

между величинами S_k и S_{k+1} можно описать следующей матричной формулой:

$$S_{k+1} = S_k P \quad (3)$$

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & p_{32} & p_{33} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & p_{m-1,m-1} & p_{m-1,m} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & p_{m,m-1} & p_{m,m} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где P – матрица переходных вероятностей или матрица переходов, имеющая следующий вид:

В этой матрице j -й столбец состоит из вероятностей перехода из i -го состояния. В общем случае имеются только два ограничения для вероятностей перехода p_{ij} , которые непосредственно следуют из математической постановки задачи:

$$0 \leq p_{ij} \leq 1, \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^m p_{ij} = 1, \quad (6)$$

где $i = 1, 2, \dots, m$.

Для имитации загрузки ключевого компонента в смеситель на каждом шаге или на определенных шагах периодически проводили следующую операцию:

$$S_{k+1} = S_k P + SD,$$

где SD – вектор догрузки. Для того чтобы регулировать скорость перемещения ключевого компонента вдоль оси смесителя, под воздействием рабочих органов, использовали матрицу перемещений, которая имеет ту же размерность, что и матрица переходных вероятностей, но ее элементы равны либо нулю, либо единице.

Количество нулей от главной диагонали перед единицей в строке говорит о том на сколько ячеек вперед должна сдвигаться смесь конкретной ячейки за один переход. В соответствии с представленной моделью была разработана прикладная программа, описание которой дано в докладе.

Представленные в докладе результаты расчетов показывают, что при одновременном использовании двух матриц (переходных вероятностей и перемещений) возможно обеспечить достаточную независимость между диффузионной и конвективной составляющими процесса смешивания, что позволяет более адекватно учитывать влияние на интенсивность процесса смешивания физико-механических свойств смешиваемых компонентов и параметров смесителя.

Список литературы

1. Першин В.Ф. Модель процесса смешивания сыпучего материала в поперечном сечении вращающегося барабана / В.Ф. Першин // Порошковая металлургия. – 1986. – № 10. – С. 1-5.
2. Баранцева Е.А. Процессы смешивания сыпучих материалов: моделирование, оптимизация, расчет / Е.А. Баранцева, В.Е. Мизонов, Ю.В. Хохлова. – ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина», Иваново, 2008. – 116 с.
3. Селиванов Ю.Т. Исследование влияния осевого движения на процесс непрерывного смешивания сыпучего материала во вращающемся барабане / Ю.Т.Селиванов, В.Ф.Першин // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2003. – Т. 46, вып. 7. – С. 42-45.

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЫСШИХ ГАРМОНИК
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ МАГИСТРАЛЬНЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ**

Калугин А.И., Жигалов В.А., Пряхин В.В.

НОУ ВПО «Камский институт гуманитарных
и инженерных технологий», Ижевск,
e-mail: vasily.pryahin@mail.ru

Оценка остаточного ресурса работы и состояния трубопроводного транспорта нефти и газа является актуальной задачей, так как его аварийный выход из строя порождает не только экономические убытки, но и наносит большой экологический ущерб. Поэтому для диагностики необходимы высокопроизводительные, многофункциональные и точные методы и средства контроля.

Известно, что параметры петли магнитного гистерезиса – коэрцитивная сила H_c , остаточная намагниченность J_r , максимальная намагниченность J_m , дифференциальная магнитная проницаемость μ_d – в общем случае структурно-чувствительны как к химическому составу, структуре ферромагнитного материала, так и к внешним воздействиям. Разложение общего сигнала преобразователя на гармонические составляющие значительно повышает чувствительность электромагнитных методов контроля к изменениям различных физико-механических свойств ферромагнетика. При этом известные трудности представляет выбор такого перемагничивающего поля, при котором наблюдается максимум чувствительности, а при одновременном воздействии на испытуемый объект переменного H^+ и постоянного H_0 магнитных полей необходимо выбрать оптимальное значение постоянного поля.

Решение задачи выбора оптимальных с точки зрения чувствительности значений полей возможно только при наличии аналитической связи гармонических составляющих с параметрами петли гистерезиса.

В работе [1] решена задача расчета параметров гармоник при одновременном действии полей H_0 и $H^+ = H_m \sin \omega t$, направленных параллельно граничным поверхностям изделия. В основу решения этой задачи положена формула статической петли гистерезиса

$$B = 2/\pi(B_{max} \arctg \alpha (H_{oc} + H_m \sin \omega t)),$$

где $H_{oc} = H_0 \pm H_c$, $\alpha = \frac{1}{H_c} \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} \frac{B_r}{B_{max}} \right)$, B_r , B_{max} – оста-

точная магнитная индукция и индукция насыщения материала. Знак минус берется для восходящей ветви петли магнитного гистерезиса, а знак плюс – для нисходящей. Формула связи электродвижущей силы проходного преобразователя с параметрами петли гистерезиса имеет вид.

$$E = \frac{2}{\pi} w_2 s \omega - \frac{B_{max} H_m \alpha \cos \omega t}{1 + \alpha^2 (H_{oc} H_m \sin \omega t)^2}, \quad (1)$$

где w_2 – число витков измерительной обмотки, ω – циклическая частота перемагничивающего поля.

