

Способ виброформовки насыпных литейных форм с энергетическим отображением процесса дилатансии

Совершенствование литейных технологий и внедрение новых способов литья по газифицируемым и испаряемым моделям сопряжено с развитием общих основ энергетической теории управления процессами формообразования [1-3]. Определенный сдвиг в этом направлении достигнут при разработке новых конструкций насыпных литейных форм (НЛФ) [4, 5]. Техническое воплощение последних научных достижений определило вектор перевооружения малых и средних литейных предприятий, направленный на замену химических технологий формовки, экономически и экологически более выгодными физико-механическими способами консолидации дисперсной формовочной среды (ДФС) [6]. Применение новых способов с комбинированным воздействием на форму механических колебаний, вакуума и гравита-

Разработан способ виброформовки насыпных литейных форм с диагностированием режимов уплотнения дисперсной формовочной среды. Способ предусматривает в процессе возбуждения механических колебаний формы измерение характеристик энергетического рассеяния для определения диапазона технологических частот и эффекта положительной дилатансии. Дополнительно проведены исследования эффективности вибрационного уплотнения легковесных огнеупорных сред

тационного поля позволило селективно изменять подвижность дисперсной среды и компактно объединять отдельные частицы в цельный связанный объект.

Анализ механизмов энергообмена и газодинамики НЛФ показывает [7], что большие возможности конструирования форм (рис. 1) открывает применение легковесных огнеупорных сред (ЛОС), обладающих низкой теплопроводностью и высокой газопроницаемостью. Известно, что на газовый режим НЛФ, кроме массы и деструктивных характеристик модели как источника газообразования физической природы, влияют фильтрационные характеристики материала литейной формы.

В таблице приведены физико-химические свойства ЛОС трех фракций, нашедших применение в качестве сыпучего наполнителя НЛФ.

В связи с этим нужно отметить, что проведение дальнейших исследований по применению новых материалов и разработке новых методов управления процессами виброформовки весьма современно и актуально.

Рассмотрим принципы управления процессами виброформовки НЛФ.

Операция вибрационного уплотнения дисперсной формовочной среды (ДФС) в опоках на стадии формовки преследует три основные цели:

- сформировать жесткое тело формы с максимально компактной укладкой ДФС в опоке, чтобы исключить любые перемещения и миграцию песка при транспортировке и заливке расплава;
- обеспечить поддержание размерной точности

разовых моделей на стадии формовки, не разрушить и не деформировать легкие детали моделей при вибрационном уплотнении ДФС;

- создать необходимый запас устойчивости образующей

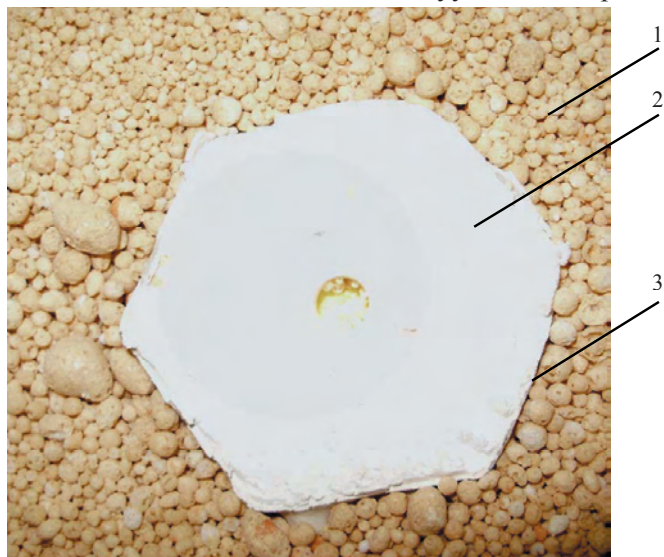


Рис. 1. Конструирование насыпных литейных форм (НЛФ) на основе применения легковесных огнеупорных сред с повышенной газопроницаемостью взамен кварцевого песка: 1 – легковесная огнеупорная среда (ЛОС); 2 – газифицируемая модель; 3 – разделительное огнеупорное покрытие

