

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРОУПЛОТНЕНИЯ ФОРМ ДЛЯ ОТЛИВОК СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПРОТЕЗОВ

*В.П. Самарай, А.И. Мирза,
А.В. Штефан, Д.Н. Непомнящий*

НТУ «КПИ»

Институт экологии и медицины

Стоматологическая поликлиника
Дарницкого р-на г. Киева

Резюме. В статье представлена система моделирования уплотнения литейных форм виброметодом, оптимизации продолжительности, силовых параметров и режима уплотнения, по результатам работы которой можно прогнозировать дефекты отливок стоматологических протезов.

Ключевые слова: система моделирования уплотнения, виброуплотнение, пакочная смесь, оптимизация параметров уплотнения, прогнозирование дефектов, режим уплотнения.

ТРИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВІБРОУЩІЛЬНЕННЯ ФОРМ ДЛЯ ВІДЛИВОК СТОМАТОЛОГІЧНИХ ПРОТЕЗІВ

*В.П. Самарай, О.І. Мирза, А.В. Штефан,
Д.Н. Непомнящий*

Резюме

У статті представлена система моделювання ущільнення ливарних форм виброметодом, оптимізації тривалості та силових параметрів режиму ущільнення, за результатами якої можна прогнозувати дефекти стоматологічного литва.

Ключові слова: система моделювання ущільнення, віброущільнення, пакувальна суміш, оптимізація параметрів ущільнення, прогнозування дефектів, режим ущільнення.

SOLID MODELING OF VIBROCOMPACTED FORMS FOR DENTAL CASTING OF DENTAL PROSTHESIS

*V. Samaray, A. Myrza, A. Shtefan,
D. Nepomnyashiy*

Summary

The article presents modeling system of denting stomatological cast form with vibration method, that's prediction defective of stomatological cast.

Key words: modeling system, denting vibration, pack blend and it property.

ВВЕДЕНИЕ

В ортопедической стоматологии как в съемном, так и в несъемном протезировании широко используются литой металлический каркас бюгельного протеза, каркас литого мостовидного протеза, одиночной коронки с облицовкой или без нее, которые играют очень важную роль в стоматологических протезах. При их отливке могут образоваться различные дефекты (пригар, шероховатость, ужимины, засоры, обвал, размыв формы, прорыв металла, недолив, распор, подутость, складчатость, нарост, горячие трещины, газовые раковины, просечка, взрывной пригар, усадочные раковины) из-за неточности (нарушения) технологии, вследствие которых снижается качество стоматологических протезов: эстетика, функция, износостойкость [1, 2, 3, 5, 7]. Как правило, эти дефекты возникают из-за неоптимального уплотнения формы, недостаточного или чрезмерного [1, 2, 3, 4, 8, 9, 18, 19]. Эта проблема рассматривается только с технической стороны, почти нет публикаций о внедрении информационной технологии в стоматологический литейный процесс. В статье представлена система трехмерного моделирования уплотнения вибтрацией стоматологических отливок, позволяющая варьировать технологический процесс и прогнозировать дефекты отливок зубных протезов.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Решающее влияние на точность и чистоту поверхности стоматологических отливок имеет степень уплотнения литейных форм [3, 4, 5, 7, 8, 9, 18, 19]. А выбор оптимальных режимов уплотнения и физико-механических свойств формовочной смеси является важнейшей задачей технологической подготовки при производстве отливок стоматологических протезов [7, 9, 10, 14, 18, 19]. Разработанная система моделирования на ЭВМ динамики уплотнения стоматологических литейных форм базируется на представлениях реологии и позволяет решать эту задачу без изготовления пробных отливок [10, 12, 14, 16, 17, 18, 19]. Следствием моделирования процесса уплотнения является оптимизация продолжительности и силовых параметров режима уплотнения при заданных реологических свойствах смеси или оптимизация реологических свойств смеси путем изменения ее состава при заданных режимах уплотнения. Система ориентирована на произвольные геометрические параметры стоматологических отливок и учитывает разные способы и режимы формообразования, а также изменение реологических свойств формовочных смесей в процессе уплотнения литейных форм.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В разработанной авторами системе моделирования уплотнения литейных форм виброметодом принят следующий алгоритм. На первом этапе определяются конфигурация литейного дерева, размер опоки и свойства смеси. После этого синтезируется математическая модель, которая описывает реологические характеристики будущей отливки в зависимости от размера опоки, степени уплотнения формовочной смеси и режима вибрирования. Основанием для выбора вида реологической модели являются кривая динамики виброуплотнения, а также кривые деформации в координатах «напряжение–деформация», полученные при испытании образцов формовочной смеси при разных скоростях нагружения, давлении и степени уплотнения формовочной смеси [5, 10, 14, 16, 18, 19]. Для

получения и использования при имитационном моделировании коэффициента бокового давления предварительно рассчитываются коэффициенты сцепления (внутреннего и внешнего трения по всем поверхностям). По реологическим свойствам формовочных смесей определяются условия «чистого сдвига» или трехмерного сжатия при последовательном приложении различных нормальных нагрузок [3, 4, 8, 9, 17, 18, 19].

