

УДК 622.73:61.926:678:026

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.148.2014.71953>

**ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ САМОФУТЕРОВКИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦ**

Кандидаты техн. наук В.А. Настоящий, Е.Ф. Чижик, А.А. Тихий

**ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ САМОФУТЕРУВАННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ
ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ БАРАБАННИХ МЛИНІВ**

Кандидати техн. наук В.А. Настоящий, Є.Ф. Чижик, А.А. Тихий

**RATIONALE FOR THE USE OF SELF-LINING WORKING SURFACE THAT INCREASES THE
MILL DRUM**

Cand. of techn. sciences V. Nastoyashchiy, associate professor E.Chizyk, A.Tihiy

В работе с использованием моделирования связности, базирующемся на топологических операциях объединения и разъединения твердых тел, в качестве которых рассматриваются мелющие шары и футеровочные плиты. При этом допускается преобразование связности, совместно с конфигурацией при размещении, деформируемость одного из тел, их объединение и разъединение. Решается задача определения параметров самофутерующихся плит рабочих

поверхностей барабанных мельниц, обеспечивающих повышение производительности мельниц при сохранении срока службы.

Ключевые слова: барабанная мельница, резиновая футеровка, внутренняя загрузка мельницы

В роботі з використанням моделювання зв'язності, яке базується на топологічних операціях об'єднання і роз'єднання твердих тіл, в якості яких розглядалися подрібнюючі кулі і футерувальні плити. При цьому допускалось перетворення зв'язності, сумісність конфігурації при розміщенні, деформованість одного з тіл, їх об'єднання та роз'єднання, вирішується задача визначення параметрів робочих поверхонь плит, барабаних млинів плит, що самофутеруються, для забезпечення підвищення продуктивності млинів при збереженні термінів служби.

Ключові слова: барабанний млин, гумова футерівка, внутрішнє завантаження млина

The most important operation in the technology of preparation of mineral raw materials for the production of construction materials on the enterprises of the construction industry is grinding, mainly carried out in the drum mills. An important place in the context of increasing productivity while reducing energy mills takes protective lining working surface. One of the factors designed to enhance performance and service life of mill liners is a character interaction processing load of the working surface of the lining and the drum mill in which the contact zone formed in the layer of crushed material or specially placed metal balls. To this end, members of the lining constructively carried out with special recesses or niches. In the work carried out theoretical studies on the characterization of lining plates, provide reliable jamming balls. For this purpose we used simulation of connectivity based on topological operations of union and separation of solids, which were considered as the grinding balls and lining plates, while allowing the transformation of the connection, the joint configuration for the location, the deformability of one of the bodies, their union and separation. As a result, provides guidance on determining the parameters of the working surfaces of the plates self- lining tumbling mills, mills that boost productivity while maintaining durability.

Keywords: drum mill, rubber lining, internal loading of the mill

Вступление. Важнейшей операцией в технологии подготовки минерального сырья для производства конструкционных материалов на предприятиях строительной индустрии - измельчение, преимущественно осуществляемое в барабанных мельницах. Одной из основных тенденций развития их конструкций является повышение мощности единичных агрегатов. В настоящее время в эксплуатации находятся мельницы с мощностью привода 2500 кВт и более. Важное место в контексте повышения производительности мельниц при снижении энергозатрат занимает защитная футеровка рабочих поверхностей. В последнее время наиболее востребованными износостойкими материалами футеровок промышленных мельниц являются металлы и резины.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими заданиями. Одним из факторов, призванных повысить производительность мельниц и срок службы футеровки является самофутеровка. Однако процесс создания эффективных резиновых

футеровок для барабанных мельниц требует выполнения теоретических и экспериментальных исследований по определению оптимальных параметров самофутерующихся плит.

