

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ РЕЦЕПТУРЫ И УСЛОВИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ АБРАЗИВНОЙ ФОРМОВОЧНОЙ МАССЫ НА ЕЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Н. А. Маринов, А. М. Романенко

*В статье освещаются вопросы моделирования процесса приготовления абразивной массы на основе математического аппарата цепей Маркова. Приведена ячеичная модель смесительной машины. Рассмотрены результаты моделирования смещивания компонентов абразивной массы в зависимости от ее различных свойств и технологических параметров процесса.*

*Ключевые слова:* шлифование, смещивание, моделирование.

Шлифовальный круг представляет собой сложную композицию из абразивных зерен, связки, наполнителей различных по своему химическому составу, физико-механическим и морфологическим свойствам. Подбор оптимальных композиций по составу позволяет улучшить не только технологические свойства абразивного инструмента, но также повысить его эксплуатационные характеристики - стабильность распределения твердости в объеме, неуравновешенность масс и разрывную скорость.

Технологический процесс изготовления шлифовальных кругов включает следующие основные операции: подготовка исходных материалов, получение абразивной массы смещением исходных материалов, формование, термическая обработка, механическая обработка, контроль, маркировка, упаковка.

Из анализа технологического процесса следует, что все факторы повышающие однородность формовочной массы, равномерность ее распределения в объеме круга улучшают эксплуатационные свойства шлифовальных кругов.

Основными факторами, влияющими на однородность состава и равномерность распределения формовочной массы, являются:

- свойства компонентов рецептуры круга
- способ и порядок засыпки компонентов
- способ и время смещивания формовочной массы.

Выбор компонентов рецептуры для изготовления абразивного круга и их соотношение зависит от свойств материала обрабатываемой детали, требуемой производительности процесса и

экономической целесообразности.

Строение круга является фактором, существенно влияющим как на процесс шлифования, так и на надежность деталей, после обработки, в процессе их эксплуатации.

В зависимости от характеристики круга, его прочностных и технологических параметров, изменяется как рецептура абразивной массы, так и технология приготовления [1].

Входящие в состав абразивного круга компоненты в исходном состоянии представляют собой сыпучие смеси, свойства которых (плотность, твердость, внутреннее трение) существенно различаются, поэтому в процессе смещивания они будут по-разному распределяться в абразивной смеси, что может привести к такому негативному последствию, как образование конгломератов однородных частиц.

Исходя из вышеизложенного, была поставлена задача: создать модель, адекватно описывающую процесс приготовления абразивной массы, оценить влияние рецептуры и технологии смещивания на технологические характеристики абразивной массы.

Наиболее подходящими для таких целей являются методы математического моделирования физических процессов, которые, хоть и с некоторой долей условности и точности, позволяют оценить моделируемый процесс с различных его сторон и при различных его технологических параметрах, изменяя не саму модель, а ее параметры.

Среди них, на наш взгляд, наиболее удобными с точки зрения составлений уравнений баланса являются ячеичные

модели и модели, основанные на теории цепей Маркова, причем, если речь идет о потоках массы, то модели называются ячеичными, а если о потоках вероятности, то цепными. Их основным преимуществом перед другими способами математического моделирования процесса смешивания является свойство марковских цепей - случайность, т.е. учет вероятностного характера протекания процесса.

Процесс составления моделей на основе цепей Маркова универсален для всех типов смесителей и представляет собой составление матрицы начального состояния (вероятности нахождения какого-либо компонента абразивной массы в определенной ячейке цепи) и матрицы переходов из одного состояния в другое, содержащей вероятности перехода из одной ячейки в другую [2].