На втором этапе синтезируется геометрическая модель уплотнения формы с разбивкой его рабочего объема трехмерной сеткой элементов, составляющих столбцы и слои (рис. 4). Далее, используя ранее полученную реологическую модель и введенные геометрические данные литейной формы, осуществляется моделирование динамики уплотнения и деформации смеси во всех направлениях вдоль координатных осей с учетом бокового давления, боковых деформаций и внешнего трения в заданные интервалы времени [8, 9, 10, 12, 14, 16, 17].

Рабочий этап осуществлялся в двух режимах:

- 1) прогнозирование дефектов отливок по данным имитационного моделирования уплотнения формы;
- 2) диагностика причин возникновения дефектов отливок с позиции оптимальности уплотнения формы (обратный режим для проверки результатов прогнозирования).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Методическое и программное обеспечение имитационного моделирования обеспечивало выполнение трех обязательных фаз работы системы:

- 1) создание информационной модели;
- 2) имитационное моделирование;
- 3) анализ результатов моделирования.

При выполнении первой фазы пользователь должен сформировать и ввести в компьютер необходимый массив информации о геометрических параметрах литейного дерева и опоки, а также о физико-механических и технологических свойствах формовочной смеси, заполняющей опоку.

Ручная подготовка информационной модели литейной формы ввиду чрезвычайного многообразия конфигураций стоматологических отливок представляет собой трудоемкую задачу, требующую от исполнителя большого внимания, поскольку соответствующие информационные массивы имеют значительные объемы, а допущенные ошибки проявятся лишь в конце процесса моделирования – на его результатах. При использовании компьютерных технологий первая фаза выполняется с помощью моделирования, в который входит методическое и программное обеспечение, позволяющее строить виртуальную имитационную геометрическую модель будущей стоматологической отливки и пространства, ограниченного поверхностью отливок и стенками опоки.

Для описания геометрической модели рабочее пространство разделяется взаимноперпендикулярными плоскостями, параллельными координатным осям, на множество элементов (рис. 4), каждому из которых присваивается определенный индекс (код), соответствующий координатным осям, т. е. производится структурирование пространства в виде трехмерной сетки. Состояние формовочной смеси в каждом элементарном объеме описывается в виде начальных, а в элементах, расположенных по границам расчетной области, – дополнительно в виде граничных условий.

Для подготовки виртуальной имитационной модели целесообразно пошагово выбрать и ввести необходимые исходные данные.

А. Первый этап препроцессорной обработки:

- 1) ввод начальных условий (первая группа исходных данных определяет формирование

виртуальной геометрической модели литейной формы);

- 2) выбор конфигурации формовочной модели (пользователю предлагается ряд базовых конфигураций моделируемого пространства);
- 3) ввод геометрических параметров:
 - внутренних размеров опоки (высота, длина, ширина);
 - размеров, количества отливок размещенных на литниковом дереве;
- 4) ввод реологических параметров моделирования. Задаются параметры разбивки виртуального пространства на элементарные объемы путем ввода их допустимых размеров (высоты слоя по оси Y, ширины столбца по оси X и длины элемента по оси Z). Допустимые размеры указываются по двум параметрам – максимальному и минимальному, исходя из соблюдения условий моделирования процесса уплотнения. Задание минимального и максимального размеров элементарных объемов позволяет автоматически рассчитать целое количество слоев, столбцов и элементов. Рабочее пространство виртуальной модели автоматически разделяется на элементарные объемы путем деления горизонтальными плоскостями на слои, а взаимно перпендикулярными вертикальными плоскостями на столбцы в слоях и элементы в столбцах. Первые индексы по каждой координатной оси присваиваются слоям, столбцам и элементам, прилежащим к началу системы координат.
5. Ввод свойств материалов (формовочной смеси). Для реологического моделирования динамики уплотнения форм вводятся следующие параметры:
 - 1) насыпная плотность;
 - 2) коэффициент бокового давления;
 - 3) коэффициенты внутреннего и внешнего трения;
 - 4) вид реологической модели;
 - 5) реологические свойства (модуль упругости, предельное напряжение сдвига, эффективная вязкость и другие в соответствии с принятой реологической моделью);
 - 6) ввод характеристик нагрузок.

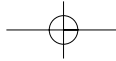
Б. Второй этап препроцессорной обработки – автоматический расчет и формирование краевых условий. На втором этапе по заданному информационному массиву программа автоматически формирует краевые (граничные и начальные геометрические и логические) условия.

Значения признаков используются для выбора между коэффициентами внутреннего и внешнего трения при моделировании уплотнения и для расчетов вертикальных и боковых перемещений формовочной смеси в опоке.

Таким образом, в результате выполнения перечисленных процедур обеспечиваются полная общность входной информации и связи между подсистемами препроцессорной подготовки и собственно имитационным моделированием уплотнения.

