий. В результате продолжающейся реакции гидратации постепенно формируется плотный и прочный цементный камень.

Для приготовления ХТС и изготовления постоянных моделей применяют цемент марок 400 и 500 (марка цемента – прочность на сжатие кгс/см<sup>2</sup> через 28 суток). Упрочнение литейных форм основано на гидратации минералов цемента с образованием кристаллогидратов, которые, срастаясь, создают связи (каркас) между песчинками формовочной смеси. Гидратация основного минерала цемента алита проходит по следующей реакции:  $2(3\text{CaO} \times \text{SiO}_2) + 6\text{H}_2\text{O} = 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Образующиеся гидраты компонентов цемента выпадают из пересыщенного раствора в виде кристаллов, и процесс их срастания (полимеризации) продолжается до тех пор, пока все связующее не затвердеет. Поскольку процесс гидратации (твердения цемента) происходит медленно (иногда 2-3 суток для массивных форм), в смесь добавляют ускорители твердения.

Цемент позволяет обеспечить лучшую выбиваемость смесей из отливок по сравнению с жидким стеклом, так как при нагреве от отливки он дегидратируется и смеси разупрочняются. Для приготовления ХТС вводят 10-12 % цемента и примерно такое же количество воды при оптимальном водоцементном отношении в формовочной смеси (0,7-0,8). Прочность через 4 ч составляет 0,10-0,15 МПа, поэтому ХТС с цементом применяют при изготовлении крупных отливок в единичном производстве. Быстрее твердеет глиноземистый цемент марок 400 и 500, содержащий трехкальциевый алюминат, пятикальциевый триалюминат  $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$  и однокальциевый двухалюминат  $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Недостатком цемента как связующего является снижение его активности при хранении вследствие образования гидратных оболочек на частицах. Так, при использовании цемента марки 400 после 5 месяцев хранения продолжительность твердения смеси увеличивается в 3 раза. Верхний слой цемента (в таре) снижает активность в несколько раз уже через 15 дней. Поэтому цемент следует хранить в сухом помещении или герметичной таре. Твердение ХТС ускоряется при совместном вводе глиноземистого цемента (50-60 %) и портландцемента (40-50 %) в результате химического взаимодействия между их отдельными минералами. Более существенное ускорение и повышение прочности достигаются при добавке хлорида кальция  $\text{CaCl}_2$ , хлорида железа  $\text{FeCl}_3$ , сульфата железа  $\text{FeSO}_4$  и совместно карбонатов и алюминатов щелочных металлов. Но из-за медленного твердения цемента и распространения

жидкого стекла цемент редко применяют в литейных цехах (в отличие от перспективных быстротвердеющих металлофосфатных композиций).

В литейных цехах последние 30 лет все больше распространяются ХТС со связующими на основе металлофосфатных композиций как гетерогенных систем из двух компонентов – фосфорной кислоты и оксидов металлов (или других их соединений – железа, магния, алюминия, Al-Cr, Al-Mg и др). При взаимодействии оксидов металлов и фосфорной кислоты образуются кристаллогидраты – однозамещенные соли ортофосфорной кислоты со связующими свойствами. Например, твердение железофосфатных ХТС происходит по реакции  $FeO + H_3PO_4 + H_2O \rightarrow Fe(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ . Структура фосфатов имеет много общего со структурой силикатов (в частности кристаллические решетки тетраэдрические: расстояние в тетраэдрах – 2,62 нм, а в  $PO_4^{3-}$  – 1,55 нм; ионный радиус  $Si^{4+}$  – 0,39 нм,  $P^{5+}$  – 0,34 нм) и предопределяет достройку фосфатами кристаллической решетки силикатов, а вследствие этого – высокую прочность с ними формовочных смесей. Одни из металлофосфатных композиций (например на основе оксидов железа и магния) твердеют при комнатной температуре, другие (алюминия, хрома) – при нагревании. В процессе твердения и сушки фосфатные композиции образуют полимерные структуры типа  $Me_nO_m \cdot P_2O_5 \cdot kH_2O$ , а после прокаливания –  $Me_nO_m \cdot P_2O_5$ .