Для простейшей идеальной модели циркуляционного смесителя, изображенной на рисунке 1, матрицы начального состояния ( $f(n)$ ) и переходов ( $P(p_{i,j})$ ) соответственно имеют следующий вид:

$$f(n) = (1, 1, 1, 0, 0, \dots, 0, 1),$$

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ 0 & P_{22} & P_{23} & \cdots & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & P_{33} & \cdots & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & P_{((m-2)(m-1))} & P_{((m-1)m)} \\ P_{m1} & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & P_{m1} \end{pmatrix}$$

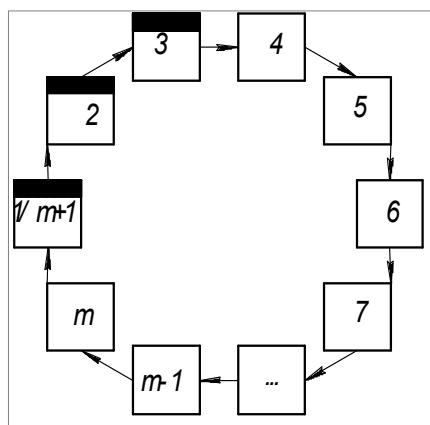


Рисунок 1 — Схема простейшего циркуляционного смесителя. Ячейки с не закрашенными прямоугольниками содержат только один компонент смеси.

На практике для приготовления абразивных масс наибольшее

распространение получили барабанные смесители с мешалкой, расположенной эксцентрично врачающемуся корпусу. Модель такого смесителя представлена на рисунке 2.

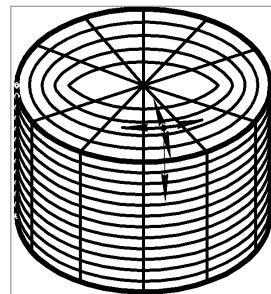


Рисунок 2 — Ячеичная модель смешиаемой массы в барабанном смесителе

Для составления матриц переходов определяем возможные направления переходов под воздействием тех или иных сил. С этой целью выделим три типа сил, действующих на смешируемую массу:

1. Сила тяжести
  2. Центробежная сила
  3. Силы трения

Первая действует вне зависимости от того, покоятся ли масса или находится в движении. Вероятность перехода под воздействием этих сил увеличивается при образовании псевдосжиженного слоя, в котором будут осаждаться более плотные и всплывать легкие частицы.

Вторая возникает при вращении перемешивающего органа или корпуса смесителя. Плотные частицы скапливаются на периферии барабана, легкие — ближе к центру.

Силы трения препятствуют воздействию двух предыдущих, т.е. снижают возможность перехода частиц из одной ячейки в другую.

Если рассматривать идеальные компоненты (одинаковые физические свойства частиц и отсутствие взаимодействия между ними), то вероятности перехода в любом направлении, а также оставаться в ячейке, одинаковы и по приведённой на рисунке выше схеме будут одинаковы и равны  $1/7$  (это справедливо для случая, когда объем ячейки выбран равным максимально возможным объемом компонентов, проходящем через поперечное сечение ячейки, за определенное время) [3]. Это исходная вероятность. Обозначенные выше силы увеличивают или уменьшают вероятности переходов в том или ином

# АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ РЕЦЕПТУРЫ И УСЛОВИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ АБРАЗИВНОЙ ФОРМОВОЧНОЙ МАССЫ НА ЕЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

направлении. Например, чем больше отличается удельный вес компонента от среднего, тем больше вероятность его перехода вниз, и тем менее - вверх:

$$p_{\text{вв}} = p_{\text{усх}} + \left( \frac{\rho_1}{\rho_{\text{ср}}} - 1 \right); p_{\text{вн}} = p_{\text{усх}} - \left( \frac{\rho_1}{\rho_{\text{ср}}} - 1 \right),$$

где  $\rho_1$  — удельный вес рассматриваемого компонента;

$\rho_{\text{ср}}$  — средний удельный вес абразивной массы до формовки;

$p_{\text{вв}}$  — вероятность перехода в ячейку, расположенную выше;

$p_{\text{вн}}$  — вероятность перехода в ячейку, расположенную ниже;

$p_{\text{усх}}$  — исходная вероятность.

Также действует и центробежная сила, вызывая перемещения частиц в радиальном направлении.

Перемещение оси мешалки относительно корпуса смесителя способствует увеличению вероятности перехода частиц в кольцевом направлении.

Силы трения, являясь результатом взаимодействия частиц между собой и элементами смесителя, снижают вероятность перехода из ячейки в ячейку, а, точнее, увеличивают вероятность остаться в той же ячейке.

$$p_{\text{ост}} = p_{\text{усх}} + \eta(1 - p_{\text{усх}}).$$

где  $p_{\text{ост}}$  — вероятность остаться в той же ячейке.