В методике подготовки краевых условий учтены все требования, необходимые для учета внутреннего и внешнего трения между соседними элементарными объемами смеси и оснасткой, их взаимного влияния друг на друга при перетекании смеси между элементами.

Принятая схематизация позволяет значительно минимизировать, упростить и ускорить процесс подготовки и ввода максимально компактных исходных данных для имитационного моделирования уплотнения смеси в форме и позволяет создавать трехмерные геометрические модели.



ОРТОПЕДИЧЕСКАЯ СТОМАТОЛОГИЯ

Таблица

Карта моделирования уплотнения

Microsoft Excel - P_V_0Gv2_1

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка

Введите вопрос

100%

Arial Cyr 10 Ж К У

Об

1 Результаты моделирования в виде карты распределения плотности, текучести и уплотняемости		Метод уплотнения - вибрация; Максимально возможная плотность для смеси																										
3	Есть ошибка-у	Зона формы	MAX плоти. форм. смеси			Расположение			MIN плоти. форм. смеси			Расположение			Относ.плоти к MAX в форме		Относ.плотик MAX возм.		Неравн. уплотнени		Уплотняемость		Текучесть		Инте внос паде плот по высо			
			Слой	Столбец	Элемент	Слой	Столбец	Элемент	Слой	Столбец	Элемент	Плот.в наиб. трудноупл. месте	Ср.плот. форм. смеси	Средняя	MAX	MIN	Средняя	MAX	MIN	Ро/Р_азора	Р_мин/Р_мак	Р_нач/Р_кон-средн	Унач/Укон	Динамическ.		Текучесть	Кэфф. перет. смеси	Параметр заполнения
4		поднтр. 0-1	1708,8	25 8	19	1300	36 6	9				1483	0,73	0,84	0,64	0,8	0,88	0,67		0,761	0,88							
5		0-2 над моделью	1493,5	25 4	7	1300	36 1	1				1352																
6		1-2	1517,5	25 4	19	1300	36 1	9				1354																
7		2-2	1470,7	25 4	38	1300	36 1	37				1342																
8		3-2	1486,2	25 8	38	1300	36 6	37				1346																
9		4-2	1446,4	25 15	38	1300	36 14	37				1337																
10		5-2	1497,2	25 16	19	1300	36 14	9				1349																
11		6-2	1476,1	25 15	7	1300	36 14	1				1347																
12		7-2	1517,2	25 8	7	1300	36 6	1				1354																
13		8-2	2010,1	1 5	1	1449	24 1	1				1722																
14		1-1	2043,2	1 5	36	1481	24 1	36				1804																
15		2-1	2043,3	1 5	37	1449	24 1	38				1750																
16		3-1	2043,5	1 13	37	1533	24 13	38				1830																
17		4-1	2043,6	1 14	37	1449	24 16	38				1754																
18		5-1	2043,6	1 14	36	1495	24 16	36				1810																
19		6-1	1987,7	1 14	1	1449	24 16	1				1718																
20		7-1	2029,3	1 8	4	1504	24 13					1802																
21		8-1	2043,6	1 14	37	1300	36 1	1				1615	0,7902	1	0,636	0,8	1,05	0,667	1,02	0,636	1,0	1,27	1,01					
22		Вся форма	2043,6	1 14	36	1339	24 13	8				1789	0,8754	1	0,655	0,9	1,05	0,687	1,23	0,655	0,73							
23		Возле опки																										
24																												
25																												

Действия Автофиуры

Готово NUM

Пуск SEG... mos... SOKR Гла... Про... АРМ... RIS... Мисr... 0:07

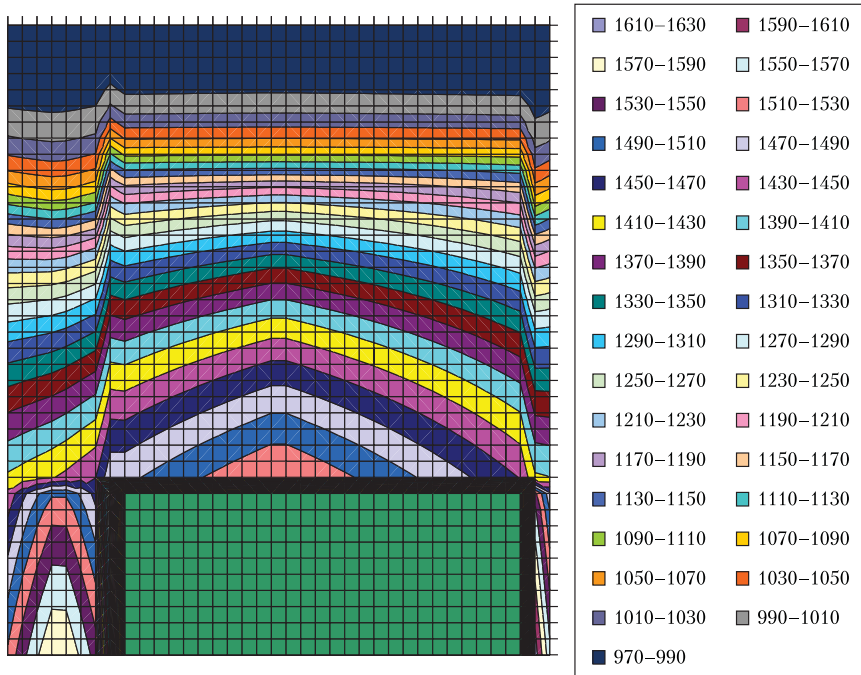
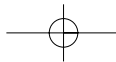


