НА ГОС
НЕ ВЫ

На правах рукописи
УДК 621.744.075 (666.3)

Иванайский Владимир Алексеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА УСКОРЕННОГО ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЭТИЛСИЛИКАТНОЙ СУСПЕНЗИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА КАВИТАЦИИ.

Специальность 05.16.04. – Литейное производство

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва - 2004

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Рыбкин В.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Фоченков Б.А.
кандидат технических наук нач. лаборатории Глотов Е.Б.

Ведущее предп ГП «НПО Техномаш»

Защит 2004 г. на заседании диссертационн . Н.Э. Баумана по адресу: 107005, Москв .

Ваш енный печатью, просим выслa

им. Н.Э. Бау

У1661300
Иванайский В.А.
Исследование и разработка технологического процесса ускоренного приготовления этилсиликатной суспензии...
2004
0-00

У1661300

ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ
обозначенного здесь срока

Б-ка МГТУ им. Н.Э. Баумана
1661300
Иванайский В.А. Исследован

Тел

УЧ
ДИ
к.т.

Под 0 экз.
а

502

ФУЛ.

Общая характеристика работы.

Актуальность темы. Литьё по выплавляемым моделям является одним из перспективных методов получения отливок со сложной конфигурацией и практически из любых сплавов. Качество получаемых отливок во многом зависит от физико-механических и служебных свойств формы в которую производится заливка расплавленного металла.

Физико-механические и служебные свойства керамических оболочек зависят во многом от свойств и технологии приготовления связующего. В настоящее время как в России, так и за рубежом, основным компонентом для приготовления связующего служит этилсиликат (ЭТС), представляющий собой смесь эфиров ортокремниевой и поликремниевой кислот с присутствием незначительного количества хлороводорода.

Приготовление связующего производится путём гидролиза ЭТС с добавлением органического растворителя (спирт, ацетон, эфиро-альдегидная фракция и др.) и катализатора (соляная, уксусная кислоты и др.). Применение в процессе приготовления связующего органического растворителя и катализатора ведёт к ухудшению социально-экологических, санитарных, пожаровзрывоопасных условий на производстве.

Керамические оболочки, получаемые из суспензии содержащей 12-18% SiO_2, по данным отечественных и зарубежных исследователей, обладают необходимыми физико-механическими свойствами при изготовлении отливок из любых сплавов.

Достоинством разрабатываемого технологического процесса, по сравнению с другими способами, использующими органические растворители и катализатор при приготовлении связующего, является возможность получения оболочек, не уступающих по своим служебным и физико-механическим свойствам керамическим формам полученным при использовании растворителя и катализатора. При этом улучшаются социально-экологические, санитарные, пожаровзрывоопасные условия на производстве

Использование технологического процесса приготовления этилсиликатной суспензии, с содержанием 12-18% SiO_2, без применения органического растворителя для получения керамических форм сдерживается из-за отсутствия способа её получения, расчётов параметров технологического процесса, оборудования и, как следствие, данных в технической литературе.

Поэтому в данной работе предполагается исследовать механизм процесса гидролиза этилсиликата при кавитационном воздействии на несущую среду, а также разработать технологию и оборудование для приготовления этилсиликатной суспензии, исключив из технологического процесса использование органического растворителя, а также исследовать физико-механические характеристики полученных керамических оболочек.

Цель настоящей работы заключается в разработке, исследовании и внедрении кавитационного ускоренного способа получения этилсиликатной суспензии без применения органического растворителя, с отработкой оборудования и технологии изготовления оболочковых форм для получения отливок литьём по выплавляемым моделям.

Автор защищает:

1. Способ проведения ускоренного гидролиза этилсиликата без применения органического растворителя и получения ЭТС суспензии из компонентов, у которых отношение плотности дисперсных частиц к плотности жидкости может достигать 3, необходимо вихревое или вибрационное воздействие на несущую среду со скоростью от 1,2 до 3,0 м/с.
2. Необходимым условием для возникновения и протекания кавитационного процесса в жидкой фазе является наличие вихревого и вибрационного воздействия на несущую среду в интервале исследуемых частот (16-120 Гц) со скоростью, превышающей пороговую (0,25 м/с), такая скорость при вихревой кавитации должна быть у начала лопасти вихреобразователя.
3. Для проведения гидролиза ЭТС-32 без использования органического растворителя и получения ЭТС суспензии возможно использовать, без добавления катализатора, присутствующую в составе ЭТС соляную кислоту при её содержании 0,1%.
4. Скорость вихревого и вибрационного воздействия на несущую среду должна превышать пороговую скорость ускоренного гидролиза этилсиликата 1,2 м/с. При достижении температуры ЭТС суспензии в ходе её приготовления 310-325 К, она может быть использована для формирования керамической оболочки.