Методом Фурье получены аналитические выражения гармонических составляющих:

$$\alpha_n = -E_0 \left[\rho^n \cos n(\pi/2 - \varphi) - \rho_1^n \cos n(\pi/2 + \varphi_1) \right]; \quad (2)$$

$$b_n = \mp E_0 \left[\rho^n \sin n(\pi/2 - \varphi) \mp \rho_1^n \sin n(\pi/2 + \varphi_1) \right]; \quad (3)$$

$$E_n = \sqrt{\alpha_n^2 + b_n^2}, \quad \psi_n = \arctg(\alpha_n / b_n), \quad (4)$$

где n – номер гармоники, α_n, b_n – коэффициенты Фурье, E_n, ψ_n – амплитуда и фаза n -й гармонической составляющей. Знак минус в формуле (3) берется при $H_0 \geq H_c$. Однако формулу (1) можно разложить на гармонические составляющие с помощью дискретного преобразования Фурье (ДПФ) [2].

$$E_n = \sqrt{\hat{a}_n^2 + \hat{b}_n^2}, \quad \psi_n = \arctg\left(\hat{a}_n / \hat{b}_n\right), \quad (5)$$

$$\hat{a}_n = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N x_i \cos 2\pi n_i / N, \quad \hat{b}_n = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N x_i \sin 2\pi n_i / N, \quad (6)$$

где N – число дискретизаций, x_i – величина i -й дискретизации, i – номер дискретизации.

Из набора гармоник, полученных по результатам измерений на трубах, помещенных в накладной или проходной преобразователь, специальными методами выбирают наиболее информативные гармоники (их фазы или амплитуды). При этом трубы на этапе настройки выбирают как с дефектами так и без дефектов.

Проведенные исследования на трубах диаметром 119 мм показали высокую чувствительность метода к изменениям геометрии тубы и присутствию дефектов нарушения сплошности.

Список литературы

1. Зацепин Н.Н., Шапоров Б.Д. Нелинейные процессы в ферромагнетике, перемагничиваемом продольным полем. – Минск, 1974.
2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. – М., 1974.

ОБЪЕМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Ильющенко Н.В., Уланович А.В., Селезнев В.А.

Брянский государственный университет им. академика И.Г. Петровского, Брянск, e-mail: nik_vladimirovich@mail.ru

Традиционная технология получения отливок выполняется по схеме – разработка конструкторской документации, изготовление мастер-модели, изготовление песчаной формы и её заливка расплавом металла. Наиболее трудоемкой частью этого процесса является изготовление мастер-моделей в соответствии с требованиями к будущей отливке. Изготавливают мастер-модели по-разному: на одних предприятиях детали фрезеруют из пластмасс, мягких металлов или дерева на станках с ЧПУ, на других – изготавливаются вручную мастерами-модельщиками. Но все эти методы требуют задействования производственных мощностей, использования высококвалифицированного ручного труда и, как правило, больших временных затрат. В современных условиях имеется возможность быстро, качественно и недорого изготавливать мастер-модели новых изделий для последующего получения отливок – это технологии быстрого прототипирования [2].

Быстрое прототипирование (Rapid Prototyping, RP) – это послойное построение физической модели (прототипа) в соответствии с геометрией CAD-модели. Основное отличие этой технологии от

традиционных методов изготовления заключается в том, что изделие создается не отделением материала от заготовки, а послойным наращиванием материала, составляющего модель, включая входящие в нее внутренние и даже подвижные части. Весь процесс выполняется на специально разработанных для этой цели устройствах – 3D-принтерах.

Модели, выполненные методом RP, могут изготавливаться из различных материалов (в зависимости от применяемой в оборудовании технологии). В 3D принтерах применяются различные моделирующие материалы: пластики ABS, ABS Plus, ABS-M30 и ABS-M30i, поликарбонат PC, пластик из смеси PC и ABS, полифенилсульфон PPSF (PPSU). Преимущество всех этих материалов в том, что они используются и в производстве конечных продуктов, а значит, отличаются точностью изготовления, прочностью и термостабильностью, не деформируются, не дают усадку и не впитывают влагу. Процессы построения в значительной степени автоматизированы и позволяют получать качественные и сравнительно недорогие модели, затрачивая на их изготовление часы, а не дни и недели, как это было при использовании традиционных методов.

Наиболее экономичным методом получения мастер-моделей для литейного производства является технология Fused Deposition Modeling (FDM) – укладка расплавленного материала. Принцип создания моделей-прототипов по технологии FDM заключается в послойном наращивании расплавленной до полужидкого состояния полимерной нити в соответствии с геометрией математической модели детали, разработанной в системе CAD. Математическая модель передается в формате STL в специальное программное обеспечение Insight, которое автоматически оптимально ориентирует ее относительно рабочей зоны установки и разбивает на горизонтальные слои. Затем в Insight (тоже автоматически) определяется необходимость применения поддерживающих элементов для нависающих частей модели. Сгенерированные данные передаются на установку, и начинается процесс послойного создания модели [1].

Для создания компьютерных 3D-прототипов будущих мастер-моделей можно использовать различные компьютерные графические редакторы позволяющие выполнять объемное 3D-моделирование и сохранять изображение в формате STL. Оптимальным вариантом будет применение интегрированных конструкторско-технологических систем, применяемых на большинстве предприятий и позволяющих помимо моделирования решать и технологические задачи вплоть до программы для реализации на станке с ЧПУ [3]. В системах компьютерной инженерной графики есть возможность производить проектирование по принципу «компьютерного инжиниринга» когда первоначальным источником информации для дальнейшей разработки является либо уже созданная или создаваемая разработчиком объемная модель изделия (см. рис. 1).

Технология получения мастер-моделей и отливок приводится на рис. 2. Весь процесс включает в себя разработку 3D модели, с получением математических параметров модели в абсолютной системе координат, что исключает погрешность размерных цепей ещё на этапе проектирования. За тем следует разработка технической документации по методике «компьютерного инжиниринга» в соответствии с нормами ЕСКД и ЕСТД включающая в себя 2D чертежи. Далее применяется технология прототипирования с использованием 3D принтера, на котором и создаются мастер-модели из ABS-пластика.