Рис. 1. Результаты имитационного моделирования уплотнения формовочной смеси: вертикальный разрез формы (плотность, г/см³).



На основе указанных методик разработаны программы, параллельно реализованные в нескольких программных средах (EXCEL MS OFFICE, CLIPPER, VBA), ориентированные на использование персональных компьютеров.

Программы могут работать автономно для формирования краевых условий, а также в связке с основной программой имитационного моделирования в EXCEL либо в любой другой программной среде (DBASE, Clipper, VBA).

Программное обеспечение позволяет моделировать различные по конфигурации отливки.

В базе данных системы хранятся алгоритмы ввода размеров базовых геометрических объектов и синтеза на их основе виртуальных имитационных геометрических моделей объекта моделирования, а также свойства формовочных смесей, которые могут дополняться в зависимости от используемого вида модели процесса уплотнения. При необходимости эти данные извлекаются и используются автоматически.

Оптимизация технологических режимов изготовления стоматологических отливок наиболее эффективно может быть решена на основе моделирования динамики процессов уплотнения. Однако большое разнообразие конфигураций отливок, применение формовочных смесей с различными структурно-механическими свойствами и разных методов формообразования значительно усложняют задачу математического описания этих процессов.

На основании анализа литературных данных по теории уплотнения форм и полученного практического опыта как наиболее универсальный, позволяющий охватить моделированием большую часть вариантов технологий литейных форм, представляется реологический подход. Формовочная смесь рассматривается как сочетание параметров элементарных моделей, характеризующих пластические, упругие и вязкие компоненты и параметры которых изменяются в процессе уплотнения в зависимости от текущего значения плотности смеси.

Объектом моделирования являются опока и формовочная смесь, нагруженная на литниковое дерево. Верхний уровень формовочной смеси совпадает с верхним срезом опоки.

Моделирование процесса уплотнения формовочной смеси выполняется для произвольного вертикального сечения формы. Избранное сечение литейной формы условно разделяется горизонтальными и вертикальными плоскостями на элементарные объемы призматической формы. Следы вертикальных плоскостей разделяют фор-

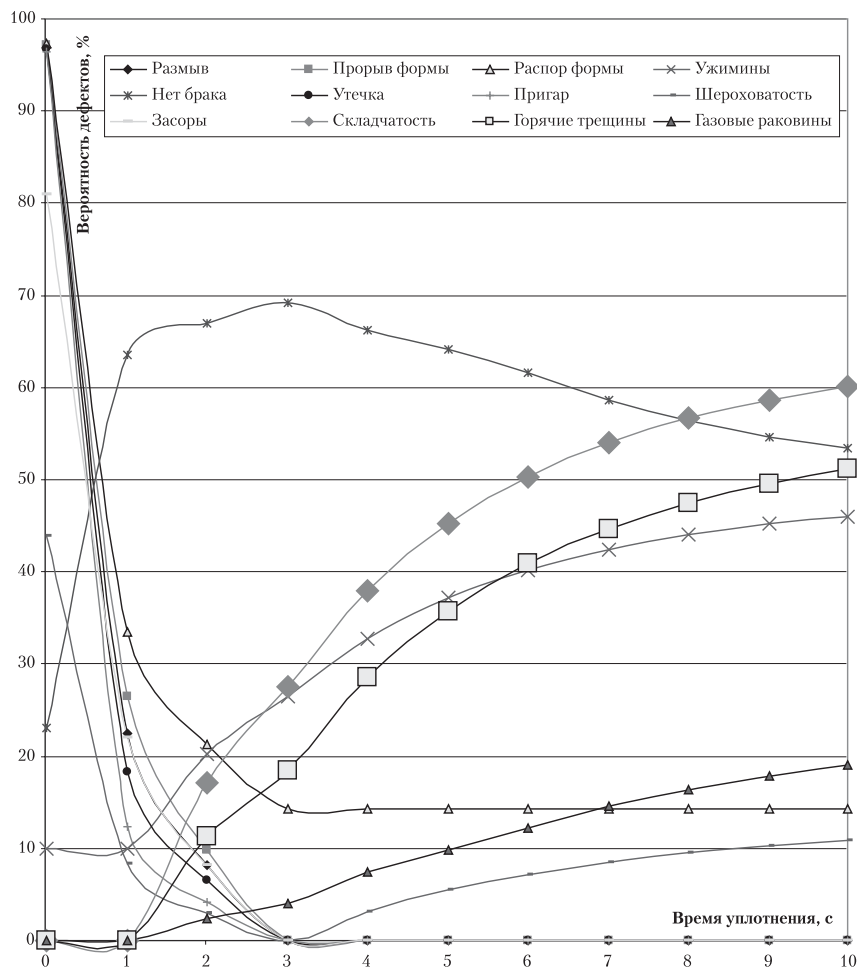


Рис. 2. Зависимость вероятности образования разных видов дефектов отливок во время уплотнения.