Методы исследования. Для решения поставленной научной задачи использовались методы теоретического анализа процессов, происходящих при воздействии вибрационной и вихревой кавитации на несущую среду (этилсиликат – вода - дисперсные частицы) и экспериментальные исследования влияния этих процессов на физико-механические и служебные свойства керамических форм для получения отливок литьём по выплавляемым моделям.

Теоретическое исследование условий возникновения и протекания кавитации в несущей среде во всём её объёме, влияющее на скорость протекания реакции гидролиза этилсиликата без применения органического растворителя, осуществлено с помощью математической модели движения волновода в реакторе с последующим расчётом на ЭВМ.

Механизм образования суспензии исследовался посредством гидромоделирования на прозрачных моделях с одновременным фотографированием процесса. При этом возникающий в жидкой среде кавитационный процесс исследовался с помощью специального датчика для регистрации пульсаций давления с записью их на шлейфовом осциллографе.

Физико-механические свойства полученных оболочек определялись при изгибе образцов $\sigma_и$.

Микроструктуру термообработанных отливок, полученных литьём по выплавляемым моделям по новой технологии, исследовали на растровом электронном и оптическом микроскопах.

Качество поверхности отливок определяли визуально. Плотность отливок определяли методом гидровзвешивания.

Научная новизна работы.

1. Установлен механизм протекания реакции гидролиза этилсиликата (при соотношении этилсиликата и воды вплоть до стехиометрического), без применения органического растворителя, при воздействии на реакционную среду вибрационной и вихревой кавитациями в процессе получения этилсиликатной суспензии.
2. Выявлены пороговые значения режимов вихревого воздействия на несущую среду, при которых начинается интенсивное перемешивание исходных компонентов во всём объёме несущей среды и, следовательно, ускорение реакции гидролиза этилсиликата и равномерное распределение твёрдых дисперсных частиц во всём объёме несущей среды.
3. Определены оптимальные соотношения компонентов в суспензии, при которых обеспечиваются необходимые физико-механические свойства керамических форм для получения качественных отливок.

Практическая ценность работы заключается в разработке методики расчёта установок использующих эффект вибрационной и вихревой кавитации, программы расчёта сил сопротивления жидкости движению в ней волновода «Расчёт сил», позволяющей определить основные параметры виброкавитационных установок, методов кавитационной термообработки, предварительной и окончательной очистки отливок от остатков керамической формы без проведения операции выщелачивания для стальных отливок.

Объём работы. Работа состоит из введения и пяти глав, изложенных на 164 страницах машинописного текста, содержит 55 рисунков и 18 таблиц, список литературы из 74 наименований.

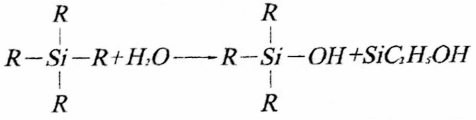
Содержание работы.

В первой главе приводится анализ технологии, особенности и обзор имеющихся способов приготовления этилсиликатной суспензии, анализ взаимодействия двухфазной системы в режиме кавитационного воздействия на неё.

Сущность реакции гидролиза состоит в замещении в олигомерных соединениях этилсиликата определённого числа этоксильных групп (C_2H_5O) гидроксильными (OH).

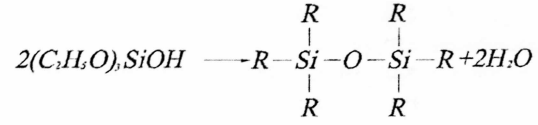
Наряду с реакциями гидролиза в этилсиликате идут процессы конденсации и полимеризации продуктов гидролиза.

При гидролизе тетраэтоксисилана 1 молем воды:



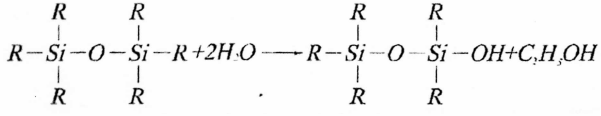
(1)

молекулы $(C_2H_5O)_4Si$ конденсируются с образованием диэфира и воды:



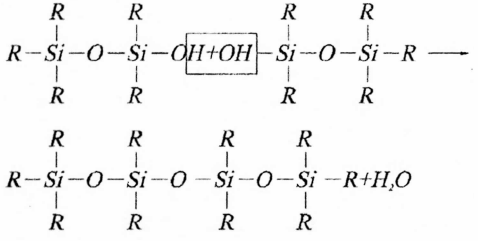
(2)