Анализ последних исследований и публикаций. Под самофутеровкой обычно понимается такой характер взаимодействия технологической загрузки и футеровки рабочей поверхности барабанной мельницы, при котором в зоне контакта образовывался слой измельченного материала или специально размещались металлические шары, благодаря которым футеровка была защищена от интенсивного износа и ударных нагрузок. С этой целью элементы футеровки конструктивно выполнялись со специальными углублениями или нишами; в эти углубления и ниши забивались шары или куски руды, которые, собственно говоря, и являлись защитным слоем [1, с.52-53],[2, с.114-117], [3, с. 151-152].

Экспериментально с участием авторов [4, с. 159-160] [5, с. 113-114] установлено, что в мельницах с резиновой футеровкой использование шаров диаметром 40 мм для

самофутеровки позволяет на 10-15 % увеличить производительность (по сравнению с металлической футеровкой) без снижения срока службы футеровки.

При применении в шаровых мельницах резиновых плит с нишами, в последние при вращении барабана забивались шары, в практике это, как правило, шары диаметром 40 мм. Верхний шар удерживался в нише при условии, что не менее $2/3$ его объема находилось в резиновом массиве. Более крупные шары диаметром 60 мм и более скользили по резиновой футеровке и при вдавливании или ударных нагрузках могли создавать дополнительные напряжения в резине. В дальнейшем, когда изношенный шар покидал нишу, оставалось полупространство футеровки с ослабленным материалом за счет большой концентрации напряжений на кромках ниши.

Цели и задачи исследований.

Определение условий обеспечения надежной самофутеровки рабочих поверхностей является актуальной задачей.

Основная часть исследования.

Рассмотрим математическую модель взаимодействия металлических шаров с резиновой футеровкой. Основой такого моделирования является преобразование связности, базирующееся на топологических операциях объединения и разъединения твердых тел [6, с.15-22], [7, с.103-107] [8, с.107-111]. Преобразованию связности можно придать конкретное выражение, если операции объединения и разъединения выполнять над силами и перемещениями твердых тел, что в конечном итоге приведет к преобразованию их деформирования и жесткостных характеристик. Объединить и разъединить два тела в принципе означает построение новой конфигурации, геометрия которой определяется не только геометрией составляющих элементов, но и требованиями, накладываемыми на операцию объединения и разъединения. Т.е. при объединении тел A и B (например, шар и футеровка) будет получен объект AB , который имеет более сложную структуру, чем составляющие его тела. Границей этого объекта являются: в случае деформации тела B некоторая площадка; если тело B не

деформируется, то границей будет либо точка, либо окружность.

Рассмотрим геометрическую сторону движений – топологию евклидового пространства и пространственное размещение тел, наделенных топологической структурой, допускающей преобразование связности, совместность конфигурации при размещении, деформируемость одного из тел, их объединение и разъединение. При этом под движением и деформированием твердых тел будем понимать некий процесс, протекающий в пространстве и времени, т.е. в каждый момент времени возникает ситуация, определяющая расположение и конфигурацию тел в пространстве E_3 . Пространство E_3 – это аффинное пространство A_3 над V_3 , где V_3 – евклидово векторное пространство трех измерений [9], [10]

При размещении топологических объектов в пространстве E_3 обычно вводятся некоторые ограничения, сужающие область действия операций объединения – разъединения твердых тел. В рассматриваемом случае, например, металлические шары могут контактировать между собой только точками, а контакт шара и деформируемой резиновой футеровки будет в виде некоторой плоскости. При этом весьма важным для дальнейших расчетов напряженно-деформированного состояния резины является именно форма контакта: с металлической футеровкой контакт шара будет в точке или по окружности, а с резиновой футеровкой контакт будет либо в виде эллипса при взаимодействии шара с плоскостью, либо в виде кольцевой площадки в случае контакта шар-ниша.

Пусть имеются два тела: шар радиусом R и упруго-вязкое полупространство с углом α и глубиной h (рис. 1). В системе координат x, y, z эти тела можно описать следующими неравенствами:

$$z = h; \quad z = \operatorname{ctg} \alpha \sqrt{x^2 + y^2}; \quad (1)$$

$$x^2 + y^2 + (z - H)^2 \leq R^2. \quad (2)$$

Рассмотрим частные примеры взаимодействия двух тел металлического шара, как недеформируемого тела, и футеровки.