Таблица

Физико-химические свойства ЛОС

Наименование	Фракции		
	0,10-0,63	0,63-2,50	2,5-10,0
Размер гранул, мм	0,10-0,63	0,63-2,50	2,5-10,0
Насыпная плотность, кг/м ³	120 +/- 20	70 +/- 20	60 +/- 20
Прочность на сжатие, кг/см ²	1,7	1,4	1,4
Показатель рН	8-11		
Коэффициент теплопроводности, Вт/мК	0,055	0,050	0,048

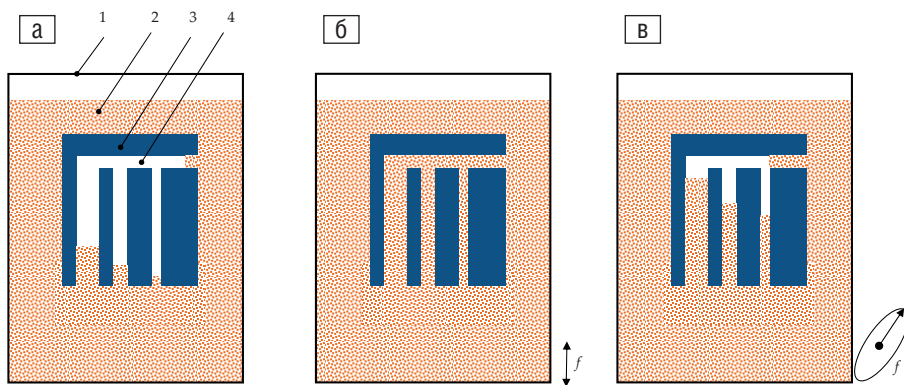


Рис. 2. Поведение дисперсной формовочной среды (ДФС) в опоке при формовке модели с внутренними сообщающимися каналами: а – равновесное состояние в поле гравитационных сил; б – положение ДФС в каналах при действии вертикальной симметричной гармонической вибрации в поле сил тяжести; в – квазиравновесное состояние при комплексном действии несимметричной круговой гармонической вибрации и сил тяжести. 1 – опока, 2 – ДФС, 3 – модель, 4 – внутренние сообщающиеся каналы

поверхности модели при действии динамического и металлостатического напора жидкого расплава, чтобы не допускать обвала и эрозийного разрушения модельного пространства.