Результаты моделирования с учетом параметров: коэффициента внутреннего трения, соотношения удельного веса компонентов абразивной массы, соотношения частоты вращения мешалки и корпуса представлены в виде графиков на рисунке 3.

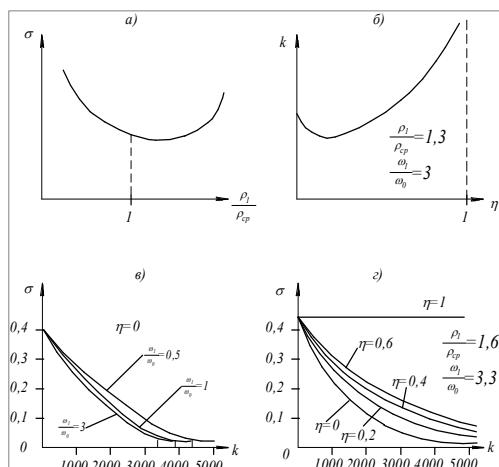


Рисунок 3 — Моделирование процесса смещивания в барабанном смесителе

На рисунке 3 обозначены:  $\omega_1$ ,  $\omega_0$  — частоты вращения мешалки и корпуса барабана;  $\sigma$  — среднеквадратичное отклонение концентрации абразива в массе;  $\eta$  — коэффициент внутреннего трения,  $k$  — номер перехода состояния,  $\square_1$  и  $\square_{\text{ср}}$  — удельный вес абразива и средний удельный вес массы; а) зависимость среднеквадратичного отклонения концентрации абразивных зерен при достижении стабильности их концентрации в массе от разности их удельного веса и средней плотности смеси; б) зависимость необходимого числа переходов между состояниями смешиваемой массы для достижения стабильности концентрации абразивных зерен в зависимости от коэффициента внутреннего трения; в), г) изменение среднеквадратичного отклонения концентрации абразивных зерен в ячейках смешиваемой массы в ходе процесса смещивания при различных ее свойствах и скорости перемещения рабочих органов.

Анализируя результаты моделирования, можно сделать следующие выводы:

1. Снижение требуемого времени смещивания возможно только при оптимизации коэффициента внутреннего трения и одновременно удельных плотностей компонентов.

2. Повышение коэффициента внутреннего трения увеличивает время смещивания для достижения требуемой равномерности.

3. Снижая коэффициент внутреннего трения и разность удельных плотностей компонентов, можно увеличивать скорости вращения рабочих органов смесителя для уменьшения времени смещивания.

4. Загрузка более плотного компонента на последних этапах смещивания снижает требуемое время пребывания в смесителе.

5. Повышение разности удельной плотностей компонентов уменьшает равномерность смеси при достижении ею стабильного состояния.

Таким образом, результаты моделирования показывают, что повышение коэффициента внутреннего трения абразивной массы увеличивает время смещивания для достижения требуемой равномерности, а повышение разности удельной плотностей компонентов снижает однородность и равномерность формовочной смеси при достижении конечного состояния.

Следовательно, для снижения времени и повышения равномерности смещивания

необходимы: оптимизация коэффициента внутреннего трения формовочной абразивной смеси, уменьшение разности удельных плотностей компонентов круга, выбор оптимального порядка смещивания компонентов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. И. Мироседи. Повышение эффективности процесса абразивной обработки путем управления структурными параметрами абразивного инструмента /А. И. Мироседи, В. М. Шумячев // Технология машиностроения. - 2007. - №1. -С. 28-29.
2. Баранцева Е.А., Мизонов В.Е., Хохлова Ю.В.. Процессы смещивания сыпучих материалов: моделирование, оптимизация, расчет / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», Иваново, 2008. – 116 с.
3. Макаров, Ю. И. Аппараты для смещения

сыпучих материалов / Ю.И. Макаров. – М.: Машиностроение, 1973. –216 с.

**Маринов Н.А.**, ведущий специалист по инновационным проектам отдела инновационных технологий,

ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт», г. Кемерово,  
e-mail: nik-cola@yandex.ru,

**Романенко А.М.**, к.т.н., доцент кафедры металлорежущих станков и инструмента,  
e-mail: romanenkoam@yandex.ru,  
ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово.