

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Григалюнас Витаутас Иозо

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОСЛОГИПСОВОГО АНГИДРИТА  
НА СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕКЛЬНЫХ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ

(специальность 05.323. Литейное производство)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск - 1973

Работа выполнена на кафедре технологии металлов Каунасского политехнического института.

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент В.В.Бабилюс.

Официальные оппоненты: член-корреспондент АН БССР, доктор технических наук, профессор Вейник А.И., кандидат технических наук, старший научный сотрудник Пикинер С.И.

Ведущее предприятие - Каунасский литейный завод "Центролит".

Автореферат разослан *"26" апреля* 1973 г.  
Защита диссертации состоится *"8" июня* 1973 г.  
на заседании Объединенного Совета по присуждению ученых степеней по механико-технологическим, машиностроительным, автотракторным и торфяным специальностям при Белорусском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте.

Отзывы просим направлять по адресу: г.Минск-27, Ленинский проспект, 65, Белорусский политехнический институт, ученому секретарю Совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета -  
кандидат технических наук, доцент

Н.В.КИСЛОВ

## В В Е Д Е Н И Е

Директивами XXIV съезда КПСС в области машиностроения предусматривается обеспечить ускоренное развитие специализированных мощностей по производству отливок, повысить их качество и точность, внедрить в производство новые технологические процессы.

В технологии литейного производства значительное место занимает процессы изготовления форм и стержней. Одним из наиболее прогрессивных технологических методов изготовления форм и стержней является применение самотвердеющих смесей, обеспечивающих затвердевание и упрочнение без их тепловой или химической обработки. В нашей стране и за рубежом широкое распространение получили жидкостекольные смеси. В комплексе с соответствующими отвердителями эти смеси быстро твердеют и приобретают необходимые показатели.

В настоящей работе впервые теоретически и экспериментально решается задача изучения фосфогипсового ангидрита как отвердителя жидкостекольных смесей. Изучен механизм взаимодействия фосфогипсового ангидрита с жидким стеклом, установлена технология приготовления смесей, определены их свойства и влияние изготовленных из этой смеси форм на качество отливок. Главной целью работы является получение самотвердеющих смесей с высокой скоростью твердения и с другими необходимыми свойствами для изготовления литейных форм и стержней чугунового литья, улучшения санитарно-гигиенических условий труда и получения качественных отливок.

Диссертационная работа состоит из 5 глав, изложена на 178 страницах машинописного текста, из них содержит 13 таблиц и 62 иллюстрации, библиография — 124 наименования.

## Г Л А В А I

### ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Глава содержит обзор и анализ литературы о само-твердеющих формовочных смесях, изготовленных на основе органических и неорганических связующих материалов, приведены основные реакции процесса твердения.

В анализе гипсового ангидрита рассмотрено влияние различных химических соединений на его гидратацию и твердение. Приводится целый ряд работ в области химии и строительства, посвященных изучению гипсового ангидрита при его взаимодействии с водой. Сделан обзор и анализ имеющихся в литературе данных по жидкостеклянным формовочным смесям, приведены реакции процесса твердения, технология приготовления смесей, а также рассмотрены основные свойства жидкостеклянных смесей и процессы, происходящие в сырой песчано-глинистой форме при взаимодействии с расплавленным металлом.

Работы по изучению процесса твердения жидкого стекла с фосфогипсовым ангидритом практически отсутствуют, а также нет данных о свойствах жидкостеклянных смесей, применяемых в качестве отвердителя фосфогипсового ангидрита.

В настоящей работе ставится задача исследовать фосфогипсовый ангидрит как отвердитель в жидкостеклянных смесях, экспериментально изучить оптимальные режимы обжига фосфогипса с целью получения высокой скорости твердения, при сохранении других свойств смесей, теоретически изучить механизм взаимодействия фосфогипсового ангидрита с жидким стеклом, выяснить сущность процесса твердения и разработать технологии приготовления смесей. Главное внимание в работе сосредоточено на определении свойств жидкостеклянных самотвердеющих смесей с применением фосфогипсового ангидрита в качестве отвердителя. Ставится цель изучить влияние различных факторов на скорость твердения и прочность смесей, а также исследовать другие их свойства, определить термофизические коэффици-

енты смеси, необходимые при расчете процесса формирования отливки, а также исследовать основные механические и литейные свойства чугуна, отлитого в формах, изготовленных из изучаемой смеси в производственных условиях.