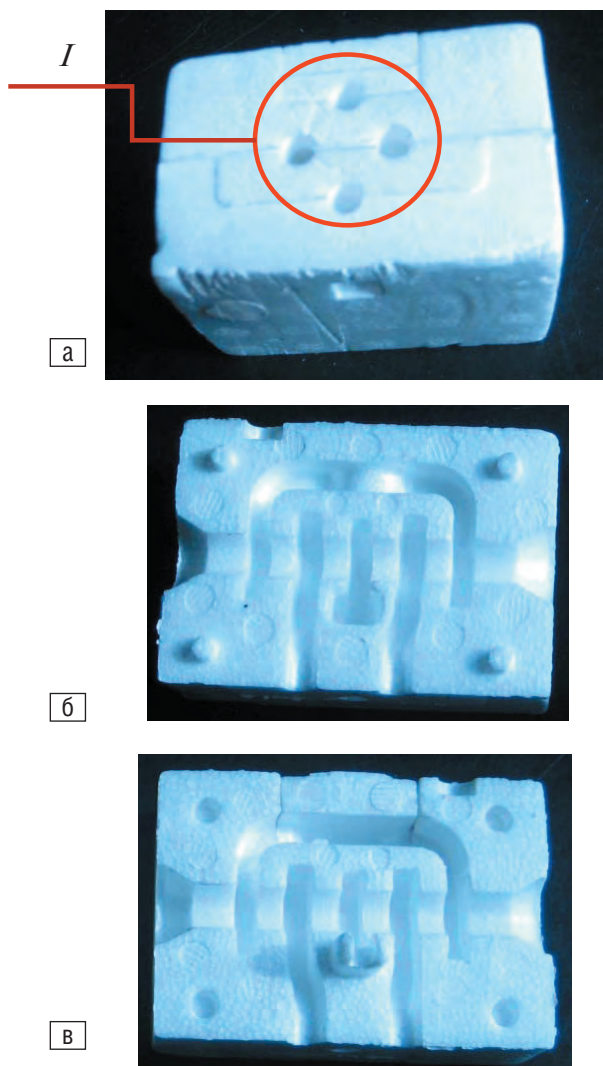


Рис. 3. Конструкция сложносоставной модели гидрораспределителя, изготовленная из пенополистирола автоклавным спеканием: а – модель в собранном виде; б, в – составные детали модели; I – выходы каналов в модели для заполнения песком

При уплотнении ДФС в опоках, ее стремятся сжать как можно компактнее по всему объему формы, не допуская искажений размерной точности составных конструкций моделей. Отметим, что в сложных моделях с внутренними каналами последние наполняют ДФС в процессе формовки. Заполнение модельных каналов осуществляют особым режимом механических колебаний, при котором возбуждается направленное течение песка внутри формы (рис. 2). Применение гравитационной засыпки без вибрирования формы (рис. 2, а) не может обеспечить

100 % заполнения модельных каналов песком, так как, в отличие от жидкой среды, существенное влияние на ДФС оказывают силы сухого трения. Только при совместном действии вибрации и сил тяжести возникает эффект вертикального подъема песка во внутренних каналах модели. Рассматривая действие круговых колебаний и, в частности, гармонической вибрации (рис. 2, в) можно отметить, что ее действие на ДФС порождает круговые циркуляционные течения, вызывающие искривления профиля тонких элементов моделей. Вот почему при виброформовке на вибростолах целесообразно приложение вертикальных гармонических колебаний, симметричных центру масс формы (рис. 2, б) как вносящих наименьшее искажение геометрии моделей. В качестве примера можно привести сложносоставную модель гидравлического распределителя (рис. 3), для которой глубинное заполнение песком внутренних каналов обеспечивается при задании специальных направленных режимов вибрационных колебаний [2, 3]. Отметим, что показатель эффективности уплотнения ДФС выражается через величину положительной дилатансии. Соответственно, введение в вибро-систему элементов прямого или косвенного контроля дилатансии позволяет проводить анализ протекающих процессов уплотнения и консолидации ДФС непосредственно в процессе виброформовки.

Как показывает анализ публикаций, касающихся рационализации режимов вибрационного уплотнения литейных форм [8-10], имеются заметные различия в выборе частот и ускорений, в частности, по критерию Fr^* . В более поздних работах [11-13] отмечается направленность поиска комплексных решений относительно режимов виброформовки – в дополнение к вертикальной стали добавлять

* Fr – число Фруда

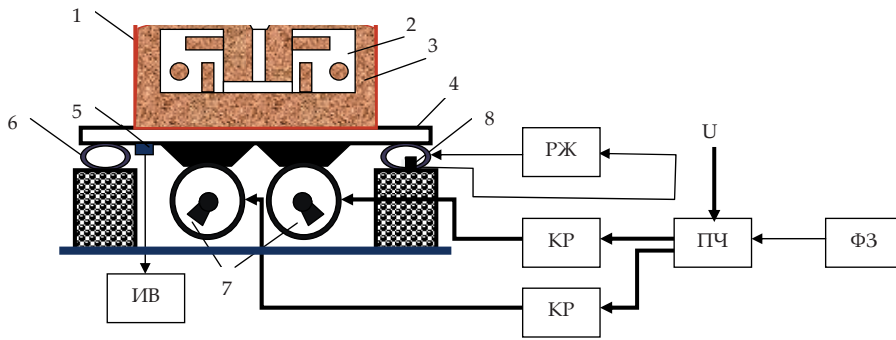


Рис. 4. Структурная схема вибростенда для уплотнения несвязанного песка в опоках при подготовке форм: 1 – уплотняемая форма; 2 – газифицируемая модель; 3 – несвязанная гранулированная среда; 4 – вибростол; 5 – акселерометр; 6 – упругий элемент; 7 – инерционные вибровозбудители; 8 – датчик давления; ИВ – измеритель ускорения вибрации; РЖ – регулятор жесткости вибростола; КР – коммутатор реверса моторов; ПЧ – преобразователь частоты; ФЗ – функциональный задатчик; U – входное напряжение питания

горизонтальную круговую вибрацию. Нет сомнения, что все разнообразие рассмотренных режимов виброформовки НЛФ обусловлено сложностью математического описания вибрационного движения неоднородной ДФС при возникающей неустойчивости ее технологических свойств.