Из всех металлофосфатных композиций наибольшее распространение для формовочных ХТС получили железофосфатные (термостойкость 1100 °С) и магнийфосфатные (1160 °С). Для железофосфатных композиций (по данным проф. Е. С. Гамова) можно использовать различные материалы, которые содержат не менее 60 % оксидов железа  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$ ; железорудный концентрат или шлам, порошок магнитный, железную окалину, плавильную пыль и пыль от обнаждачивания отливок и т. д. В ХТС добавляют (%) 0,7-4,0 оксидов железа, 1,5-4,0  $H_3PO_4$  и до 2,0 – ЛСТ. Прочность на сжатие через 1 ч – до 1 МПа, через 24 ч – до 4 МПа.

Для магнийфосфатных ХТС используют материалы, у которых при взаимодействии с фосфорной кислотой имеется различная активность – от 1 с (для каустического магнезита) до 54-80 с (для хромомагнезита). Для приготовления ХТС с оптимальными живучестью и прочностью реакцию взаимодействия оксида магния с фосфорной кислотой замедляют пассивацией порошка, содержащего магний, обработкой его ПАВ (мылонафт, СЖК) при размоле, а также снижением активности фосфорной кислоты с добавлением лимонной кислоты, фосфата аммония и др. Это продлевает живучесть ХТС до 16-22 мин и повышает прочность – через 1 ч до 0,6-0,8 МПа, а через 24 ч – до 2,8-3,3 МПа.

Алюмофосфатные связующие твердеют при 300...400 °С, а после добавления оксидов железа (например, сталеплавильного шлама), хрома, марганца, магния, кальция образуют соединения типа  $Me_nO_m \cdot Al_2O_3 \cdot P_2O_5$ , твердеющие при 20-30 °С.

Металлофосфатные связующие применяют для ХТС; стержней, упрочняемых в нагретой оснастке и тепловой сушке; для получения оболочек при литье по выплавляемым моделям; для футеровочных масс плавильных печей, ковшей и т. д.

Формовочные смеси со связующими имеют преимущества по сравнению с другими связующими: высокие прочность и термостойкость, хорошую выбиваемость, нетоксичность и позволяют повторно использовать связующие свойства фосфатов в отработанных смесях. По мнению проф. С. С. Жуковского, такая выбиваемость железофосфатных смесей связана с преобразованием термодинамически неустойчивых фосфатов двухвалентного железа в фосфаты трехвалентного. Этот переход происходит с увеличением объема и резкой потерей прочности структуры. У фосфатных, как и других неорганических связующих, повышенная хрупкость, однако, учитывая их указанные преимущества, у этих связующих большие перспективы в получении крупных толстолистовых стальных и чугуновых отливок.

В процессе поиска связующих материалов, наиболее приемлемых для литья по ледяным моделям, с учетом экологически безопасных показателей и описанных выше характеристик, получены первые результаты исследования времени начала твердения кристаллогидратов (от момента смачивания водной композицией тающей модели), применяемых в качестве связующих для песчаных форм при гидратации путем пропитывания продуктами таяния ледяных моделей сухой песчаной смеси.

В целях исследования твердения облицовочной сухой смеси (в том числе выполняющей роль противопригарного покрытия), наносимой на поверхность ледяной модели по способу [6], ее готовили путем смешивания связующего в виде порошкообразных полуводного гипса строительного (ГОСТ 125-79) или портландцемента марки 400 с дистенсиллиманитовым концентратом КДСП (ТУ 48-4-307-74) производства Вольногорского комбината. Для ускорения твердения этой смеси при пропитке ее продуктами таяния модели в модельную композицию добавляли водный 25%-ный раствор (плотностью 1080 кг/м<sup>3</sup>) жидкого содового стекла (ГОСТ 13078-81) по рекомендации [7, 8]. Замораживание моделей из жидкой композиции такого состава весьма технологично и отработано в лабораторных условиях.