## Г Л А В А П

### ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФОСФОГИПСОВОГО АНГИДРИТА С ЛИДКИМ СТЕКЛОМ

В главе изучается взаимодействие фосфогипсового ангидрита с жидким стеклом. Для исследования применялось жидкое стекло (растворимый силикат натрия) модуля 2,76 с плотностью 0,0015 кг/м<sup>3</sup> и фосфогипс Кедаинийского химического комбината Лит.ССР, следующего химического состава: CaO-37,64%; S O<sub>2</sub> - 49,32%; Si O<sub>2</sub> - 2,62%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-0,21%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (общий) - 0,85%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (растворимый) - 0,45%. Фосфогипсовый ангидрит нами получен в процессе обжига фосфогипса.

Время твердения жидкого стекла с фосфогипсовым ангидритом, обожженным при разных температурах, определялось с помощью малой иглы Вика. Соотношение количеств жидкого стекла с фосфогипсовым ангидритом составляло 3:1.

Экспериментально установлено, что для получения высокой скорости твердения, при сохранении других свойств жидкостекольных самотвердеющих смесей, продолжительность твердения жидкого стекла с фосфогипсовым ангидритом должна быть в пределах 30-40 минут. Приведены данные опытов продолжительности твердения жидкого стекла с фосфогипсовым ангидритом и установлены оптимальные параметры обжига. Например, оптимальная продолжительность обжига при температуре 750°C от 90 до 480 минут, при температуре 800°C - от 30-120 минут, при 900°C - от 10-30 минут, при 1000°C - от 5 до 15 минут.

Проведены опыты для определения скорости твердения увлажненного фосфогипсового ангидрита с жидким стеклом. Установлено, что в противоположность феррохромово-

му шлаку, фосфогипсовый ангидрит негигроскопичен и при его увлажнении скорость твердения смеси не изменяется.

Механизм взаимодействия фосфогипсового ангидрита с жидким стеклом изучался с помощью рентгенографических и дифференциально-термических (ДТА) анализов. Рентгенограммы снимались на дифрактометре УРС-50 ИМ. ДТА проводились на дериватографе с пирометром Курнакова ПК-52. Для анализов применялся порошок фосфогипсового ангидрита, обожженного при температуре 800°C и выдержанного при этой температуре в течение двух часов.

Рентгенограмма фосфогипсового ангидрита показала, что межплоскостные расстояния соответствуют соединению сульфата кальция ( $\text{CaSO}_4$ ). Рентгенограмма смеси фосфогипсового ангидрита с жидким стеклом (соотношение 1:3) показала резкое ослабление интенсивности дифракционных максимумов, соответствующих  $\text{CaSO}_4$ . В то же время наблюдалось появление ряда новых линий ( $d = 5,50; 4,80; 3,82; 3,22; 3,10 \text{ \AA}$ ), соответствующих межплоскостным расстояниям соединений  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Рентгенограмма просушенного при температуре 100°C образца смеси из фосфогипсового ангидрита с жидким стеклом (соотношение 1:6) показала еще более резкое ослабление дифракционных максимумов  $\text{CaSO}_4$ , а ряд линий сульфата кальция совсем исчезает, и появляются новые линии ( $d = 4,66; 3,84; 3,174; 3,075; 2,763; 2,646; 2,329; 1,864; 1,680 \text{ \AA}$ ), соответствующие межплоскостным расстояниям соединения  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

Из приведенных результатов рентгенографического анализа следует, что при взаимодействии фосфогипсового ангидрита с жидким стеклом, по всей вероятности, образуется новое соединение - сульфат натрия.

В процессе дегидратации фосфогипса при испарении воды получается бета-полугидрат, на кривой ДТА которого наблюдается значительный эндотермический эффект в интервале температур 140-220°C с максимумом при 180°C.

Превращение бета-полугидрита в бета-растворимый ангидрит происходит при температуре 375–425°C. Такое превращение на кривой ДТА выражается незначительным экзотермическим эффектом, соответствующим перестройке полугидратной кристаллической решетки в ангидритную.

Кривая ДТА смеси фосфогипсового ангидрита с жидким стеклом показала четкий эндотермический эффект при температуре 122°C, что связано с дегидратацией жидкого стекла. Экзотермический эффект, полученный при температуре 860°C, по-видимому, связан с присутствием гидросиликата кальция. Эндотермический эффект при температуре 960°C, по всей вероятности, связан с диссоциацией образовавшегося двойного натрикальцевого карбоната.