Обозначим два основных подхода к оптимизации режимов вибрационной формовки: *пассивное моделирование* – предварительный расчет параметров вибрационного уплотнения на основе физических представлений о процессах, протекающих в песчаной форме, и знаний истинных размеров модельной оснастки [8, 9, 11, 12]; *активное моделирование* – динамическое моделирование в замкнутых регулирующих системах, построенных по одно-, двух- и трехуровневым схемам подчиненного регулирования [1-3].

Технологические режимы при пассивном моделировании устанавливают предварительным

расчетом оптимального управляющего воздействия, по параметрам вибрации и времени вибрационной обработки. Отметим, что каждый технологический режим рассчитывают только для конкретной системы «форма-отливка» и всегда могут возникнуть сложности в его применении для других типов моделей, даже при формовке в одних и тех же опоках. Особенно возникают сложности расчетов и оптимизации режимов динамического уплотнения форм в двухмассных асимметричных системах без конкретного учета в математических моделях переменных факторов: массы загрузки, объема и высоты опоки, коэффициентов гидродинамической сложности и шероховатости поверхности моделей, их размерное и массовое распределение в объеме формы; параметров, характеризующих динамику изменения реологических свойств сыпучей среды при возбуждении механических колебаний.

Под действием вибрации происходит непрерывное движение сыпучего материала и изменение объемной плотности. Эти изменения наиболее заметны на открытой поверхности с амплитудами колебаний в диапазоне 0,3-2,5 мм при $Fr > 1$. Песчаная среда переходит в псевдожидкое состояние, которое характеризуется разрыхлением песка в локальных зонах модельного пространства. Для операции формовки сложных моделей с передачей колебаний через дно формы (рис. 4)

объединяют несколько последовательных режимов в одном цикле вибрационного воздействия. Сначала задают высокую скорость и амплитуду отрыва сыпучего материала по объему уплотняемой формы для виброгравитационного перетекания песка в полости и каналы моделей. Когда достигнуто объемное разрыхление песка и обеспечено затекание в каналы модельного пространства, осуществляется последовательный переход в режим вибрационной подпрессовки формовочной смеси, находящейся в опоке. При уплотнении песка по этой схеме (рис. 4) необходимо поддерживать ускорения колебаний открытой поверхности песка не выше ускорения свободного падения g . На рис. 5 приведены эксперименталь-