Облицовочную сыпучую смесь указанного состава насыпали слоем толщиной 10-15 мм в стеклянную кювету. На этот слой добавляли водную композицию из медицинского шприца так, чтобы влага полностью смачивала всю поверхность. С момента добавления водной композиции (затворения) измеряли продолжительность твердения смеси. Дозировку компонентов смеси вели по массе, взвешивание производили на аналитических электронных весах 9026ВН-ЗД13-УХЛ 4,2 (ТУ 25-7709.007-87). Для определения времени твердения смеси, аналогично работам [4, 8], заимствовали методику из практики применения стройматериалов для цементных вяжущих с помощью прибора «Игла Вика». Это время фиксировали опусканием иглы на поверхность приготовленной

Изменение продолжительности твердения образцов песчаной смеси от количества в ней связующего компонента (5-100 %), остальное – наполнитель

Водный 25%-ный р-р жидкого стекла / сухая смесь: гипс + КДСП		Водный 25%-ный р-р жидкого стекла / сухая смесь: цемент + КДСП		Вода / сухая смесь: кварцевый песок с ЛСТ + CrO <sub>3</sub>	
кол-во гипса, %	время твердения, мин	кол-во цемента, %	время твердения, мин	кол-во (ЛСТ + CrO <sub>3</sub> ), %	время твердения, мин
5	28,0	5	38,0	5	23,5
10	25,0	10	36,0	10	23,5
20	21,0	20	32,0	20	23,0
30	18,5	30	27,0	30	23,5
40	17,0	40	26,0	40	22,0
50	16,5	50	24,0	50	21,5
60	15,0	60	22,0	60	21,0
70	14,0	70	20,0	70	20,0
80	13,5	80	19,5	80	19,0
90	12,5	90	19,0	90	18,5
100	12,0	100	19,0	100	18,0

смеси в кювете, когда игла углублялась в смесь на 1-2 мм. Результаты первой серии опытов по получению зависимости времени отверждения оболочкового слоя (с момента его увлажнения) от процентного содержания связующего (гипс или цемент) в сухой смеси с наполнителем КДСП приведены в табл. 1 и на рис. 1.

В правой части табл. 1 и на кривой 3 (рис. 1) для сравнения показана зависимость времени твердения порошкообразной смеси лигносульфонатов технических (ЛСТ, ГОСТ 1913 183-83) с триоксидом хрома CrO<sub>3</sub> (техническое название – хромовый ангидрид, ГОСТ 2548-77) и кварцевым песком 2К020 при смачивании ее водой. Соотношение между реагентами ЛСТ и CrO<sub>3</sub> брали 5:1, оптимальное для процесса поликонденсации [9]. При прохождении реакции твердения последних компонентов, так же как и при гидратации гипса, наблюдали экзотермический эффект. Применение ЛСТ для получения ледяных моделей и оболочковых форм подробнее описано в работе [2]. ЛСТ часто используют также в качестве добавки в песчано-гипсовые смеси [8].

Последний пример показывает перспективу раз-

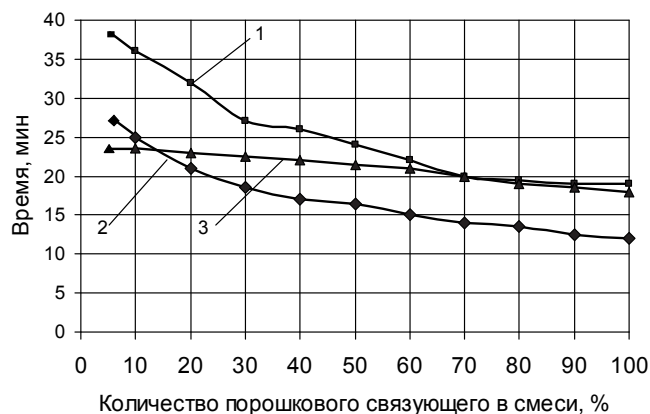


Рис. 1. Изменение времени  $t$  твердения песчаной смеси от соотношения количества содержащихся в ней связующего и наполнителя. Составы песчаных смесей: 1 – КДСП + цемент, смачивание раствором жидкого стекла; 2 – КДСП + гипс, смачивание раствором жидкого стекла; 3 – (ЛСТ + CrO<sub>3</sub>) + кварцевый песок, смачивание водой