Образовавшийся диэфир, в свою очередь, гидролизуется выделившейся при конденсации водой:



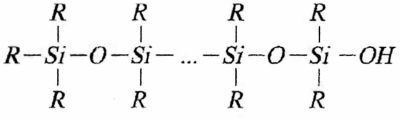
(3)

Полученное соединение конденсируется по схеме:



(4)

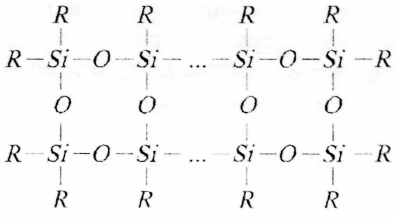
до образования полимеров с линейной структурой, типа:



(5)

где $R = (C_2H_5O)_4$ - этоксильные группы.

При дальнейшем гидролизе находящихся внутри цепей этоксильных групп получаются полимеры с сетчатой структурой:



(6)

То есть, в процессах гидролиза этилсиликата и последующей конденсации его участвуют два вещества: вода и этилсиликат.

Во многих работах отмечается, что реакцию гидролиза этилсиликата возможно проводить без органического растворителя. Для этого необходимо при смешивании этилсиликата с водой использовать спирт, являющийся одним из продуктов реакции гидролиза. Чтобы в процессе гидролиза спирт выделился в достаточном количестве и в короткий срок, следует вести смешивание компонентов при интенсивном механическом перемешивании.

Произвести интенсивное перемешивание этилсиликата и воды возможно при низкочастотном вибрационном или вихревом кавитационном воздействии на несущую среду.

В результате анализа существующих исследований сформулированы следующие задачи настоящей работы:

1. Провести теоретическое исследование процесса приготовления этилсиликатной суспензии без применения органических растворителей и катализаторов, изучить влияние различных видов кавитации на ускорение реакции гидролиза ЭТС и равномерного распределения твёрдых частиц по объёму несущей среды.
2. Подтвердить возможность получения этилсиликатной суспензии без использования органических растворителей и катализаторов при воздействии на несущую среду вибрационной и вихревой кавитациями и провести экспериментальные исследования.
3. Исследовать влияние кавитационного воздействия на термообработку отливок и удаление керамической оболочки с поверхности отливок.
4. Разработать методики расчёта основных узлов оборудования для ускоренного приготовления суспензии без использования органического растворителя.
5. Опробовать разрабатываемый способ и устройства для ускоренного приготовления огнеупорной суспензии и составить рекомендации его для использования в производстве.

Во второй главе определено влияние технологических режимов кавитационного воздействия на протекание реакции гидролиза этилсиликата, рассмотрена природа гидролизованного раствора этилсиликата и сама реакция гидролиза.

Исходя из того, что при двухкомпонентной системе этилсиликат-вода реакция может идти только на поверхности раздела фаз, то необходимо многократно её увеличить и провести реакцию гидролиза во всём объёме жидкости. Тогда раствор полностью будет состоять из разбавленного водой спирта и диспергируемого вещества.

Для получения качественного связующего материала необходимо также не только увеличить количественную сторону процесса гидролиза, т.е. провести его во всём объёме, но и изменить качественную сторону, т.е. увеличить скорость реакции.

Для увеличения поверхности раздела фаз и, соответственно, прохождения реакции во всём объёме несущей среды, а также для равномерного распределения катализатора возможно использовать процесс кавитации.

При присутствии в системе этилсиликат - вода до 0,1% соляной кислоты, без органического растворителя процесс гидролиза этилсиликата проходит в две стадии: на первой, при интенсивном кавитационном воздействии образуется эмульсия воды и этилсиликата. Реакция гидролиза при этом гетерогенна и проходит на границах раздела этилсиликата и воды и длится она до тех пор, пока в системе не накопится достаточное количество спирта, выделяющегося при гидролизе и являющегося растворителем для воды и этилсиликата. Время протекания этой стадии 3-4 минуты в зависимости от доли воды в системе.

При выделении достаточного для гомогенизации системы количества этилового спирта наступает вторая стадия, реакция гидролиза этилсиликата проходит во всём объёме также, как и в среде органического растворителя, но при более высоких концентрациях взаимодействующих растворённых этилсиликата и воды. Катализатор равномерно распределён по всему объёму системы.