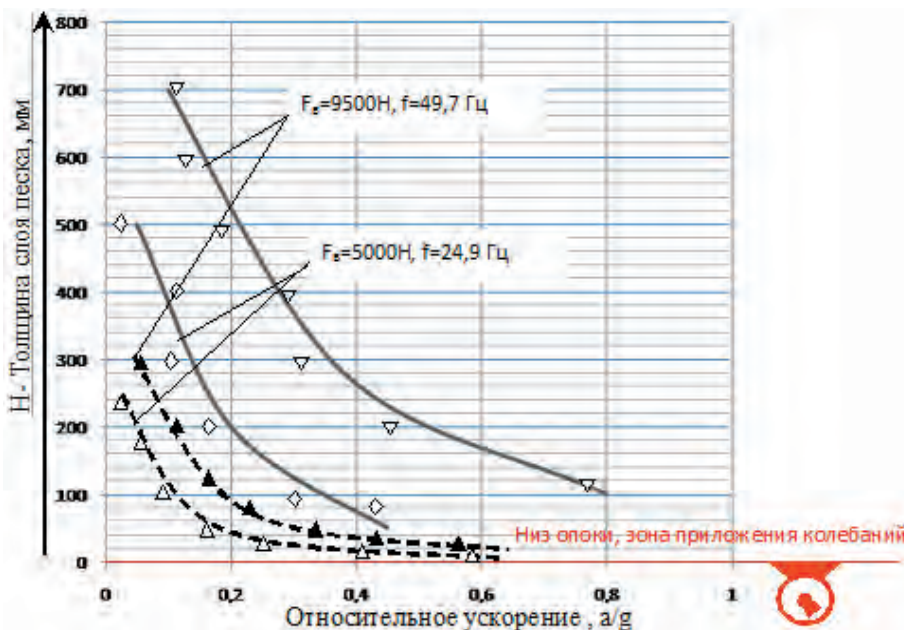


Рис. 5. Экспериментальные кривые затухания вибрации по высоте наполнителя в опоке с рабочим пространством 800 x 800 x 800 мм в зависимости от характеристик дисперсной формовочной среды и частоты вибрации: — сухой формовочный песок; --- легкая огнеупорная среда (ЛОС)

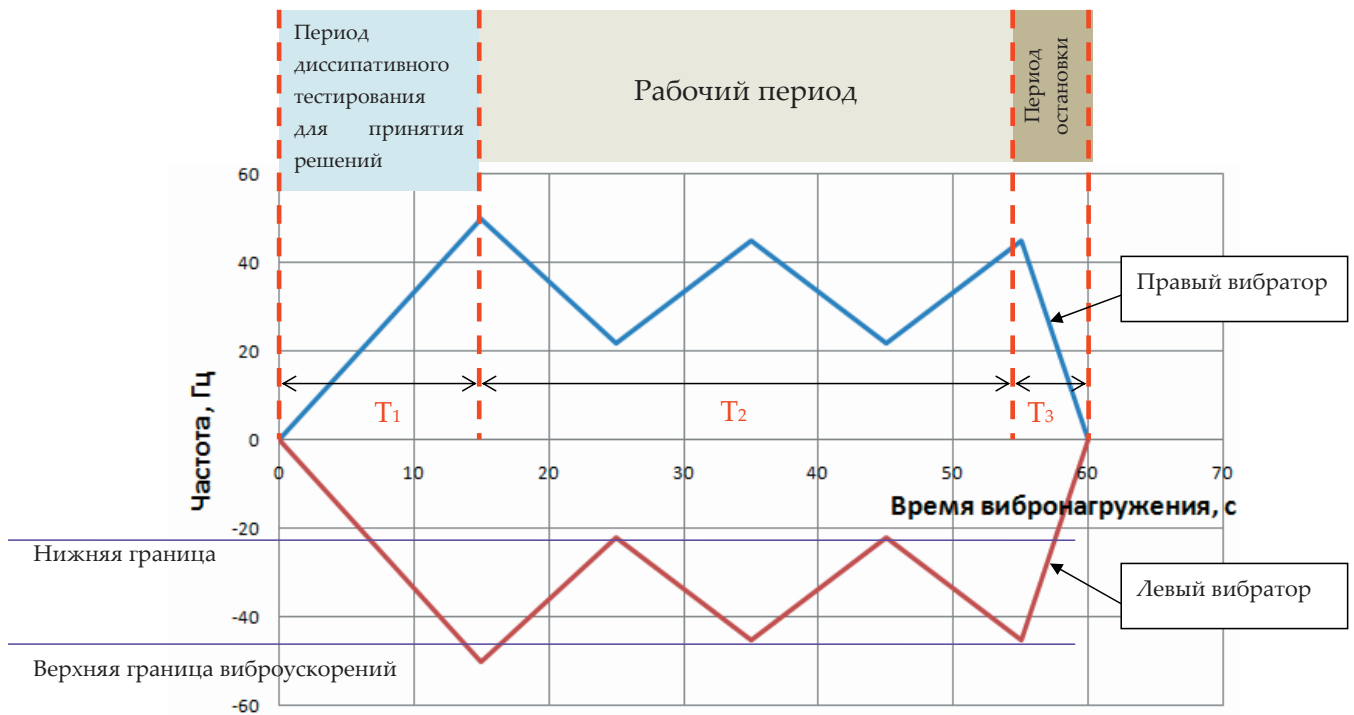


Рис. 6. Режим синхронизированной работы инерционных вибровозбудителей (рис. 4) для возбуждения вертикальных направленных колебаний формы с монотонным циклическим заданием частоты вибрации