Параллельно проведен ДТА смеси феррохромного шлака с жидким стеклом. В отличие от ДТА смеси фосфогипсового ангидрита с жидким стеклом, здесь наблюдается только один эндотермический эффект при температуре 150°C, что связано с дегидратацией жидкого стекла, а при дальнейшем повышении температуры никаких эффектов не замечалось.

Кривая ДТА смеси (соотношение 1:1) фосфогипсового ангидрита с 50% водным раствором NaOH показала эндотермический эффект при температуре 120°C, соответствующий удалению гигроскопической и адсорбционной влаги. Эндотермический эффект при температуре 540°C связан с дегидратацией гидрата окиси кальция. Наконец, при температуре 960°C наблюдался эндотермический эффект такой же, как и у смеси фосфогипсового ангидрита с жидким стеклом. Однако в этой кривой при температуре 860°C отсутствует экзотермический эффект, так как из-за отсутствия  $SiO_2$  у смеси ангидрита с NaOH не может образоваться гидросиликат кальция. Это еще раз подтверждает, что при взаимодействии фосфогипсового ангидрита с жидким стеклом образуется гидросиликат кальция.

Таким образом, при взаимодействии фосфогипсового ангидрита с жидким стеклом в нормальных условиях окружающей среды процесс твердения, по-видимому, протекает следующим образом:

1. В результате гидролиза силиката натрия образуются поликремневые кислоты, которые в воде практически не растворяются;

2. Гель кремневых кислот представляет собой микрогетерогенную систему, состоящую из губчатой твердой фазы, в порах которой распределена вода. Гель образуется при коагуляции кремнекислых зелей;

3. Ангидрит реагирует с водой очень медленно, однако сульфат натрия ускоряет гидратацию ангидрита, который переходит в двуводный гипс;

4. Поскольку для образования двуводного гипса необходимо значительное количество воды, то в смеси ангидрита с жидким стеклом происходит дегидратация геля поликремневой кислоты, который быстро переходит в кристаллические сростки;

5. При гидролизе растворенного сульфата кальция выделяется серная кислота. Она в смеси ангидрита и жидкого стекла нейтрализует  $\text{NaOH}$ , при этом получается сульфат натрия, который в дальнейшем является катализатором гидратации сульфата кальция.

В связи с этим затвердевание массы происходит очень быстро. Кроме того, быстрому затвердеванию массы способствует и образовавшийся во время процесса труднорастворимый гидросиликат кальция.

### Г Л А В А III ВЫБОР СОСТАВА И РАЗРАБОТКА ТЕХНО- ЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СМЕСЕЙ

Учитывая целый ряд требований, предъявляемых самотвердевающим смесям, а также опираясь на данные прове-



денных опытов принимаются следующие составы смесей для исследования (табл. I).

Таблица I

№ смеси	Состав в весовых процентах				Вне 100%	
	Песок кварцевый ЗКОЗА	Бентонит Б-2	Каменный уголь молотый ПЖ	Древесные опилки	Фосфогипсовый ангидрит	Жидкое стекло плотность 0,0015 кг/см <sup>3</sup> модуль 2,76
I	98	2	-	-	0,5-2,0	4-8
2	96	2	2	-	" -	" -
3	97,7	2	-	0,3	" -	" -

В главе рассматривается влияние последовательности ввода компонентов в бегуны и продолжительности перемешивания фосфогипсового ангидрита в жидкостекляных смесях на их свойства. Установлено, что фосфогипсовый ангидрит, как отвердитель жидкостекляной смеси, необходимо вводить в последнюю очередь, т.е. перед формовкой, так как после его введения живучесть смесей резко снижается и быстро происходит их отверждение. По мере увеличения времени перемешивания наблюдается понижение прочности и увеличение осыпаемости. При перемешивании смесей № I, 2 и 3 с 6% жидкого стекла и 1,5 фосфогипсового ангидрита в течение 0,5 минуты, образцы набирали максимальную прочность на сжатие после шестичасового отверждения 1,05; 0,91 и 0,8 Мн/м<sup>2</sup> соответственно, а после трехминутного перемешивания - 0,87; 0,82 и 0,77 Мн/м<sup>2</sup>. Осыпаемость тех же смесей при перемешивании продолжительностью 0,5 минуты составляла 0,11; 0,20 и 0,25%, а после трехминутного перемешивания - 0,22; 0,33 и 0,47%. По мере увеличения времени перемешивания непосредственный контакт с окружающим воздухом, содержащим CO<sub>2</sub>, ускоряет процесс отверждения жидкого стекла с фосфогипсовым ангидритом, вследствие чего живучесть смесей значительно понижается. Поэтому необходимо стремиться к сокраще-

над цикла перемешивания.