На первой стадии расчётное соотношение молей воды и этоксильных групп в смеси не может быть реализовано в реакции гидролиза из-за гетерогенности системы. Гидролиз, в который вовлекается контактирующий с водой этилсиликат, протекает во всём объёме несущей среды, при условии возникновения в нём эффекта кавитации. При этом вода практически не находится в избытке, что приводит к резкому уменьшению кремниевых кислот (с длиной молекулярной цепи, равной длине цепи молекул исходного этилсиликата) и к реакции поликонденсации. Образующееся небольшое количество кремниевых кислот, плохо растворимых в воде и этилсиликате, находятся на гетерогенной стадии процесса в виде взвесей и растворяющихся в полученном при гидролизе этиловом спирте. При этом возможно получение связующих растворов I типа (истинных растворов кремниевых полимеров).

Переход системы этилсиликат – вода из гетерогенного в гомогенное состояние сопровождается резким температурным скачком (табл. 1.) из-за резкого возрастания интенсивности реакции при гомогенизации. Длительность гомогенной стадии гидролиза ≤ 120 – 180 секунд и зависит от соотношения этилси-

ликата и воды, а также концентрации катализатора *HCl*. При этом с увеличением концентрации соляной кислоты уменьшается живучесть системы.

Наши исследования показали, что с увеличением в растворах соляной кислоты на 0,1%, срок живучести сокращается на 10%. При концентрациях $HCl \geq 0{,}5\%$ при отсутствии интенсивного принудительного охлаждения гидролизаты, из-за резкого повышения температуры, через 120 – 180 секунд после перехода в гомогенное состояние коагулируют, образуя желеподобную массу.

Таблица 1

Зависимость температуры реакционной среды гидролизуемого раствора этилсиликата от соотношения воды и этилсиликата

Содержание			T_{max}, К	*τ*, с.	*v*
ЭТС, % об.	Вода, % об.	HCl, % об.			*град/сек.*
39,9	60	0,1	314	420	0,1
49,9	50	0,1	317,8	420	0,11
59,9	40	0,1	323,8	420	0,12
69,9	30	0,1	326,5	300	0,18
79,9	20	0,1	327	300	0,18

В проведённых экспериментах показано, что реакция гидролиза этилсиликата при соотношении его с водой близким к стехиометрическому, протекает полностью и во всём объёме при воздействии на несущую среду вихревой и вибрационной кавитациями. Полученные при этом суспензии могут быть использованы для получения керамических оболочек с физико-механическими параметрами не ниже, чем у оболочек полученных с помощью традиционного способа, т.е. при использовании в процессе приготовления суспензии органического растворителя.

В третьей главе проведен анализ математической модели двухфазной среды, состоящей из этилсиликата, воды и твёрдых частиц огнеупорного материала, подверженных вибрациям, создана методика расчёта основных параметров реактора (рис.1) для проведения реакции гидролиза этилсиликата при условии возникновения в нём эффекта кавитации во всём объёме несущей среды, разработан алгоритм и программа для расчёта сил сопротивления жидкости движению в ней волновода и определения величины оптимального кольцевого зазора δ, написанная на языке программирования Delphi, проведен анализ привода волноводов и создана методика расчета самосбалансированного привода, основанного на применении кулисы Вульфа.

Полученные графические зависимости сил сопротивления жидкости движению в ней волновода и определённая по ним оптимальная величина кольцевого зазора между волноводом и стенкой реактора полностью совпадают с экспериментальными данными, полученными в ходе исследований. При увеличении кольцевого зазора более 3 мм происходит образование безкавитационных зон в несущей среде, уменьшение его менее 1 мм приводит к разрушению волновода при длительной эксплуатации.