работки технологии получения оболочковой формы без каких-либо добавок реагентов в водопроводную воду для замораживания моделей. Это имеет экологический аспект, когда модельный состав может частично циркулировать при выливании его избытка из литейных форм, а реагенты для химического отверждения формовочной смеси, часто ухудшающие условия труда, используются только для добавок в сухом мелкодисперсном виде в песчаную смесь. Не реагируя между собой в сухом виде, они отверждаются в песчаной смеси лишь при смачивании водой от тающей ледяной модели внутри литейной формы.

В описанных экспериментах в качестве ускорителя твердения гипса и цемента добавляли жидкое стекло, которое также служит дополнительным связующим [8]. В процессе твердения цемента (кривая 1) в результате химической реакции между щелочными силикатами (жидкое стекло) и составными частями цементного клинкера (гидроалюминат кальция) образуются коллоидные гидросиликаты кальция (кристаллогидраты) и алюминат натрия:  $3\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 + 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O} = 3\text{CaSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O} + 3\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  [7]. Образование алюмината натрия является ускорителем схватывания цемента.

Кроме того, между жидким стеклом и известью, находящейся в цементе, проходит реакция с образованием силиката кальция:  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{CaO} = \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 + \text{CaSiO}_3$ . Силикат кальция – прочный и плотный материал. Кусок негашеной извести, обработанный раствором жидкого стекла, достигает такой плотности и прочности, что его можно полировать. Откладываясь в порах твердеющего камня, силикат кальция придает ему повышенную плотность и водостойкость.

Вторая кривая описывает процесс твердения композиции, содержащей полуводный гипс (алебастр). При пропитывании в измельченном виде водой этот гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  поглощает влагу и переходит в природное состояние дигидрата  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , превращаясь в твердое тело.

Время твердения песчаных образцов продолжительностью 20-30 мин, измеренное в описанных

## Изменение продолжительности твердения образцов формовочной смеси от количества в ней цемента Аквафикс (5-100 %), остальное – наполнитель

Кол-во цемента в смеси, %	Время твердения от начала смачивания сухой формовочной смеси, мин			
	вода / кварц. песок + цемент	25%-ный р-р жидкого стекла / песок + цемент	вода / кварц. КДСП + цемент	25%-ный р-р жидкого стекла / КДСП + цемент
5	14,0	12,5	9,5	7,0
10	12,0	11,0	8,0	6,0
20	8,0	7,0	6,0	4,0
30	7,0	6,0	5,5	3,5
40	6,0	5,0	4,5	3,2
50	5,0	4,5	4,0	3,0
60	4,0	3,5	3,5	2,8
70	3,5	3,0	3,0	2,6
80	3,0	2,5	2,5	2,2
90	2,5	2,5	2,0	2,0
100	2,0	2,0	1,5	1,5

экспериментах на весьма недорогих кристаллогидратных связующих, часто весьма длительно. При таянии одноразовой модели было бы желательно мгновенное твердение (с минимальной живучестью) образующегося слоя холоднотвердеющей смеси и фиксирование песчаной поверхности окружающей ее полости формы в неподвижном состоянии с нулевой вероятностью осыпания песка, о чем подробнее сказано в работе [2]. Поэтому дальнейший поиск самотвердеющих композиций был сориентирован на применение специальных быстротвердеющих цементов.