Понижение модуля жидкого стекла за счет введения в смесь раствора едкого натрия повышает прочность и снижает осыпаемость смесей. Наибольшее влияние оказывает едкий натрий 20% концентрации. Дальнейшее увеличение концентрации не эффективно, поэтому в исследованиях применялся едкий натрий 20% концентрации.

Таким образом установлен оптимальный режим приготовления смесей, который применялся в дальнейших исследованиях (табл.2).

Таблица 2

Последовательность ввода	Компоненты	Время перемешивания (в мин.)
1	Песок и сухие добавки	2
2	Влажные добавки	2
3	Раствор едкого натрия	2
4	Жидкое стекло	3
5	Фосфогипсовый ангидрит	1
Итого:		10

## Г Л А В А I V ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ САМОВЕРДЕЮЩИХ ЖИДКОСТЕКОЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

В главе изучаются свойства смесей, в которых в качестве отвердителя применяется фосфогипсовый ангидрит. Описана методика петрографического анализа, прочность при сжатии и растяжении, текучесть, уплотняемость прилипаемость, живучесть, газопроницаемость, выбиваемость, газотворность, твердость, осыпаемость, гигроскопичность, долговечность и термофизические свойства.

Для определения максимальной прочности смеси с минимальным количеством жидкого стекла выбиралась оп-

температура обжига фосфогипса. Исследовалось влияние двухчасового обжига фосфогипсового ангидрита при разных температурах (600, 700, 800, 900 и 1000°C) на прочность смеси. Опты проводились со смесью I, содержащей 6% жидкого стекла и 1,5% фосфогипсового ангидрита. Результаты опытов показали, что максимальная прочность образцов смеси после 2, 4 и 6 часов отверждения достигается при введении в смесь фосфогипсового ангидрита, обожженного при температуре 800°C. В образцах, изготовленных с фосфогипсовым ангидритом, обожженным при температуре 700 и 800°C, максимальная прочность на разрыв достигалась (0,17 и 0,25 Мн/м<sup>2</sup> соответственно) после 6 часов твердения при комнатной температуре воздуха. После выдержки в течение 24 часов прочность образцов смеси с фосфогипсовым ангидритом, обожженным при температуре 700°C, понизилась до 0,14 Мн/м<sup>2</sup>, а при температуре 800°C - не изменялась. В образцах, изготовленных с фосфогипсовым ангидритом, обожженным при температуре 900 и 1000°C, скорость нарастания прочности незначительна (после 6 часов твердения 0,15 и 0,13 Мн/м<sup>2</sup>). Максимальной прочности образцы достигали лишь после 24 часов твердения (0,30 и 0,38 Мн/м<sup>2</sup>).

Исследования показали, что с повышением температуры обжига фосфогипсового ангидрита микроструктура и удельная поверхность его резко изменяется, что существенно влияет на механические свойства образцов смеси. На снимках микроструктуры фосфогипсового ангидрита, обожженного при температуре 700°C, наблюдались тонкие пластинки. Ангидрит, обожженный при 900 и 1000°C, имел только зернистую структуру. Структура фосфогипсового ангидрита, обожженного при 800°C, состояла из двух частей: тонких пластинок и зерен. При взаимодействии этого ангидрита с жидким стеклом на поверхности частиц происходит гидратация фосфогипсового ангидрита и образуется двуводный гипс. Образовавшийся из пластинчатой структуры двуводный гипс способствует образованию цепи-

ров кристаллизации, вследствие чего протекает быстрая, перекристаллизация поверхностных слоев зернистых кристаллов. Поэтому скорость твердения смеси с фосфогипсовым ангидритом, обожженным при разных температурах, неодинакова.

В дальнейшем в исследованиях применялся фосфогипсовый ангидрит, обожженный при температуре 800°C с 2-х часовой выдержкой.

Скорость нарастания прочности образцов смеси И, содержащей 6% жидкого стекла с разным количеством фосфогипсового ангидрита, показана в табл. 3. Из табл. 3 видно, что с увеличением содержания фосфогипсового ангидрита скорость нарастания прочности смеси увеличивается.