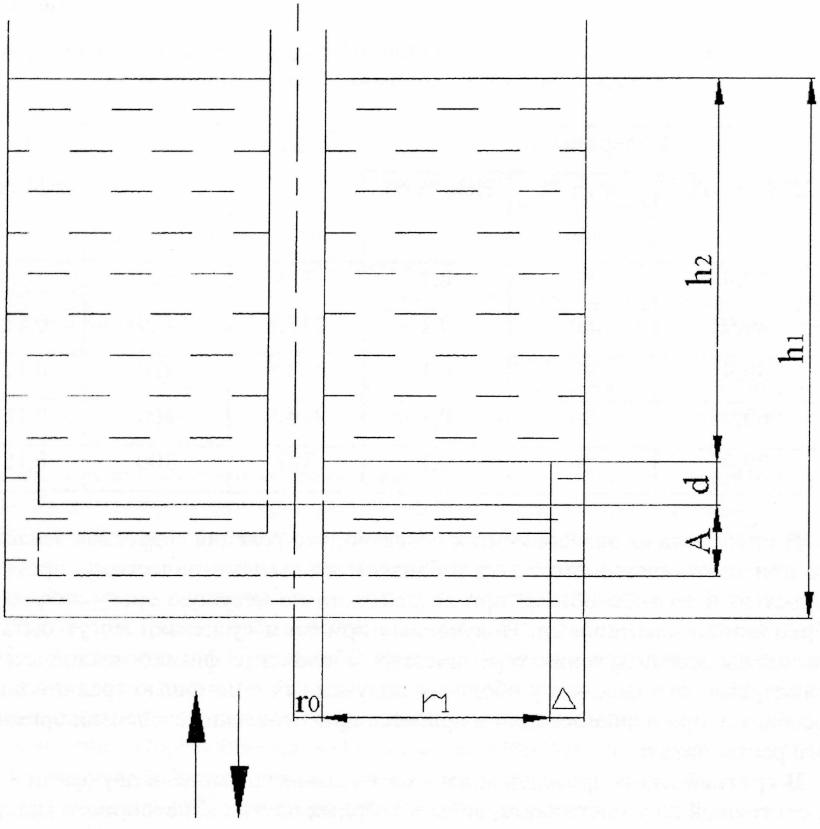


Рис. 1. Схема расположения волновода внутри сосуда

Расчёт, по приведенной в диссертационной работе методике, привода волноводов позволил спроектировать и создать экспериментальные установки для проведения реакции гидролиза ЭТС, получения суспензии при низкочастотном вибрационном кавитационном воздействии на несущую среду.

Для схемы вибровозбудителя, состоящей из четырёх механизмов «Кулисы Вольфа», где два крайних механизма имеют эксцентрики, развёрнутые относительно двух внутренних механизмов на 180° суммарная инерционная сила по оси движения ползуна будет иметь вид:

$$\sum P_u = P_{u1} + P_{u2} + P_{u3} + P_{u4} = \left\{ M_{n1}\frac{dV_1}{d\tau} + M_{n2}\frac{dV_2}{d\tau} + M_{n3}\frac{dV_3}{d\tau} + M_{n4}\frac{dV_4}{d\tau} \right\} =$$

$$= M_{n1}\cdot a\cdot\omega^2\cdot\sin\omega\tau + M_{n2}\cdot a\cdot\omega^2\cdot\sin(\omega\tau+180) + M_{n3}\cdot a\cdot\omega^2\cdot\sin(\omega\tau+180) + \quad (7)$$

$$+ M_{n1}\cdot a\cdot\omega^2\cdot\sin\omega\tau = 0$$

Разработанные методики позволяют подбирать и проектировать оборудование для различных технологических процессов в которых необходимо обеспечить интенсивное кавитационное воздействие на несущую среду.

В четвертой главе проведено исследование влияние технологических режимов кавитационного воздействия на приготовление этилсиликатной суспензи, описание лабораторных методов испытаний.

При кавитационном воздействии на систему этилсиликат – вода происходит резкое ускорение реакции гидролиза ЭТС. Как указывалось выше, для прохождения гетерогенной фазы гидролиза ЭТС необходимо возникновение во всём объёме несущей среды эффекта кавитации, приводящего к интенсивному перемешиванию и выравниванию в нём концентраций ЭТС и воды. Поэтому основной задачей является определение оптимальных параметров технологических режимов при которых проявление эффекта кавитации происходит во всём объёме несущей среды.

В качестве модельной жидкости рассмотрим воду, у которой плотность и вязкость практически не отличается от плотности и вязкости этилсиликата.

Параметры, определяющие возникновение и протекание вибрационной кавитации, подробно рассмотрены в работе. Для определения параметров вибрационной кавитации которая возникает во всем объёме несущей среды и ускоряет процесс гидролиза этилсиликата, а также которые необходимы для получения ЭТС суспензии, построена номограмма (рис. 2.)

Проведенные исследования показали, что помимо вибрационной кавитации возможно использовать, для проведения реакции гидролиза ЭТС, и вихревую кавитацию, которая также возникает во всём объёме несущей среды.

Найденное техническое решение конструкции установки позволяет получить в рассматриваемом объёме вихревую кавитацию.

Моделирование процесса вихревой кавитации производилось на специально разработанной и изготовленной установке, в состав которой входят электродвигатель постоянного тока ДПР-62-Н1/Н2/Ф1/Ф2-02 с номинальной частотой вращения при 100 об/с при напряжении питания 27 В и потребляемым, в номинальном режиме, током не более 0,82 А. Регулирование частоты вращения электродвигателя (от 75 об/с до 116,(6) об/с) производилось источником пита

ния постоянного тока Б5-47. Для возбуждения во всём объёме несущей среды вихревой кавитации использовались вихреобразователи оригинальной конструкции.