ные кривые уплотнения песчаной формы объемом $0,5 \text{ м}^3$ при использовании двух типов промышленных вибраторов ИВ с круговыми скоростями вращения: верхняя кривая, $n = 3000$; нижняя кривая, $n = 1500$ (об/мин).

В обоих случаях соблюдаются условия безотрывного движения частиц песка по высоте формы, но при частоте, близкой к 50 Гц, достигается большой эффект уплотняющего воздействия на песок. Свежий прокаленный кварцевый песок хорошо уплотняется в интервале ускорений $(0,20-0,95)g$. При дополнительном внешнем давлении на смесь сверху или создании в песке газового разрежения его сдвиг и уплотнение начинаются только при некотором критическом ускорении, равном $(0,35-0,45)g$, при превышении которого процесс уплотнения развивается более интенсивно. В отличие от кварцевого песка, ЛОС из-за своей легкости и пустотелости обладает высокой демпфирующей способностью и его уплотнение в формах с нижним подводом колебаний не имеет практического смысла (рис. 5).

Частотно-энергетический анализ циклических режимов виброформовки НЛФ.

С целью изучения возможностей использования частотных и временных спектров мощности для управления и диагностики системы «вибровозбудитель-НЛФ» проведены экспериментальные исследования по изучению влияния циклической вибрации в диапазоне дорезонансных частот системы на изменение качественных показателей процесса виброформовки (рис. 6).

Теоретические исследования не позволяют произвести необходимый расчет степени уплотнения ДФС, используя заданные параметры возбуждаемых механических колебаний. Поэтому приходится делать некоторые допущения, основанные на экспериментальных результатах.

Исследования и сопоставление характеристик проводились в режимах монотонного циклического подъема и опускания частоты вибрации с анализом энергетических спектров сигналов от датчиков мощности вибровозбудителя. В процессе получения экспериментальных данных предполагалась их обработка для обоснования технической применимости выдвинутых предположений: анализ частотного спектра вибраций на присутствие энергетических сигналов, определяющих положительный эффект дилатансии в рассматриваемых системах; отработка законов оптимального управления процессом виброформовки; разработка энергодиагностических критериев оценки степени уплотнения ДФС.

Рассматривая систему «вибровозбудитель-НЛФ» в режиме линейного монотонного подъема частот (рис. 6) при отделении помех динамического и теплового характера, энергетические меняющиеся характеристики формы можно представить в виде матрицы n -мерных векторов, компонентами которых являются значения амплитуд мощности P_n , взятые через определенные промежутки частоты Δf или промежутки времени Δt .

Для раскрытия вышесказанных положений в настоящей работе в качестве примера на рис. 7 представлены диаграммы изменения мощности P

при уплотнении песчаной формы объемом $0,5 \text{ м}^3$ по режиму, приведенному на рис. 6. Как видно на рис. 7, процесс формовки можно охарактеризовать с помощью энергочастотных образов, имеющих специфический набор признаков, который в дальнейшем может быть использован для распознавания и принятия решений. Можно полагать, что отображение процесса виброформовки во времени с помощью матрицы n -мерных энергочастотных векторов является достаточно полным в отношении содержания информации, необходимой для принятия решений, которые касаются создания самообучающихся систем с логической адаптацией в технологическом цикле литейного производства.

Как видно из анализа кривых (рис. 7), в них имеются нестабильные диссипативные зоны, позволяющие использовать их для анализа эффективности процесса виброформовки, используя соответствующие алгоритмы распознавания.