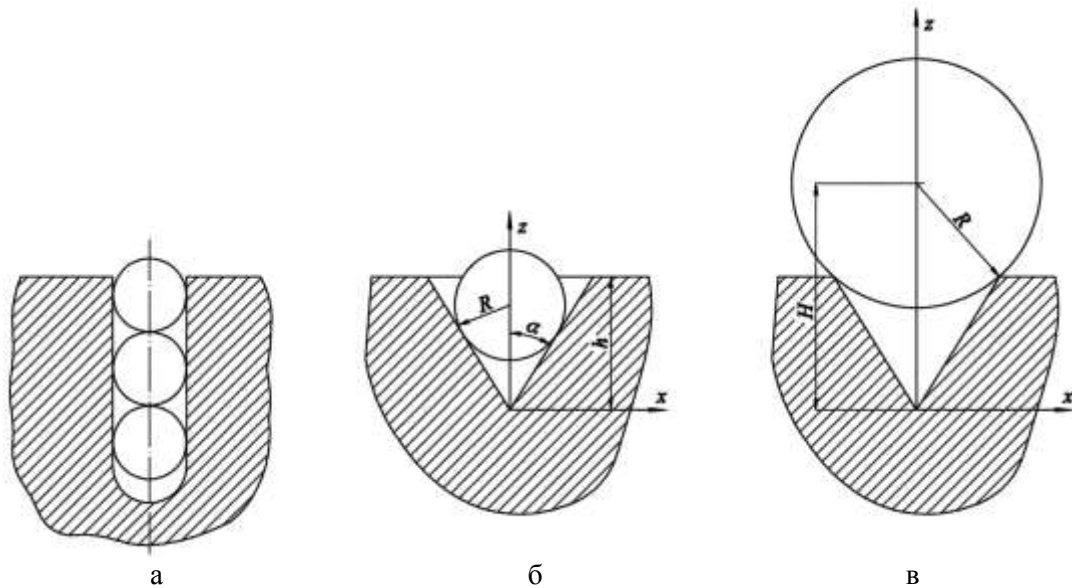


Рис. 1. Контакт шара с углублением (сечение полупространства плоскостью $y = 0$)

Пример 1. Взаимодействие шара и металлической недеформируемой футеровки. Если диаметр шара меньше максимального размера ниши, т.е. $R \leq h \operatorname{tg} \alpha \operatorname{sech} \alpha$, то условием совместности рассматриваемых тел будет неравенство $H \geq R \operatorname{cosec} \alpha$. При $\alpha = \frac{\pi}{2}$ $H \geq R$ и, следовательно, $H \geq R \operatorname{cosec} \alpha$.

Для рассматриваемого взаимодействия можно записать

$$\begin{cases} z = ctg \alpha \sqrt{x^2 + y^2}; \\ x^2 + y^2 + (z - R \operatorname{cosec} \alpha)^2 = R^2. \end{cases} \quad (3)$$

Отсюда можно найти линию контакта – уравнение окружности радиусом $R \cos \alpha$.

Пример 2. Взаимодействие металлического шара и резиновой футеровки. В этом случае под действием технологической загрузки шар внедряется в упруго-вязкое полупространство, которое деформируется на определенную величину, зависящую от величины давления и физико-механических характеристик резины. Здесь возможны два варианта. В первом контактом является окружность радиусом $R \cos \alpha$, во втором – это площадка шириной Δ и радиусом $R_1 \operatorname{cosec} \alpha_1$, где

R_1 , α_1 соответствуют степени деформации резины.