Ускорение роста прочности быстротвердеющего цемента достигается увеличенным содержанием трехкальциевого силиката и более тонким помолом цементного клинкера, что повышает его удельную поверхность. Производство такого цемента составляет примерно 10 % от общего количества выпускаемого цемента. В меньших масштабах производят сверхбыстротвердеющий портландцемент путем совместного помола клинкера быстротвердеющего портландцемента и хлористого кальция. Количество хлористого кальция обычно не превышает 2 %, поскольку он является гигроскопическим веществом. Такой цемент хранят в сухих условиях и используют в течение месяца с момента его изготовления. Его применение целесообразно при бетонировании в холодных условиях, а также в тех случаях, когда требуется высокая прочность в раннем возрасте, поскольку сроки его схватывания в зависимости от температуры колеблются от 5 до 30 мин. Разрабатываемые в ФТИМС НАН Украины способы подогрева модельного состава для ускорения удаления модели также способствуют ускорению схватывания цемента.

Количество влаги, которое проникает в цементно-песчаную смесь и насыщает стенку формы (в основном зависит от толщины стенки ледяной модели), определяет количество продуктов гидратации цемента в капиллярах, заполненных водой, и толщину связанной оболочковой формы. Важно отметить, что химически связанной может быть только половина содержащейся в смеси воды, даже если общее количество содержащейся в смеси воды меньше количества воды, требуемого для полной гидратации. Для получения достаточной прочности совсем не обязательно, чтобы гидратировался весь цемент, что редко достигается на практике. Считают, что качество бетона зависит прежде всего от отношения количества геля к пространству в цементном камне.

Среди быстротвердеющих цементов, представленных на отечественном рынке, заслуживает внимания цемент Аквафикс (Aquafix производства Isomat S. A., Греция), рекомендуемый для моментальной остановки протечек воды и который задейство-

вали во второй серии экспериментов по вышеуказанной методике. Результаты проведенных экспериментов приведены в табл. 2 и на рис. 2. В качестве аналогов модельной композиции использовали водопроводную воду (кривые 1 и 3, рис. 2) или указанный выше раствор жидкого стекла (кривые 2 и 4), а сухая формовочная смесь состояла из наполнителя, которым выступал кварцевый песок 2К016 (кривые 1 и 2) или КДСП (кривые 3 и 4), и Аквафикс.

Смеси со связующим (быстротвердеющим цементом Аквафикс) твердеют в 3-4 раза быстрее смесей, содержащих обычный цемент и гипс. В дальнейших исследованиях предстоит отработать оптимальные составы быстротвердеющих смесей по термостойкости и противопожарным качествам при литье различных сплавов, а также для отливок с различной толщиной стенок и массой. Для регулирования твердения в сухую формовочную смесь, кроме связующего и наполнителя, планируется добавлять

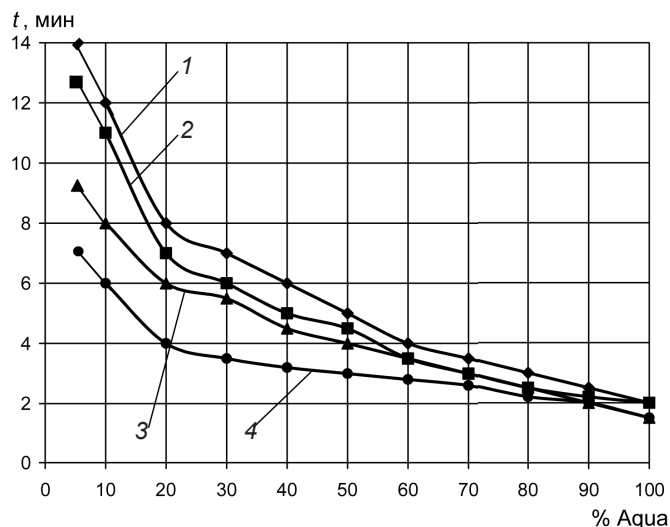


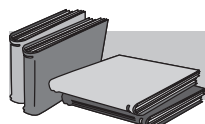
Рис. 2. Изменение времени  $t$  твердения песчаной смеси от отношения количества содержащихся в ней связующего (цемента Аквафикс) и наполнителя: 1, 3 – пропитка водой цемента с кварцевым песком (1), с КДСП (3); 2, 4 – пропитка 25%-ным раствором жидкого стекла цемента с кварцевым песком (2), с КДСП (4)