Таблица 3

Содержание фосфогипсового ангидрита, %	Продолжительность твердения					
	2ч.	4ч.	6ч.	12ч.	18ч.	24ч.
	Прочность смеси на разрыв, Мн/м <sup>2</sup>					
0,5	0,07	0,11	0,12	0,18	0,28	0,34
1,0	0,09	0,14	0,17	0,22	0,26	0,29
1,5	0,12	0,20	0,25	0,25	0,245	0,25

Однако при вводе более 1,5% фосфогипсового ангидрита смесь очень быстро теряет живучесть и становится непригодной для изготовления форм и стержней. Так как смесь, содержащая 1,5% фосфогипсового ангидрита, имела высокую скорость твердения и сохранила необходимую живучесть, а прочность образцов со временем не изменялась, то для исследования принималось соотношение фосфогипсового ангидрита и жидкого стекла 1:4.

Изучено влияние количества жидкого стекла на скорость нарастания прочности при отвердении. Уста-

новлено, что с увеличением количества жидкого стекла скорость нарастания прочности увеличивается. Образцы смесей после 6 часов отверждения достигают максимальной прочности, а именно: при содержании 5% жидкого стекла прочность образцов смеси на разрыв 0,18 Мн/м<sup>2</sup>, при 6% - 0,25 Мн/м<sup>2</sup>, при 7% - 0,26 Мн/м<sup>2</sup>, при 8% - 0,26 Мн/м<sup>2</sup>.

Проведены исследования влияния влаги на прочность образцов смеси №1. Установлено, что при влажности смеси 3,5-4,5% образцы обладают максимальной прочностью.

Исследование других свойств смесей проводилось с образцами, содержащими от 4 до 8% жидкого стекла. В табл. 4 приведены результаты, относящиеся к образцам, содержащим 6% жидкого стекла.

Таблица 4.

Свойства смеси	F смеси		
	1	2	3
Прочность на сжатие во влажном состоянии, Мн/м <sup>2</sup>	0,0083	0,008	0,0077
Уплотняемость, м	0,0078	0,0083	0,0092
Текучесть, м	0,0181	0,0195	0,0191
Коэффициент прилипаемости	0,24	0,47	0,22
Ливучесть, сек	720	900	900
Газопроницаемость, ед (через 6 часов твердения)	170	175	210
Работа выбываемости, дж	20	15	9
Газотворность, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> (в течение 5 минут)	0,05	0,111	0,062
Твердость, ед. (через 3 часа твердения)	100	100	100
Осыпаемость, % (через 3 часа твердения)	0,06	0,08	0,11
Потери веса образцов, % (через 144 часа выдержки)	0,15	0,14	0,13

Свойства изучаемых составов смесей сопоставлялись со свойствами смеси на основе состава №1, содержащего 3% феррохромового шлага вместо фосфогипсового ангидрита. Из полученных результатов опытов наиболее яркое отличие наблюдалось при определении выбиваемости смесей, так как смесь с фосфогипсовым ангидритом выбивалась легче, чем сопоставленная, особенно при высоких температурах. Например, после обжига образцов при температуре 1200°C работа выбиваемости  $\bar{y}$  смеси с феррохромовым шлаком составляла 63 дж., а у смеси №1, №2 и №3-20, 14 и 9 дж., соответственно.

Для определения термофизических свойств использовался метод заливки расплавленного металла в изучаемую формовочную смесь. Этим методом определены эффективные значения коэффициентов, необходимых при расчете формирования отливки. При определении термофизических коэффициентов формы использовались известные формулы, выведенные для сухих форм. По этим формулам были найдены термофизические свойства методом последовательных приближений. Первое приближение получается в том случае, когда коэффициенты аккумуляции тепла отливки и форм различаются очень сильно, т.е. соблюдается неравенство  $b_1 \gg b_2$ . В этих условиях температуру поверхности отливки  $T_{II}$  допустимо принять равной температуре затвердения  $T_{кр}$  и равной температуре поверхности форм  $T_{2н}$ . При этом количество аккумулярованного тепла  $Q_{акк}$  обращается в нуль.