Цель моделирования заключалась в установлении пороговых значений скорости движения жидкости, при котором происходит возникновение и протекание вихревого кавитационного процесса во всём объёме несущей среды (рис.3.).

В ходе ряда экспериментов доказано, что возникновение и протекание вихревой кавитации, также как и вибрационной, не зависит от угла воздействия вихреобразователем на несущую среду.

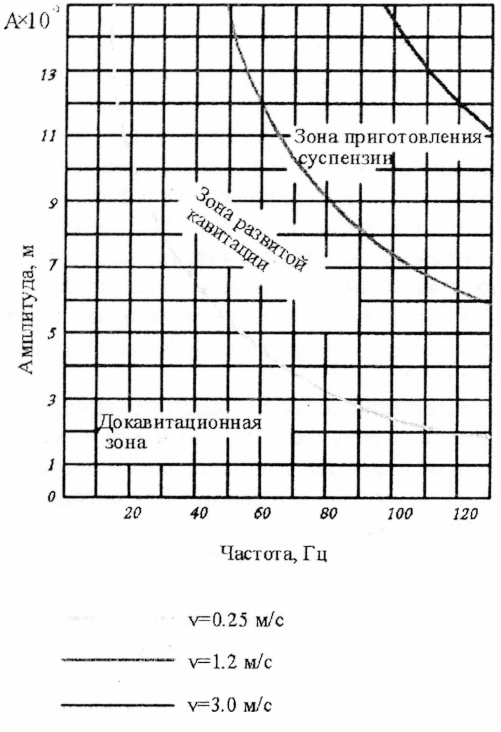


Рис. 2 График определения пороговых значений вибраций при которых возникает кавитация в жидкости и ускорение реакции гидролиза, а также приготовления суспензии

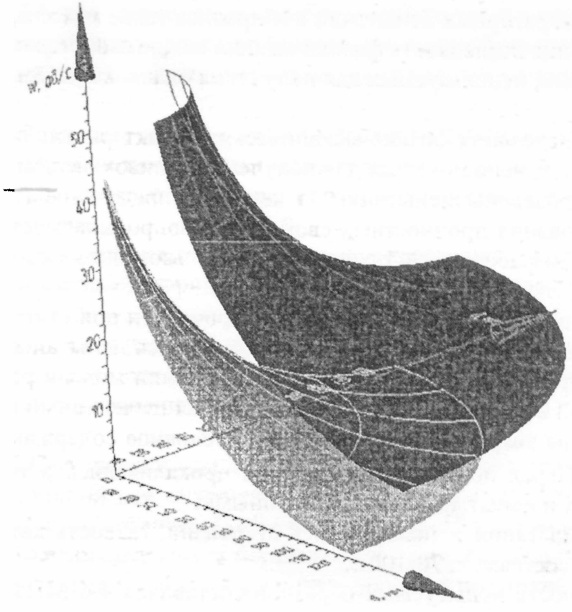


Рис. 3 График определения пороговых значений скорости вихреобразователя при которых возникает кавитация в жидкости, происходят процессы ускорения реакции гидролиза ЭТС и приготовления суспензии

V=1.2 м/с

V=3.0 м/с

Для определения возникновения и протекания кавитационного процесса в модельной жидкости использовался специально разработанный датчик, принцип работы которого основан на изменении проводимости воды при возникновении и протекании в ней эффекта кавитации. С помощью данного датчика были определены пороговые значения скорости вращения вихреобразователя при которых возникает эффект кавитации во всём исследуемом объёме.

Для определения температуры несущей среды использовался микрокомпьютер Hanna HI9024, позволяющий получать данные в режиме on-line.

В результате проведенных исследований были установлены режимы кавитационного воздействия (вибрационного и вихревого), позволяющие провести реакцию гидролиза ЭТС в течение 300-420 с.

Для лабораторных испытаний выбирались такие методы, которые позволяли всесторонне исследовать физико-механические свойства образцов керамических оболочек, используемых для получения отливок литьём по выплавляемым моделям.

Для определения физико-механических характеристик образцов керамических оболочек, используемых для получения отливок литьём по выплавляемым моделям, проведены испытания на изгиб и определение газопроницаемости. Для исследования прочностных свойств и газопроницаемости образцов, полученных по разработанной технологии, использовались методики указанные в работах.

Для испытания образцов на предел прочности при статическом изгибе использовался прибор РМ-3. На нём производились испытания трёхслойных образцов, полученных в прямоугольном углублении модели размером 15х50х2,5 мм. Основой в этилсиликатной суспензии был пылевидный кварц КП-3; обсыпали образцы кварцевым песком КО315; условное содержание SiO_2 в связующем 16%. Перед испытаниями образцы прокаливались в течение 4 часов до 1173-1223 К и испытывались охлаждёнными.

