

## **СПОСОБ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ НАЛИПАНИЯ МАТЕРИАЛА НА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЯХ БАРАБАННЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ И ОКОМКОВАТЕЛЕЙ**

У статті розглядається конструкція футеровки, що запобігає налипанню і зменшує динамічне навантаження; обґрунтовані геометричні параметри футеровки з урахуванням навантаження і пружності матеріалу.

## **WAY OF THE FORESTALLING OF STICKING OF A MATERIAL ON WORKING SURFACES OF DRUM MIXERS AND NODULIZERS**

In paper the construction of a lining preventing sticking and reducing a dynamic loading is observed; critical bucklings of a lining are proved in view of a loading and pressure of a material.

Интенсивное налипание материала на рабочей поверхности (масса налипшего материала составляет до 30 % массы самого барабана) приводит к постоянному обрушению налипшего материала, дополнительному расходу энергии, дополнительной динамической и статической нагруженности узлов и деталей и, как следствие, к снижению качества конечного продукта.

Решение вопросов, связанных с предупреждением налипания материала на рабочих поверхностях, возможно за счёт создания на границе контакта материала с рабочей поверхностью зон с различными деформационными свойствами, что достигается путём применения резиновых футеровок, установленных с зазором относительно внутренней поверхности барабана.

Для осуществления этого способа было предложено техническое решение, включающее резиновые и футеровочные полосы, закреплённые на брусках с дросселирующими отверстиями, установленные под углом к продольной оси барабана [1]. Такая конструкция футеровки предотвращает налипание и уменьшает динамические нагрузки при обрушении шихтовых материалов. Футеровка составлена из набора резиновых пластин, установленных с постоянным шагом на продольных металлических брусках, смонтированных на внутренней поверхности барабана под некоторым углом  $\alpha$  к его продольной оси, причём футеровочные полосы закреплены на брусках с некоторым предварительным натяжением, образуя между внутренней поверхностью барабана и футеровочными полосами сегментные полости, сообщающиеся между собой посредством дросселирующих отверстий, выполненных в брусках.

ях и расположенных со стороны корпуса барабана. Футеровка работает следующим образом. При вращении барабана, загруженного шихтовым материалом, происходит прогиб футеровочной пластины, уменьшается объём полости, в результате чего создаётся некоторое избыточное давление воздуха, который через дросселирующие отверстия переходит в соседнюю ненагруженную полость, как бы «поддувая» её, на которую, в свою очередь, начинает осыпаться шихта. При этом происходит двойное демпфирование удара падающей шихты: воздушной полостью и предварительно напряжённым состоянием футеровочной пластины. По мере подъёма футеровочной секции происходит осыпание и перемешивание шихтового материала, при этом за счет сил упругости резиновой полосы и поступающего из соседней полости воздуха происходит восстановление полосы в исходное состояние с одновременным отслоением налипшего материала.

Высокая степень очистки обеспечивается различием физико-механических свойств налипшего материала и резиновых пластин, имеющих значительные деформации при переходе из нагруженного состояния в исходное положение. Расположение футеровочных полос под некоторым углом к образующей барабана исключает образование смешанного режима работы барабана и способствует повышению качества смешивания за счет образования дополнительного участка перемешивания, движущегося от загрузочной части к разгрузочной при повороте полосы.

С целью определения рационального конструктивного исполнения защитной футеровки был проведён ряд экспериментальных работ, в задачи которых входило определение: зависимости качества очистки от величины деформации, максимальных значений деформации, достаточных для удаления налипшего материала, зависимости качества очистки от материала футеровки и его механических свойств.

Для решения этих задач изготовлены две модели барабана в масштабе 1:15. Одна модель была изготовлена из металла, а вторая, снабжённая футеровкой, изготовлена из прозрачного материала, что позволило вести наблюдение за поведением футеровки. Резина крепилась к поверхности барабана стальными продольными полосами. Посредством ременной передачи барабан вращался со скоростью 6-12 об/мин. В качестве загружаемого материала применялась смесь следующего состава (в весовых частях): песок – 48; глина – 13 (наполнители); цемент – 13; вода – 20-30; известь – 3 (связующие).

Величины удлинений футеровки определялись при помощи специального измерителя, а точное содержание воды в смеси – путём высушивания смеси с замирами её массы.