Тогда к моменту  $t_3$  полного затвердения отливки она теряет количество тепла:

$$Q_1' = Q_{кр}$$

Второе приближение получается, если температуру  $T_{II}$  считать равной температуре  $T_{2н}$ , так как при бесконечно большой интенсивности теплообмена ( $B_1 \gg 1$ ), идеальность контакта между отливкой и формой не окази-

вает влияния. Имеем:

$$T_{\text{II}} = T_{2n} = T_c$$

Температуру  $T_c$  можно определить по известной формуле.

Количество теплоты, теряемой отливкой по второму приближению, получаем:

$$Q_I = Q_{\text{кр}} = Q_{\text{акк}}$$

Подставляя полученные величины по первому приближению во второе приближение, мы определяем эффективные значения коэффициентов удельной теплоемкости  $c_{2\text{эф}}$ , температуропроводности  $a_{2\text{эф}}$ , теплопроводности  $\lambda_{2\text{эф}}$  и аккумуляции тепла  $b_{2\text{эф}}$  материала формы:

$$c_{2\text{эф}} = \frac{(n_2 + 1) X_1 S_1 \left[ r_1 + \frac{c_1}{n_1 + 1} (T_{\text{кр}} - T_c) \right]}{x_2 S_2 (T_c - T_{2\text{нач}})} ; \quad (1)$$

$$a_{2\text{эф}} = \frac{x_1^2}{2 n_2 (n_2 + 1) t_3} ; \quad (2)$$

$$\lambda_{2\text{эф}} = \frac{X_1 x_2 S_1 \left[ r_1 + \frac{c_1}{n_1 + 1} (T_{\text{кр}} - T_c) \right]}{2 n_2 (T_c - T_{2\text{нач}}) t_3} ; \quad (3)$$

$$b_{2\text{эф}} = \frac{X_1 S_1 \left[ r_1 + \frac{c_1}{n_1 + 1} (T_{\text{кр}} - T_c) \right]}{\sqrt{\frac{2 n_2}{n_2 + 1}} (T_c - T_{2\text{нач}}) \sqrt{t_3}} ; \quad (4)$$

где  $n$  — показатель степени параболы;  $X_1$  — половина толщины отливки,  $\rho$  — плотность материала;  $r_1$  — удельная теплота кристаллизации материала отливки;  $C_1$  — удельная теплоемкость металла в твердом состоянии;  $\chi_2$  — глубина проникающая тепла в толщу формы; индекс 1 относится к отливке, а индекс 2 — к форме.

Полученные по уравнениям (1) и (4) результаты, для изучаемого состава смеси №2 (6% жидкого стекла и 1,5% фосфогипсового ангидрита), ниже следующие:  $C_{23ф} = 1752$  дж/(кг.град.),  $a_{23ф} = 4,31 \cdot 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/сек,  $\lambda_{23ф} = 1,17$  вт/(м.град.),  $b_{23ф} = 1780$  вт.сек I/2/(м<sup>2</sup>.град.).

Полное время затвердения отливки с помощью коэффициента  $b_{23ф}$  подсчитывается по формуле:

$$t_3 = \left[ \sqrt{\frac{n_2+1}{2n_2}} \frac{\rho_1 r_1 X_1}{b_{23ф} (T_c - T_{2нач})} \right]^2 \quad (5)$$

Имея коэффициент  $b_{23ф}$ , также можно приблизительно рассчитать процесс охлаждения затвердевшей отливки в форме по формуле:

$$\frac{T_1 - T_{2нач}}{T_{нр} - T_{2нач}} = e^{-\frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{b_{23ф}}{X_1 \rho_1 C_1} (\sqrt{t} - \sqrt{t_3})} \quad (6)$$

Опытным путем определено температурное поле отливки и формы. Экспериментальные результаты, полученные на чугунной отливке при ее охлаждении в форме из смеси №2 были сопоставлены с расчетными результатами, полученными по формуле (6). Погрешность теоретических и экспериментальных данных не превышает 7%.

## Г Л А В А   У

### ПРОМЫШЛЕННОЕ ОПРОБОВАНИЕ И ВНЕД- РЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основе данных исследований производилось опробование самотвердеющей жидкостекольной формовочной



смеси в качестве облицовочной смеси для изготовления корпусных отливок станков на Каунасском литейном заводе "Центролит".

В первой стадии изучалась возможность применения фосфогипсового ангидрита в качестве отвердителя жидкостекольной облицовочной смеси для получения качественного чугуна. Из изученной смеси в 2 на ручной формовке были отформованы салазки и корпусы 4-х типов для станков, а на формовочных машинах мод. 234, - рукава. Экспериментальные формы заливались чугуном марки СЧ 21-40, СЧ 24-44 и СЧ 28-48.