Таким образом, проведенные эксперименты с поиском оптимального эффективного диапазона рабочих частот при формовке моделей гидравлических распределителей в опоках с рабочим пространством $800 \times 800 \times 1000$ мм показала, что при пилообразном изменении частоты вибрации по режиму, показанному на рис. 6, обеспечивается ряд преимуществ: переменная частота устраняет образование застойных зон с нулевыми амплитудными узлами колебаний песка; ликвидируются эффекты кластеризации смеси в окрестности модельных полостей и по угловым зонам стенок

контейнера; максимальное уплотнение песка практически для всех форм применяемых моделей обеспечивалось в диапазоне 16-47 Гц, при этом общее время одного цикла прохождения равнялось 20 с. Увеличение количества циклов обработки (более 5) не отражалось на большей величине положительной дилатансии ДФС.

Выводы

Работа посвящена актуальной научно-технической проблеме развития общих основ энергетической теории управления процессами формообразования. Проведены исследования по выявлению корреляций измеряемых экспериментально энергочастотных характеристик с реальными параметрами дилатансии насыпных литейных форм и разработке методов энергетического прогнозирования и контроля технологического процесса. Предложенная в работе методология обеспечивает на основе анализа особенностей строения насыпных литейных форм и решаемой задачи уплотнения ДФС путем адекватного моделирования и проведения статистического эксперимента синтезировать энергетические методы прогнозирования и контроля, диагностические параметры которых имеют повышенную чувствительность к процессам дилатансии в системе «НЛФ-вибровозбудитель». В соответствии с указанной методологией разработаны оригинальные энергетические методы контроля и управления, которые могут быть использованы для

получения качественно новой информации о свойствах НЛФ:

- метод контроля энергетических характеристик вибраций основан на измерении относительных изменений зависимостей мощности колебаний от степени уплотнения ДФС;

- способ определения эффективных частот виброформовки основан на измерении в обрабатываемой форме величины энергетического рассеяния в диапазоне рабочих частот;

- способ контроля качества уплотнения ДФС по параметрам вибрационного возмущения системы «НЛФ-вибровозбудитель»;

- способ оптимального управления процессом виброформовки.

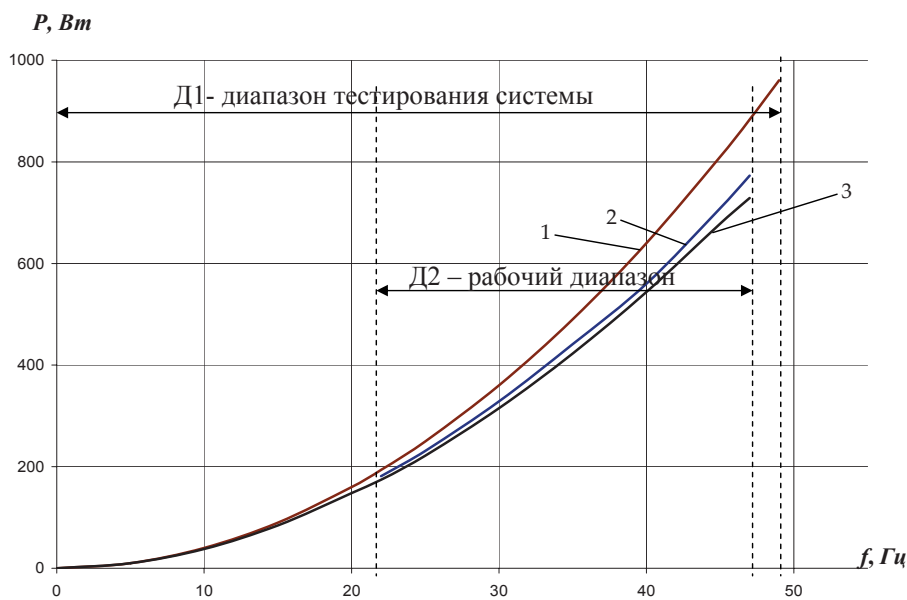
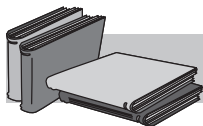