дополнительные реагенты: ускорители или замедлители твердения, что показано на примере смеси с ЛСТ. Для форм с описанными облицовочными смесями в качестве наполнительных применяют сухие песчаные смеси с недорогими компонентами, аналогичными показанным в табл. 1 и на рис. 1.

Пример выполнения оболочковых форм по ледяным моделям описанным выше способом показан на рис. 3; слева – оболочка для одной, справа – двух отливок (рис. 3, а). Использование КДСП в облицовочной смеси на разрезанных оболочках дает белый цвет, свежего кварцевого песка в наполнительной песчаной смеси – желтый, а оборотного песка – коричневый и более темные цвета по мере нарастания степени оборота.



Рис. 3. Внешний вид оболочек (а), распиленные оболочки и пять отливок (б), четыре из них – с элементами литниковых систем



## ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. № 83891 Украины, МПК В22С 9/04, В22С 7/00. Способ изготовления форм по одноразовым моделям / О. И. Шинский, В. С. Дорошенко. – Оpubл. 2008, Бюл. № 16.
2. Дорошенко В. С. Многовариантность использования ледяных моделей при литье в песчаные формы // *Металл и литье Украины*. – 2010. – № 12. – С. 17-26.
3. Дорошенко С. П. *Формувальні суміші*. – Київ: ІЗМН, 1997. – 140 с.
4. *Формовочные материалы и технология литейной формы* / С. С. Жуковский и др. – М.: Машиностроение, 1993. – 432 с.
5. Волженский А. В. *Минеральные вяжущие вещества*. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.
6. Пат. № 88304 Украины, МПК В22С 7/00. Способ нанесения покрытия на охлажденную модель / О. И. Шинский, В. С. Дорошенко. – Оpubл. 12.10.2009, Бюл. № 19.
7. Корнеев В. И., Данилов В. В. *Растворимое и жидкое стекло*. – Санкт-Петербург: Стройиздат, 1996. – 216 с.
8. Дорошенко С. П., Ващенко К. И. *Наливная формовка*. – Киев: Вища школа, 1980. – 176 с.
9. *Формовочные и стержневые смеси со связующими материалами на основе технических лигносульфонатов* / А. П. Семик и др. – М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1990. – С. 20-22.

### Анотація

Дорошенко В. С.

Отримання по крижаних моделях оболочкових форм із кристалогідратами

При виготовленні оболочкових піщаних форм за одноразовими крижаними моделями (з використанням рідини від танення моделей для гідратації та твердіння цих в'язучих) запропоновано використовувати в якості в'язучих такі кристалогідрати, як цемент, гіпс і металофосфати. Дослідження показали, що для цієї мети найбільш підходять швидкотверднучі цементи, які дозволяють протягом 5-7 хв утворити тверду кірку навколо моделей у контейнерній формі із сухої піщаної суміші. Наведено приклади оболочкових форм.

### Ключові слова

піщана форма, лід, крижані моделі, кріотехнологія, формовка, оболочкова форма, кристалогідрати

### Summary

Doroshenko V.

Production on the ice patterns shell molds with hydrates

Crystalline hydrates, such as cement, gypsum and metal phosphates, are proposed as binders for the production of sand shell molds for temporary ice patterns (with the usage of melted patterns liquid for binders hydration and hardening). The investigation have shown that the most suitable for this purpose is rapid hardening cement, because of its ability to form for 5-7 min around the patterns in a container form a solid crust, made of dry sand mixture. Examples of shell molds are given.

### Keywords

sand form, ice, ice pattern, cryotechnology, molding, shell mold, crystalline hydrates

Поступила 30.08.10