Во второй стадии опробования цех завода полностью работал на предложенном составе самотвердеющей смеси. Были изготовлены и залиты все формы корпусных и других крупных отливок на ручной формовке и на конвейере крупного литья. Со стороны формы в отливках дефектов не наблюдалось. При этом для определения и сопоставления свойств чугуна проб и образцов, в цехе завода были залиты формы для них, изготовленные из полученной нами смеси, а также из смеси с феррохромовым шлаком. Формы для проб и образцов заливались чугуном трех марок (СЧ 15-32, СЧ 21-40 и СЧ 32-52), выплавленными в индукционных печах промышленной частоты. При этом определялся предел прочности при изгибе и растяжении, твердость, жидкотекучесть, макроструктура и притягаемость чугуна.

Из полученных результатов опробования новой смеси следует, что свойства чугуна, залитого в формы из смеси с фосфогипсовым ангидритом, не уступают свойствам чугуна, залитого в формы из смеси с феррохромовым шлаком. Отливки, полученные из форм опробованной смеси, соответствуют предъявляемым к ним требованиям. При этом расход фосфогипсового ангидрита в 2 раза меньше, чем феррохромового шлака. Улучшаются также санитарно-гигиенические условия труда, так как фосфогипсовый ангидрит нетоксичен.

Разработанный состав и технология приготовления смеси внедрена в производство на Каунасском литейном заводе "Центролит". Техничко-экономический расчет показал, что внедрение в производство нового состава облицовочной смеси дает годовую экономию свыше 15 тыс. рб. только на этом заводе.

## В В О Д И

1. В работе впервые теоретически и экспериментально решается задача изучения фосфогипсового ангидрита как отвердителя жидкостекольных смесей. Фосфогипсовый ангидрит получается в процессе обжига фосфогипса, являющихся неиспользуемым производственным отходом производства фосфорной кислоты. Замена феррохромового шлака фосфогипсовым ангидритом имеет важное значение, так как уменьшается количество отвердителя, на его качество не влияет влага, улучшаются некоторые свойства смесей и санитарно-гигиенические условия труда, достигается экономический эффект. Результаты работы внедрены в производство.

2. Изучена оптимальная температура (интервал 600-1000°C) и с ней связана продолжительность обжига фосфогипса для получения высокой скорости твердения при сохранении достаточно хороших других свойств самотвердеющих жидкостекольных формовочных смесей.

3. Методом рентгенографического и дифференциально-термического анализа теоретически выявлена сущность процесса твердения при взаимодействии фосфогипсового ангидрита с жидким стеклом. Установлено, что фосфогипсовый ангидрит ускоряет твердение жидкого стекла путем поглощения воды при образовании двуводного гипса. На процесс твердения воздействует сульфат натрия, как катализатор, способствующий гидратации сульфата кальция.

4. Проведены исследования температурной зависимости продолжительности твердения фосфогипсового ангидрита с жидким стеклом, а также влияния влаги на продолжительность твердения. Установлено, что при оптимальной продолжительности твердения (30-40 мин) расход фосфогипсового ангидрита примерно в 2 раза меньше расхода феррохромового шлака. Увлажненный феррохромовый шлак в несколько раз снижает продолжительность твердения, в то время, как увлажнение фосфогипсового ангидрита не влияет на это.

5. Определена зависимость свойств самоотвердещих жидкостекольных формовочных смесей с фосфогипсовым ангидритом от продолжительности перемешивания и концентрации едкого натрия. С увеличением продолжительности перемешивания вводимого фосфогипсового ангидрита, прочность смесей падает от 0,02 до 0,06 Мн/м<sup>2</sup>, а осыпаемость увеличивается от 0,1 до 0,2% на каждую минуту. Установлено также, что оптимальная продолжительность перемешивания равна 1 минуте. Повышение концентрации едкого натрия в смесях от 10 до 40% повышает их прочность и снижает осыпаемость.

6. Определена зависимость прочности и скорости твердения смеси от температуры и продолжительности обжига фосфогипса, количества фосфогипсового ангидрита, жидкого стекла и влаги. Установлена зависимость скорости нарастания прочности смесей от соотношения количества фосфогипсового ангидрита и жидкого стекла. Оптимальное соотношение ангидрита и жидкого стекла составляет, примерно 1:4, причем смесь с 6% жидкого стекла максимальную прочность на разрыв (0,25 Мн/м<sup>2</sup>) достигает после 6 часов твердения.