Экспериментальные исследования футерованного барабана показали высокое проявление эффекта предотвращения налипания. Чётко выраженные зоны налипания отсутствовали. На поверхности футеровки наблюдались равномерные следы смеси толщиной до 0,05 мм. Налипание происходило на продольных металлических пластинах крепления резиновой футеровки. Исследования футеровок из резины на основе различных каучуков позволило сделать вывод об отсутствии существенных отличий в количественном проявлении эффекта устранения налипания. Некоторое преимущество замечено при использовании слабонаполненных резин на основе галогеносодержащих каучуков. Различие же в проявлении указанного эффекта на моделях с футеровкой из саженнаполненных резин толщиной 0,6-1,5 мм марок 2959, 51-1562, 1847, 1224 не отмечено.

Для определения влияния футеровки на качество агломерата в лабораторных условиях на моделях была проведена серия сравнительных испытаний. При испытаниях высота слоя шихты составляла 270 мм, влажность шихты колебалась от 7 до 8 %, средний диаметр гранул шихты в базовой модели составил 4,1 мм, в футерованной 3,3 мм, максимальная температура газов соответственно составила 450 °С и 500 °С. Основные результаты представлены в таблице.

Анализ данных таблицы показал, что применение футерованного барабана по сравнению с базовым позволяет: значительно улучшить ситовый состав шихты, уменьшить до 10 % время спекания, увеличить на 13-15 % удельную производительность спекания, повысить выход агломерата.

Необходимо обосновать геометрические размеры футеровки с учётом нагрузки и упругости материала. Под нагрузкой резиновая футеровка должна контактировать со всей внутренней поверхностью барабана. Принимаем условие: относительная деформация резины должна быть не менее 4 %. Исходя из этих условий, предложен следующий расчет и обоснование параметров футеровки [2].

В первом приближении резиновую футеровку барабана принимаем как гибкую нить под действием равномерно распределённой нагрузки, при этом учитываем упругость материала нити (рисунок).

Таблица 1 – Влияние резиновой футеровки внутренней поверхности барабана на качество агломерата

Условия опыта	Номер опыта	Ситовой состав шихты, %					Показатели процесса спекания			Количественные показатели агломерата		Максимальная температура газов, °С
		+10	5-10	3-5	1-3	0-1	время спекания, мин	вертикальная скорость, т/м <sup>2</sup> ч	удельная производительность, т/м <sup>2</sup> ч	выход годного, %	барабанная проба, %	
Базовая технология	1	4,9	30,1	26,5	19,9	18,6	12,0	22,5	1,62	81,2	58,9	400
	2	4,8	25,7	28,5	21,9	19,1	13,0	20,7	1,56	80,2	53,7	470
	3	1,7	24,7	28,3	23,8	21,5	13,0	20,8	1,50	81,3	53,8	480
	4	3,8	26,8	27,8	21,9	19,7	12,7	21,3	1,56	82,8	55,5	450
С футеровкой стенок окомкователя	1	3,6	19,8	23,8	42,1	10,7	10,5	25,7	1,85	82,2	56,6	550
	2	2,7	19,0	22,8	42,8	12,7	12,5	22,4	1,70	86,0	54,3	470
	3	1,9	19,5	23,1	42,1	13,4	11,5	22,5	1,80	85,5	53,2	450
	4	1,1	16,1	20,7	46,2	15,9	12,5	21,6	1,73	84,9	53,8	520
	5	1,3	11,3	8,1	62,5	16,8	13,0	20,8	1,75	88,7	56,5	510
	6	1,6	21,2	27,6	39,2	10,4	10,5	25,7	1,92	82,4	54,6	480
	7	1,7	20,7	23,9	42,2	11,5	12,5	21,6	1,73	85,5	54,9	510
	8	2,6	14,3	19,2	51,5	12,4	12,5	21,6	1,69	80,4	59,6	510
	9	2,1	17,7	21,1	46,2	12,9	11,9	22,7	1,77	84,3	55,4	500

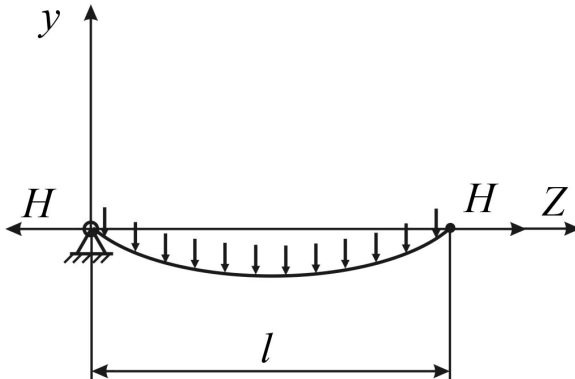


Рисунок – Гибкая нить под действием равномерно распределённой нагрузки.