му на зоны соответственно профилю модели: границы зон должны проходить через плоскости вертикальных стенок отливки и опоки. Наклонные или закругленные поверхности представляются ступенчатыми профилями.

Толщина слоев, ширина столбцов и длина элементов (то есть длина, ширина и высота элементарных объемов смеси) определяются из условий выполнения требований реологического моделирования (5–50 мм), размер сторон элемента должен быть значительно больше размера частичек наполнителя и меньше среднего размера отливки.

По представленной методике рассчитываются все составляющие напряжения в элементе деформации по вертикали и горизонтали.

Для практического применения описанной методики необходимо задать вид реологической модели, ее реологические константы, а также учесть, что в процессе уплотнения каждого элементарного слоя происходит изменение вида реологических моделей. Необходимые данные для каждого вида смеси определяются экспериментально.

Для корректирования реологической модели и ее параметров для каждого слоя смеси в заданном интервале времени рассчитывается плотность смеси. Корректирование выполняется согласно зависимостям, полученным при обработке кривых деформации для разных плотностей смеси.

ОРТОПЕДИЧЕСКАЯ СТОМАТОЛОГИЯ

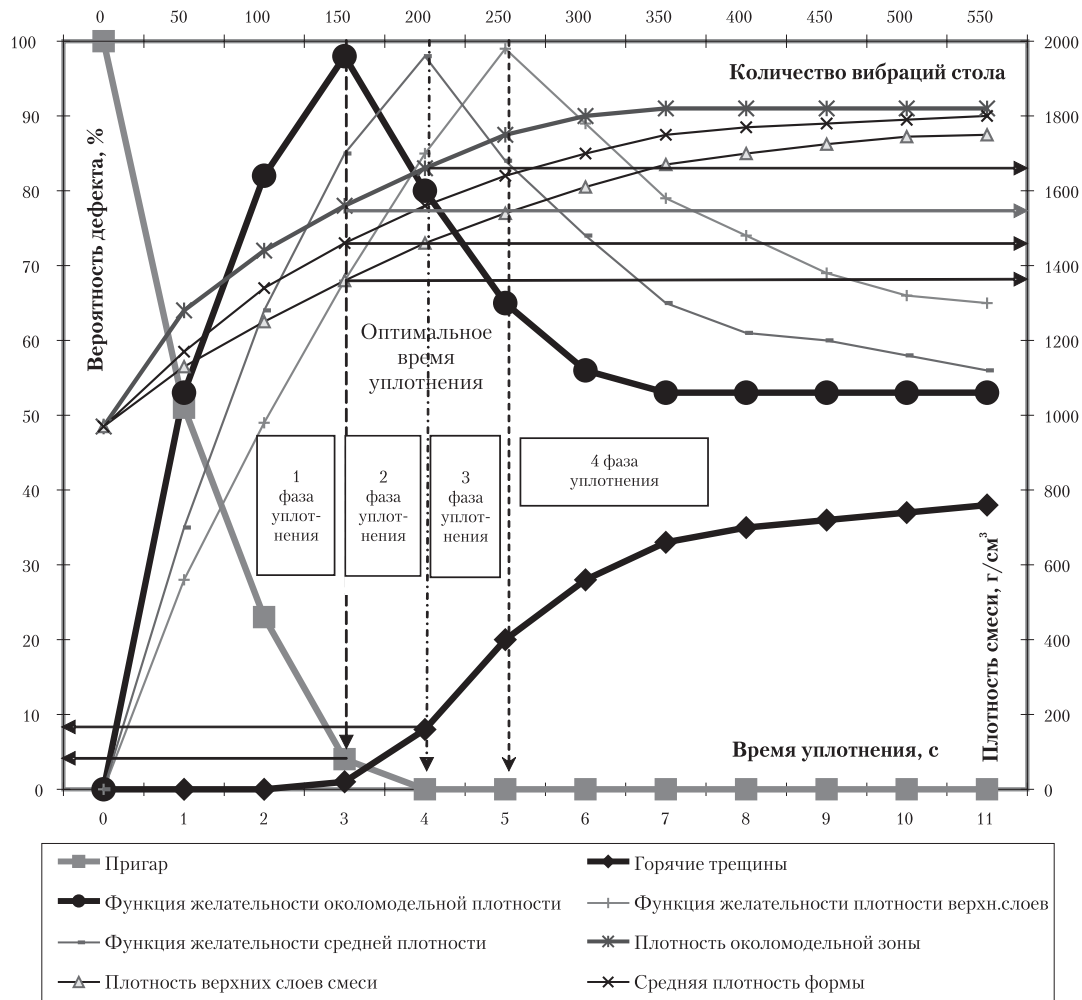


Рис. 3. Номограмма выявления оптимального времени и степени уплотнения.

Плотность смеси определяется из условий сохранения массы:

$$\delta_0 dx = \delta(t) (dx - \epsilon),$$

где $\delta(t)$ – плотность слоя смеси после уплотнения за время t , ϵ – величина деформации слоя после уплотнения, отсюда:

$$\delta(t) = \delta_0 dx / (dx - \epsilon).$$

Влияние вибрации на изменение реологических характеристик учитывается путем введения эффективных значений предельного напряжения сдвига $\sigma_{эф.}$, вязкости $\eta_{эф.}$, модуля упругости $E_{эф.}$ в зависимости от виброускорения и плотности смеси:

$$\sigma_{эф.}, \eta_{эф.}, E_{эф.} = f(a, \delta).$$

Расчет напряженного состояния и деформаций осуществляется по зонам пошагово для заданного интервала времени ΔT последовательно для каждого выделенного слоя смеси, после чего деформации N слоев складываются. Потом цикл повторяется для следующего интервала времени.

Расчет останавливается при исчерпании заданного интервала времени вибрирования $T_{вибр.}$ или достижении

наибольшего возможного уплотнения смеси по всей высоте формы, то есть по условию $\epsilon = 0$.

Методика оценки краевых эффектов при имитационном моделировании уплотнения литейных форм (анализ результатов)

При разработке технологии изготовления литейных форм необходимо оценивать влияние размеров и сложности конфигурации отливок на качество уплотнения формовочной смеси с целью обеспечить заданную степень уплотнения смеси в трудноуплотняемых и труднодоступных местах (карманы, узкие полости, граничащие с оснасткой слои смеси, поверхностные слои и слои, удаленные от источника нагружения).

Процедура имитационного моделирования уплотнения предусматривает соответственно условное разделение объема уплотняемого формовочного материала на элементарные ячейки обычно кубической или призматической формы и последующий расчет их деформации и взаимного относительного перемещения под действием внешних уплотняющих сил. Каждый элементарный объем формовочного материала при этом рассматривается как реологическое тело, деформация которого описывается соответствующим реологическим уравнением с оп-

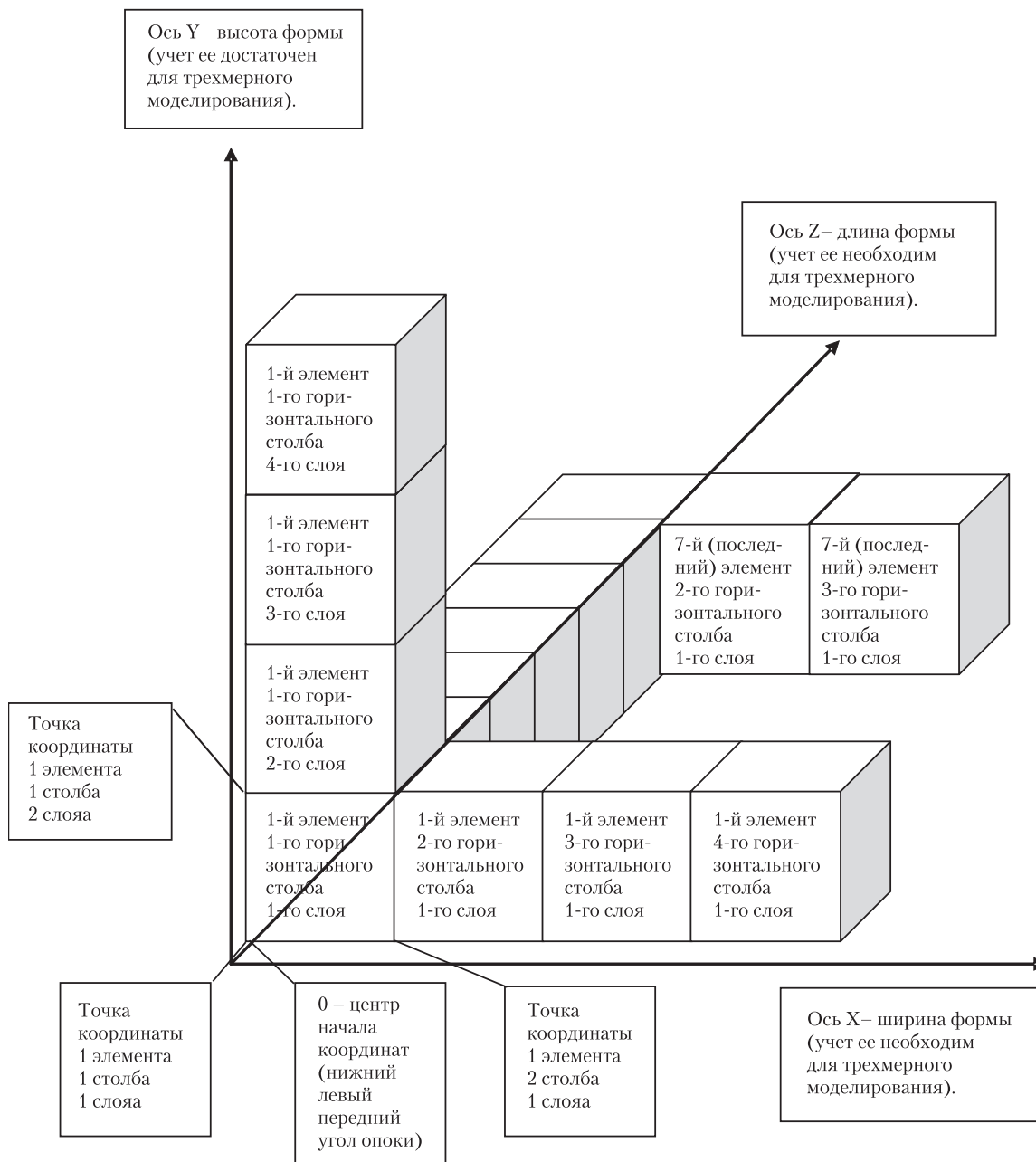


Рис. 4. Геометрическое структурирование как объекта моделирования рабочего пространства с указанием граничных слоев, столбов и элементов.

ределенными параметрами (вязкость, предельное напряжение сдвига, упругость). С целью учета влияния взаимодействия каждого элементарного объема с соседними элементами или поверхностями оснастки при этом необходимо проанализировать сдвиговые напряжения, возникающие по контактирующим поверхностям элементарных ячеек и обуславливающие краевые эффекты, проявляющиеся как градиенты напряжений и, соответственно, деформации, вид которых неизвестен, а экспериментальное определение практически невозможно или вызывает значительные трудности.

Использование принципа расчета распределения сдвиговых напряжений и сил трения позволяет адекватно описать поведение формовочной смеси с произвольными реологическими свойствами на протяжении всего процесса уплотнения во всех возможных диапазонах степени уплотнения.

Принципы моделирования и расчета зависимости распределения сдвиговых напряжений и сил трения по сечению формы обеспечивают получение приближенных данных о них между элементарными объемами формовочной смеси при уплотнении. Однако их применение

ОРТОПЕДИЧЕСКАЯ СТОМАТОЛОГИЯ

позволяет свести к минимуму влияние субъективных факторов при прогнозировании величин сдвиговых напряжений и сил трения, а также создает удобства при моделировании и оптимизации параметров уплотнения.

Использование представленного выше системного подхода при эффективной декомпозиции реальных процессов в литейной форме при моделировании и проектировании с последующим применением системы имитационных, реологических, численных, геометрических, информативных и регрессионных моделей приобретает особую значимость для поэтапного решения задач анализа литейной технологии в стоматологии.

Возможность численного или аналитико-алгоритмического (имитационного) моделирования распределения сил трения и сдвиговых напряжений в процессе уплотнения литейной формы с помощью ЭВМ, отражающих системный характер взаимосвязанных явлений, открывает принципиальный путь решения проблемы системного анализа условий образования многообразных дефектов стоматологических отливок.

ВЫВОД

Результаты имитационного моделирования можно использовать для прогнозирования образования дефектов (пригар, шероховатость, ужимины, засоры, обвал, разрыв формы, прорыв металла, недолив, распор (подушность), складчатость, нарост, горячие трещины, газовые

раковины, просечка, взрывной пригар, усадочные раковины), а также искажение и изменение размеров в связи с усадочными процессами стоматологических отливок в зависимости от уплотнения всей формы и плотности околомоделной зоны. Особенностью моделирования является непрерывное автоматическое корректирование текущих значений реологических и прочностных параметров и вида реологической модели в зависимости от эффективных значений виброускорения и плотности в каждом элементарном объеме смеси. Результаты моделирования выводятся в форме таблиц (табл.) и диаграмм (рис. 1, 2, 3) распределения плотности, графического изображения изолиний плотностей формы по объему (по вертикальным или горизонтальным сечениям). Методика реализуется в виде диалоговой программы для IBM-совместимого компьютера с использованием MS EXCEL, VBA, СУБД MS ACCESS, CLIPPER, САПР AUTOCAD (табл.) и ориентирована на литейщиков и студентов без специальной подготовки по программированию.

Результаты разработанной системы подтвердили удобство, полноту функций, качество, гибкость и наглядность процедуры подготовки, ввода и расчета необходимых данных для геометрического моделирования, доступность для усвоения и возможность использования литейщиком, студентом, не имеющим специальной компьютерной подготовки, оперативно и в непосредственном контакте с ЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдокушин В.П., Самарай В.П. Реологическое моделирование уплотнения форм и стержней вибрацией // Процессы литья. – 2002. – № 4. – С. 65–70.
2. Самарай В.П., Авдокушин В.П. Препроцессорная подготовка имитационного моделирования уплотнения литейных форм и стержней // Процессы литья. – 2003. – № 2. – С. 62–71.
3. Самарай В.П., Авдокушин В.П., Дорошенко С.П. Трехмерное моделирование уплотнения литейных форм и стержней вибрацией // Литейное производство на рубеже столетий: Тез. докл. – Киев: Редакция журнала «Процессы литья» при участии МП «Информлифт», 2003. – С. 143–144.
4. Самарай В.П., Авдокушин В.П., Дорошенко С.П., Мазнюк В.М. Методика использования постоянной сетки структурирования при имитационном моделировании уплотнения литейных форм и стержней // Процессы литья. – 2003. – № 4. – С. 47–51.
5. Самарай В.П., Авдокушин В.П., Дорошенко С.П., Мазнюк В.М. АРМ оптимизации уплотнения литейных форм и его информационно-поисковая система // Процессы литья. – 2004. – № 1. – С. 76–80.
6. Самарай В.П., Авдокушин В.П., Дорошенко С.П., Мазнюк В.М. Экспертная система для прогнозирования качества и диагностики причин дефектов отливок, связанных с уплотнением формы // Процессы литья. – 2004. – № 2. – С. 79–82.
7. Самарай В.П., Авдокушин В.П., Дорошенко С.П., Мазнюк В.М. Компьютерное прогнозирование и диагностика дефектов отливок на основе моделирования уплотнения формы // Литейное производство. – 2004. – № 9. – С. 26–30.
8. Самарай В.П., Авдокушин В.П., Дорошенко С.П. Компьютерная диагностика дефектов отливок по вине песчаной формы // Литье. Металлопротекта: Тез. докл. – Запорожье: Запорожская торгово-промышленная палата, Ассоциация литейщиков Украины при поддержке Министерства промышленной политики Украины, 2005. – С. 29–31.
9. Авдокушин В.П., Самарай В.П., Дорошенко С.П., Повар Д.И. Имитационное моделирование и анализ уплотнения песчано-глинистых форм встряхиванием // Процессы литья. – 2006. – № 2. – С. 84–88.
10. Орлов Г.М. Математическое моделирование на ЭВМ процесса импульсного уплотнения форм // Литейное производство. – 1985. – № 11. – С. 15–16.
11. Ромашкин В.Н. О возможности прогнозирования образования поверхностных дефектов отливок // Литейное производство. – 2001. – № 12. – С. 13–14.
12. Рускол В.И. Применение искусственного интеллекта в литейном производстве // Литейное производство. – 1992. – № 12. – С. 41.
13. Смирнов К.И. Прогнозирование развития литейного производства с применением ЭВМ // Литейное производство. – 1982. – № 3. – С. 16.
14. Литвиненко М.Н., Пелых С.Г. Алгоритмические методы в управлении качеством отливок // Литейное производство. – 1995. – № 7–8. – С. 4.
15. Тухватуллин И.Х., Колокольцев В.М., Долгополова Л.Б., Ланкин Ю.П. Экспертная система оценки свойств сплавов // Литейное производство. – 2000. – № 3. – С. 51–52.
16. Воронин Ю.Ф., Камаев В.А., Матохина А.В., Карпов С.А. Компьютерное определение дефекта, причин его возникновения и способа ликвидации // Литейное производство. – 2004. – № 7. – С. 17.
17. Воронин Ю.Ф., Матохина А.В. Моделирование влияния причин возникновения дефектов на качество отливок // Литейщик России. – 2004. – № 8. – С. 33–37.
18. Самарай В.П., Мирза А.И., Штефан А.В., Непомнящий Д.Н. Влияние равномерности и степени уплотнения пакочных смесей на качество отливок в стоматологии // Современная стоматология. – 2008. – № 2 (42). – С. 174–176.
19. Самарай В.П., Мирза А.И., Непомнящий Д.Н., Штефан А.В., Окский Е.И. Экспертная система прогнозирования дефектов отливок стоматологических протезов // Современная стоматология. – 2008. – № 3 (43). – С. 159–164.

НОВОСТИ • НОВОСТИ • НОВОСТИ • НОВОСТИ • НОВОСТИ • НОВОСТИ • НОВОСТИ • НОВОСТИ

А ЗНАЕТЕ ЛИ ВЫ, ЧТО...?

- Сахар был впервые добавлен в жевательную резинку стоматологом Уильямом Семплом в 1869 году.

Источник: Medexpert.org.ua

НОВОСТИ • НОВОСТИ • НОВОСТИ • НОВОСТИ • НОВОСТИ • НОВОСТИ • НОВОСТИ • НОВОСТИ