Пример 3. Если радиус шара намного больше максимального радиуса полупространства, т.е. $R \geq h \operatorname{tg} \alpha \operatorname{sech} \alpha$, то условием совместности тел служит неравенство $H \geq h + \sqrt{R^2 - h^2 \operatorname{tg}^2 \alpha}$. В этом случае контактом является кромка конического углубления

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = h^2 \operatorname{tg}^2 \alpha; \\ z = h. \end{cases}$$

Для металлической футеровки это будет окружность, для резиновой – некоторая кольцевая площадка.

Выводы с исследований и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении. Выявленные условия обеспечения надежной самофутеровки рабочих поверхностей могут быть использованы в дальнейшем при определении напряженно-деформированного состояния резиновой футеровки от ударных нагрузок и вдавливания, а также при выборе геометрических размеров ниш.

Список использованных источников

1. Крюков, Д.К. Футеровки шаровых мельниц [Текст] / Д.К. Крюков. – М.: Машиностроение, 1965. – 175 с.
2. Маляров, П.В. Основы интенсификации процессов рудоподготовки [Текст] / П.В. Маляров. – Ростов-на-Дону: «Ростиздат», 2004. – 320 с.
3. Защитные футеровки и покрытия горно-обогатительного оборудования [Текст] / А.А. Тарасенко, Е.Ф. Чижик, А.А. Взорев, В.А. Настоящий. – М.: Недра, 1985. – 204 с.
4. Рабочие поверхности и футеровки барабанных и вибрационных мельниц [Текст] / В.П. Франчук, В.А. Настоящий, А.Е. Маркелов, Е.Ф. Чижик. – Кременчук-Комсомольськ: Елвіта, 2008. – 382 с.
5. Чижик, Е.Ф. Резиновые футеровки барабанных мельниц [Текст] / Е.Ф. Чижик. — Днепропетровск, 2004. – 259 с.
6. Трусделл, К. Первоначальный курс рациональной механики сплошных сред [Текст] / К. Трусделл. – М.: Мир, 1975. – 595 с.
7. Гнучий, Ю.Б. Геометрическое представление внутренних связей в телах. Сообщение 1 [Текст] / Ю.Б. Гнучий // Проблемы прочности. – 1990. – № 4. – С. 103-107.
8. Гнучий, Ю.Б. Геометрическое представление внутренних связей в телах. Сообщение 2 [Текст] / Ю.Б. Гнучий // Проблемы прочности. – 1990. – № 4. – С. 107-111.
9. Берже, М. Геометрия [Текст] / М. Берже. – М.: Мир, 1984. – Т. 1. – 560 с.
10. Берже, М. Геометрия [Текст] / М. Берже. – М.: Мир, 1984. – Т. 2. – 368 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор В.А. Пашинський

Настоящий Владислав Анатолійович, канд. техн. наук, професор, завідувач кафедри будівельних, дорожніх машин і будівництва, Кіровоградський національний технічний університет, Україна, пр-кт. Університетський 8, м. Кіровоград, Україна, 25030. тел. +38-052-390-471.

Чижик Євген Федорович, канд. техн. наук, старший науковий співробітник. Директор НП "МеханобрПолімет", Дніпропетровськ, площа Героїв Майдану 1. Україна, 25030. тел. +38-052-390-471.

Тихий Андрій Анатолійович, канд. техн. наук, кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва, Кіровоградський національний технічний університет, Україна, пр-кт. Університетський 8, м. Кіровоград, Україна, 25030. тел. +38-052-390-471.

V.Nastoyashchiy, cand. of techn. sciences, professor department of, "building, road machines and construction"; Kirovograd national technical university; Kirovograd, Ukraine, University Avenue 8, 25030, vlad.real52@mail.ru phone 0522-390-471.

E.Chizyk, associate professor, cand. of techn. sciences, senior staff scientist, director, SE "MehanicPolimet", Dnepropetrovsk, Area of heroes 1. Ukraine. тел. +38-052-390-471.

A.Tihiy, cand. of techn. sciences, department of, "building, road machines and construction"; Kirovograd national technical university; Kirovograd, Ukraine, University Avenue 8, 25030, phone 0522-390-471, 0989373366