Усилие в нити принимаем равным распуру

$$N = H \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dz}\right)^2} \approx H.$$

Дифференциальное уравнение прогиба нити

$$\frac{d^2 y}{dz^2} = \frac{q}{H}. \tag{1}$$

Интегрируя уравнение (1), находим

$$y(z) = -\frac{q}{2H}(lz - z^2) + \frac{cz}{l},$$

$$y_{\max} = y\left(\frac{l}{2}\right) = -\frac{ql^2}{8H}.$$

Длина нити при  $c = 0$  определяется равенством

$$L = \int_0^l \sqrt{1 + \left(\frac{ql}{2H}\right)^2 \left(1 - 2\frac{z}{l}\right)^2} dz = \frac{l}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{ql}{2H}\right)^2} + \frac{H}{q} \operatorname{arsh} \frac{ql}{2H}. \quad (2)$$

Для пологих нитей (прогибы нитей малы по сравнению с  $l$ ) равенство (2) можно представить в более простой форме

$$L = l + \frac{1}{24} \cdot \frac{q^2 l^3}{H^2}, \quad (3)$$

Отсюда:

$$H = \frac{ql}{2\sqrt{6}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{L}{l} - 1}}, \quad (4)$$

$$y_{\max} = -\frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \cdot l \sqrt{\frac{L}{l} - 1}. \quad (5)$$

В распределённую нагрузку  $q$  включим нагрузку от силы тяжести. Если первоначальная длина нити  $L_0$ , то длина нити под нагрузкой

$$L = L_0(1 + \varepsilon),$$

где  $\varepsilon$  – относительная деформация, которую принимаем равной 0,04.

Используя уравнение (3), будем иметь:

$$H = \frac{ql}{2\sqrt{6}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{L_0}{l} \left(1 + \frac{H}{E \cdot F}\right) - 1}}, \quad (8)$$

$$y_{\max} = -\frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} l \sqrt{\frac{L_0}{l} \left(1 + \frac{H}{E \cdot F}\right) - 1}, \quad (9)$$

где  $L$  – длина нити под нагрузкой (длина поперечного контура пролёта барабана),  $L = 1,68$  м;

$l$  – длина пролёта,  $l = 1,6$  м;

$F$  – площадь поперечного сечения нити,  $F = \pi R^2$ ;

$$R = \frac{h}{2} = 0,008 \text{ м} \quad F = 3,14 \cdot (0,008)^2 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$E$  – модуль упругости резины,  $E = 4 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>;

$q$  – нагрузка,  $q = 2$  кН/м.

По формуле (6)

$$H = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 1,6}{2\sqrt{6}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{1,62}{1,6} \left( 1 + \frac{H}{4 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-4}} \right) - 1}}.$$

Отсюда

$$H = 32,34 \text{ Н.}$$

Из (7):

$$y_{\max} = -\frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \cdot 1,6 \sqrt{\frac{1,62}{1,6} \left( 1 + \frac{32,34}{4 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-4}} \right) - 1} = 0,239 \text{ м}$$

Таким образом, приняты следующие параметры:

$l = 1,6$  м;

$h = 0,016$  м;

$y = 0,239$  м – величина зазора;

$N = 32,34$  Н;

$\varepsilon = 4$  %.

При этих параметрах резиновая футеровка контактирует со всей поверхностью барабана.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.С. 1414657. СССР. Барабан смесителя окомкователя. / В.И. Дырда, А.В. Коваль, Н.И. Лисица и др. – 1988. – Б.И. №29.
2. Качурин В.К. Гибкие нити с малыми стрелами. – М.: Гостехиздат, 1964. – 96 с.