Для испытаний использовались суспензии, вязкость которых по вискозиметру ВЗ-4 составляла 70-100 с.

Прочность испытуемых образцов составляла 4-6 МПа в зависимости от соотношения этилсиликата и воды(60-80% об.ЭТС и 40-20% об.воды). Чем выше количество этилсиликата в суспензии, тем выше прочность керамической оболочки, т.к. в результате пониженного содержания свободной воды образуется большое количество высококонденсированных продуктов гидролиза.

Для определения газопроницаемости керамических образцов их прокаливали при 1073 – 1273 К, а затем охлаждали до 293 К. Газопроницаемость исследуемых образцов составила 20-25 ед.

Проведенные лабораторные исследования позволяют с большой степенью точности определить технологические, физико-механические и служебные свойства керамических оболочек изготовленных по новой технологии для литья по выплавляемым моделям.

Проведённые исследования влияния вихревого и вибрационного кавитационных воздействий на исходные компоненты подтвердили, что при возникновении эффекта кавитации во всём объёме несущей среды происходит ускорение реакции гидролиза этилсиликата. Быстрое прохождение гетерогенной фазы гидролиза ЭТС позволяет снизить время приготовления суспензии до 5-7 минут в отличие от существующих способов приготовления (30-60 минут), при сохранении прочностных свойств получаемых оболочек не ниже, чем у керамических оболочек с тем же условным содержанием диоксида кремния.

Протекание эффекта кавитации, как вибрационного так и вихревого, не зависит от положения рабочего органа, волновода или вихреобразователя, что позволяет реализовывать различные схемы подвода исходных компонентов в реактор.

Разработанный датчик, определяющий момент возникновения и протекания эффекта кавитации, позволил установить режимы вихревого и вибрационного воздействия, при которых возможно провести ускоренное приготовление этилсиликатной суспензии.

Прочность и газопроницаемость получаемых керамических оболочек, как показали проведенные лабораторные исследования, удовлетворяют требованиям предъявляемым к ним.

В пятой главе приведена разработка технологии изготовления отливок литьём по выплавляемым моделям с использованием способа ускоренного гидролиза этилсиликата без применения органического растворителя и катализатора.

Получение ЭТС-суспензии при воздействии на несущую среду в режиме кавитации (вибрационной или вихревой) производится в гидролизёрах специальной конструкции с добавлением ПАВ ОП-7 или ОП- 10 в течение 300-420 с.

После приготовления суспензия переливается в бак, где производится покрытие модельных блоков их окунанием с последующей обсыпкой в установке с «кипящим слоем».

Сушка блоков, после окунания в бак с суспензией и нанесения огнеупора, производится на конвейере в среде влажного воздуха. Её продолжительность составляет 3-4 часа для каждого нанесённого на модельный блок слоя.

Последующее удаление моделей производится в перегретом модельном составе, что позволяет повысить прочность оболочковой формы в не прокалённом состоянии, благодаря пропитке её модельным составом.

После удаления модельного состава из полости формы, её заформовывают в сыпучий огенеупорный материал (кварцевый песок, шамотный порошок). Производится формовка в холодном состоянии и затем формы в контейнерах прокаливаются в течение 6-8 часов.

Заливка форм производится в горячие формы сразу после прокаливания блоков. Затем формы, упрочнённые сыпучим материалом, выбиваются при опрокидывании контейнеров на провальную решётку.

Предварительную очистку отливок от оболочек формы осуществляют на вибрационных установках. Частичное отделение оболочки от формы происходит под действием охлаждения её водой вместе с отливкой в кавитационной ванне.

Такая обработка позволяет устранить влияние пузырчатого и плёночного кипения воды и максимально быстро охладить форму с отливкой.

После отделения отливок от литниковой системы проводится их очистка в горячей воде при температуре 343-363 К в кавитирующей ванне. Форма при интенсивном взаимодействии с водой набухает, разрушается и уносится потоками воды.

Нами исследована возможность проведения термообработки отливок с помощью низкочастотных колебаний (16-120 Гц) и вихревого воздействия на закалочную среду, вызывающие в ней эффект кавитации.

Было установлено, что при воздействии на жидкую среду низкочастотными колебаниями в интервале частот 16-120 Гц и с амплитудой 2-15 мм, вращении вихреобразователя с угловой скоростью 60-100 об/с, охлаждение отливки при термической обработке идёт со скоростью, близкой к скорости охлаждения при ультразвуковой обработке (рис.4).