Рис. 7. Частотные кривые мощности $P(f)$ при линейном задании частоты f , (рис. 6), при n -циклическом режиме уплотнения песчаной формы объемом $0,5 \text{ м}^3$: 1 – энергетическая кривая начального 1-го цикла возбуждения вибраций, снятая в диапазоне частот тестирования Д1; 2 – промежуточная энергетическая кривая, снятая в диапазоне рабочих частот вибрации Д2; 3 – стабилизированная энергетическая характеристика, соответствующая прекращению протекания процессов уплотнения ДФС



ЛИТЕРАТУРА

1. Русаков П. В. Построение вибросистем для воспроизведения поличастотных режимов уплотнения форм с сыпучим наполнителем / Тр. конф. «50 лет в Академии наук Украины: ИЛП, ИПЛ, ФТИМС – прошлое, настоящее, будущее», Киев, 2008. – С. 183-184.
2. Русаков П. В. Способ принудительно-миграционного уплотнения форм с несвязанным наполнителем при синхроимпульсном управлении вибрацией и газовым разрежением / Тр. IV Международной научно-практической конференции «Литье-2008», Запорожье, 2008. – С. 133-134.
3. Русаков П. В., Шинский О. И. Особенности поличастотной виброформовки сыпучих песков в контейнерах с моделью, замещающей расплавом / Тр. конф. «50 лет в Академии наук Украины: ИЛП, ИПЛ, ФТИМС – прошлое, настоящее, будущее», Киев, 2008. – С. 180-182.
4. Русаков П. В. Гипсокристобалитовые формы / Ювелирный бизнес. – 2004. – № 7. – С. 56-57.
5. Пат. 80073 України. Спосіб виготовлення заморожених моделей виливків з порожниною. Опубл. 10.08.2007. Бюл. № 3. – 3 с.
6. Пат. 5451 України, МКИ В22С 9/04 – № 20040604515. Спосіб формоутворення. Опубл. 15.03.2005. Бюл. № 3. – 3 с.
7. Кравченко В. П., Русаков П. В., Шинский О. И. Газодинамическая бифуркация процессов энергообмена в системе полистироловая модель-отливка-форма / Процессы литья. – 2007. – № 3. – С. 13-17.
8. Вербицкий В. И. Анализ эффективности встряхивающих формовочных машин путем имитационного моделирования / Литейн. пр-во. – 1985. – № 11. – С. 26-28.
9. Авдокушин В. П., Самарай В. П. Реологическое моделирование уплотнения литейных форм и стержней вибрацией / Процессы литья. – 2002. – № 4. – С. 65-70.
10. Баринов В. И. Роль вибрации в технологии ЛГМ / Тр. 1-й Международной научно-практической конференции «Литье по газифицируемым моделям», Санкт-Петербург, 2007. – С. 42-45.
11. Авдокушин В. П. Выбор оптимальных режимов виброуплотнения форм при литье по газифицируемым моделям / Литейн. пр-во. – 2001. – № 4. – С. 38-40.
12. Шуляк В. С. Литье по газифицируемым моделям. – СПб.: НПО «Профессионал», 2007. – 408 с.
13. Method for optimally designing a sand compaction apparatus. WO 0074930 International Patent Classification7: B30B.

Summary

P. V. Rusakov

Vibration compaction parameters of casting quicksands mould with power control of volume strain

The method of diagnosing of the modes vibration compaction of casting quicksands is developed. This method is provided by measuring of power dispersion in the process of excitation of mechanical vibrations of casting mould. Technological frequencies and effect of compression of sand determine to on to the curves of power dispersion. Additional researches of compression of light quicksand are executed also

Анотація

П. В. Русаков

Спосіб віброформовки насипних ливарних форм із енергетичним відображенням процесу ділатансії

Розроблено спосіб вібраційної формовки насипних ливарних форм із діагностуванням режимів ущільнення дисперсної формувальної середи. Спосіб забезпечує контроль характеристик енергетичного розсіювання для знаходження діапазону технологічних частот та встановлення ефекту позитивної ділатансії. Додатково проведено дослідження ефективності вібраційного ущільнення легких формовочних мас

Ключевые слова

Насыпная литейная форма, режимы вибрационной формовки, дилатансия дисперсной формовочной среды