7. Исследовано влияние добавок каменного угля и древесных опилок на свойства смесей. Установлено, что добавки каменного угля и древесных опилок улучшают выбиваемость (на 25 и 50% соответственно), но сни-

завт прочность смесей (на 10 и 20%). Прилипаемость смеси с древесными опилками меньше, чем смеси с каменным углем. Газопроницаемость лучше смеси с древесными опилками. На живучесть, осыпаемость, гигроскопичность и другие свойства смесей эти добавки заметного влияния не оказывают.

8. Изучена работа выбиваемости затвердевших смесей в интервале температур 200-1200°C. Установлено, что затраченная работа на выбивку смесей с фосфогипсовым ангидритом в интервале температур 200-600°C на 80-100%, а при температурах 800-1200°C - в 2-3 раза меньше, чем смеси с феррохромовым шлаком.

9. Установлено, что введение фосфогипсового ангидрита в жидкостекольную формовочную смесь можно производить только на формовочных местах из-за небольшой ее живучести.

10. Методом последовательных приближений определены эффективные значения термофизических коэффициентов формы, необходимые при расчете процесса формирования отливки.

11. Исследованы основные механические и литейные свойства образцов чугуна марок СЧ 15-32, СЧ 21-40 и СЧ 32-52, отлитых в формах, изготовленных из изучаемой смеси. Установлено, что эти свойства не уступают свойствам чугуна, полученного в формах, изготовленных из смеси с феррохромовым шлаком.

12. Изученная самотвердеющая жидкостекольная формовочная смесь с фосфогипсовым ангидритом испытывалась в производственных условиях в качестве облицовочной смеси для изготовления среднего чугунового литья. Новый состав смеси внедрен в производство на Каунасском литейном заводе "Центролит". Производственные испытания смеси с фосфогипсовым ангидритом показали, что все ее свойства соответствуют предъявляемым требованиям. При-

менение разработанного состава смеси значительно улучшает санитарно-гигиенические условия труда. Согласно технико-экономическому расчету, внедрение в производство нового состава облицовочной смеси снизило себестоимость 1 тонны годного литья на 1,53 рубля.

13. Определено, что использование на других литейных заводах страны всего фосфогипса, образовавшегося только на Кедайняйском химическом комбинате позволило бы получить годовую экономию в сумме около 500 тыс.рублей.

Основное содержание диссертации отражено в следующих опубликованных работах:

1. В.И.ГРИГАЛЮНАС, В.В.БАБИЛЮС. Влияние катализатора на самотвердение жидкостекольной формовочной смеси. Материалы юбилейной литовской республиканской XX научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения В.И.Ленина. Машиностроение, Каунас, 1970.
2. В.И.ГРИГАЛЮНАС. Использование местного сырья. "Ляудес уикс" (Народное хозяйство), на лит.яз., №12, 1970.
3. В.И.ГРИГАЛЮНАС, В.В.БАБИЛЮС. Исследование взаимодействия фосфогипсового ангидрита с жидким стеклом. "Мокслас ир техника" (Наука и техника), на лит.яз №3, 1971.
4. В.И.ГРИГАЛЮНАС, В.В.БАБИЛЮС. Исследование физико-химических свойств фосфогипсового ангидрита как отвердителя жидкого стекла. Материалы литовской республиканской XXI научно-технической конференции. Машиностроение. Каунас. 1971.
5. В.И.ГРИГАЛЮНАС, В.В.БАБИЛЮС. Новые самотвердующие формовочные смеси с фосфогипсом. "Пл ресовная технология производства чугуниного литья и пути

повышения качества отливок". Тезисы докладов научно-технической конференции. Вильяус, 1971.

6. В.В.БАБИЛЮС, В.И.ГРИГАЛЮНАС. Исследование теплофизических свойств самотвердеющей жидкостекольной формовочной смеси. Материалы республиканской XXII научно-технической конференции. Машиностроение. Каунас. 1972.

Основные материалы диссертации докладывались:

1. На XX юбилейной литовской республиканской научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения В.И.Ленина (Каунас, 1970).

2. На XXI литовской республиканской научно-технической конференции (Каунас, 1971).

3. На научно-технической конференции (Вильяус, июль 1971).

4. На XXII республиканской научно-технической конференции (Каунас, 1972).