Также разработана универсальная установка для проведения термокавитационной обработки, предварительной и окончательной кавитационной очистки отливок от керамической форм.

Для реализации технологического процесса ускоренного приготовления этилсиликатной суспензии с использованием эффекта кавитации была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка с емкостью бака 200 л.

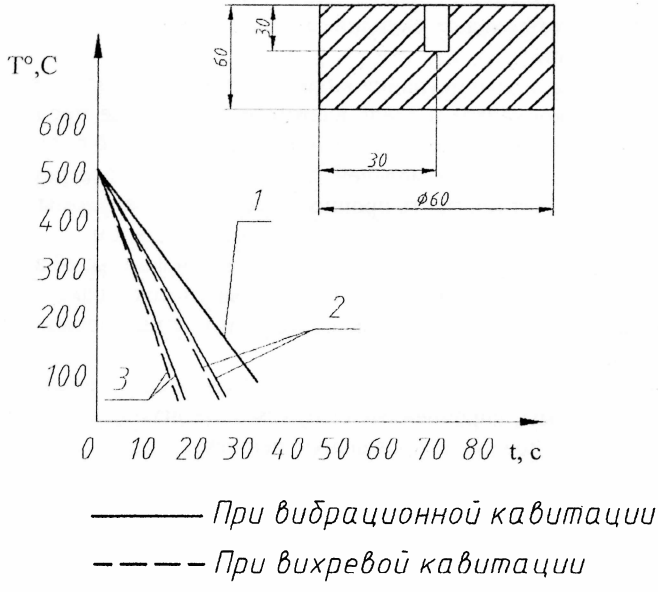


Рис. 4 Кривые охлаждения образца в воде

1. Без применения эффекта кавитации; 2. При непосредственном воздействии на образец; 3. При кавитационном воздействии на воду.

Основные выводы и результаты работы.

1. Для получения отливок литьём по выплавляемым моделям возможно использование эффекта кавитации на следующих технологических этапах:
   - гидролиз этилсиликата;
   - получение ЭТС суспензии;
   - предварительная очистка отливок от керамической формы;
   - очистка отливок от остатков керамической формы;
   - кавитационная термообработка.
2. Подтверждена возможность проведения гидролиза этилсиликата при воздействии низкочастотной (16-120 Гц) и вихревой кавитациями (60-100 об/с) на несущую среду при скорости превышающей пороговую ($v > 1.2 м/с$). Кроме того исследована возможность использования вихревой кавитации и разработана конструкция вихревой установки.
3. В результате анализа математической модели произведён расчёт сил сопротивления жидкости движению в ней волновода, которые зависят от величины зазора между стенкой реактора и волноводом, что определяет и другие параметры реактора.
4. Разработана программа для расчёта сил сопротивления жидкости движению в ней волновода.
5. Установлено влияние основных параметров вибрации и, впервые, вихревой кавитации на получение этилсиликатной суспензии.
6. Разработан ряд устройств для приготовления этилсиликатной суспензии.
7. Применение эффекта кавитации возможно для предварительной очистки отливок от керамической формы, для окончательной очистки отливок от остатков формы, а также для термокавитационной обработки отливок.
8. Экспериментально подтверждена адекватность минимальных значений силы сопротивления жидкости движению в ней волновода при минимальных зазорах между волноводом и стенкой реактора. При этом, если зазор меньше чем 1-3 мм, возможно разрушение волновода при его длительной эксплуатации. При величине зазора более 3 мм происходит образование безкавитационных зон в несущей среде.
9. Проведённые исследования позволили разработать технологический процесс получения отливок литьём по выплавляемым моделям без использования органического растворителя и минимальном количестве катализатора.
10. Промышленное апробирование способа ускоренного приготовления этилсиликатной суспензии, предварительной и окончательной очистки отливок, термокавитационной обработки подтвердила возможность получения отливок ЛВМ при использовании эффекта кавитации.

Основные результаты работы отражены в следующих публикациях:

1. Рыбкин В.А., Иванайский В.А. Расчёт конструкции реактора для приготовления этилсиликатной суспензии с использованием эффекта кавитации // Технология машиностроения. – 2003. - №4. - С. 3-5.
2. Иванайский В.А. Ускоренный водный гидролиз этилсиликата // Технология машиностроения. – 2000. - №3. - С. 4-5.
3. Рыбкин В.А., Иванайский В.А. Получение связующих на основе этилсиликата без органического растворителя для литья по выплавляемым моделям // Технология машиностроения. – 2004. - №1. - С. 3-5.