

Виводи. Отримане рішення задачі міцності трьохшарової циліндричної конструкції дозволяє визначити напруження в оболонці в залежності не тільки геометричних її параметрів, але і модулю зсуву заповнювача, що покращує достовірність проектування і експлуатацію таких конструкцій.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Амбарцумян С.А. «Теория анизотропных пластин.» М., Физматгиз, 1967.
2. Галимов К.З., Суркін Р.Г. О работах казанских ученых по теориям пластин и оболочек. В сб. « Исследования по теории пластин и оболочек» №5. Из-во Казанс. Ун-та, 1967.
3. Григолюк Э.И. «Уравнения трехслойной оболочки с легким заполнителем». Из-во АН СССР, ОН. 1957, №1.
4. Огибалов П.М. «Оболочки и пластины» / П.М. Огибалов, М.А. Колтунов. М.:МГУ, 1969. – 696с.
5. Solvey I. «Bibliography and summaries of sandwich construction» (1939-1954)/ Aeronaut/ Res. Lab., Melbourne, Austral, AR/ SM 2, 1953.
6. Кан С.Н. «Строительная механика оболочек» / С.Н.Кан.-М.: «Машиностроение», 1966.-508с.
7. Донелл Л.Г. «Балки, пластины и оболочки»/ Л.Г. Донелл.-М.: Наука, 1982.-568с.

УДК 621.926.5

Иванов А.Н., Шовкун М.М.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ ШАРОВ В ТРУБНЫХ МЕЛЬНИЦАХ

Известно, что мелющая загрузка трубных мельниц состоит из шаров разного диаметра. Любой постоянный устойчивый режим работы мелющей загрузки, в каждом поперечном сечении по длине корпуса, приводит к поперечной сегрегации (расслоению) мелющих тел: мелкие шары располагаются на внешних траекториях ближе к футеровке, а крупные скапливаются в центре загрузки. Такая обратная по размерам сегрегация крайне нежелательна, так как крупные шары должны, наоборот, находится на внешних траекториях и совершать ударный водопадный режим работы, в то время как скапливаясь в центре загрузки они образуют малоэффективную «мертвую» зону. Кроме того, крупные частицы измельчаемого материала, также находятся в мертвой зоне, не выходят на поверхность и не измельчаются ударом, а измельчаются в неэффективном для них каскадном истирающем режиме. Все это приводит к значительным потерям энергии мелющих тел. Предпринимались

различные попытки разрушения этой зоны.

Эффективность движения мелющих тел в поперечном сечении мельницы определяется полнотой передачи их энергии измельчаемому материалу. Поэтому экономичность процесса измельчения зависит от режима движения мелющих тел. Динамика движения мелющих тел, распределения между ударными и истирающими воздействиями мелющих тел на измельчаемый материал во многом зависят от формы поперечного сечения внутреннего пространства рабочих камер.

Выявлено влияние формы поперечного сечения не только на динамику движения мелющих тел, но и на изменение размеров малоподвижного «мертвого» ядра, частоты его колебаний. Например, при ступенчато-криволинейной футеровке это ядро отсутствует, а для усеченного круга оно имеет переменные размеры, увеличиваясь или уменьшаясь за один оборот мельницы, совершая колебательные дви-

жения. Изменение размеров малоподвижного ядра существенно влияет на расход электроэнергии, что было подтверждено промышленными испытаниями на мельнице диаметром 3,6 м: расход электроэнергии снизился на 11-14% и мелющих тел на 5-7%.

Так Эйгнер [1] предложил оформлять «живое» сечение мельницы в виде правильного многоугольника. Разработана также спиральная футеровка с подъемными и отталкивающими ступенями. Но им свойственны общие недостатки: уменьшение рабочего объема помольных камер и необходимость изготовления новых типов футеровки.

Несмотря на то, что за рубежом получили распространения трубные мельницы с поперечным сечением внутреннего пространства в виде многоугольников [1] и доказана целесообразность их применения, в нашей стране исследование и использование таких мельниц еще недостаточно. Работы ведутся в двух направлениях: разработка футеровочных элементов для набора футеровки различных профилей и разработка новых рациональных форм корпуса мельницы.

В работе [2] изучено влияние форм поперечного сечения мельницы на характер движения мелющих тел с применением скоростной киносъемки. Исследовали такие формы: усеченный круг, квадрат, квадрат с закругленными углами, шестиугольник, ступенчато-криволинейная и др. В загрузке монослоя находилось от 6 до 10 меченых шаров, по траекториям, движения которых изучалось перераспределение мелющих тел. Футеровка углового типа повышает производительность процесса измельчения на 14-15% и в тех же пределах снижает удельные энергозатраты, а также улучшает эксплуатационные показатели промышленного агрегата открытого типа.

Змарада А.А. [3,4] показал, что угловая футеровка создает переменный угол отрыва мелющих тел и действует не только на внешнее, но и внутренние слои загрузки. Малые радиусы скругления у вершины позволяют создать ударно-вибрационный процесс, эффективно уменьшаю-

щий содержание крупных фракций в начальной стадии процесса. Оптимальным рабочим профилем угловой футеровки является шестиугольник. Радиусы скруглений у вершин, равные 0,2-0,4? радиуса окружности, описанной относительно профиля, наилучшим образом соответствует процессу грубого помола. Рабочий объем камеры, оснащенной такой футеровкой, практически не меньше рабочего объема, создаваемого обычными типами бронеплит.

Футеровка углового типа повышает производительность процесса измельчения на 14-15% и в тех же пределах снижает удельные энергозатраты, а также улучшает эксплуатационные показатели промышленного агрегата открытого типа.

Авторами предлагается новый способ разрушения «мертвой» зоны, не требующий никаких дополнительных затрат. [5,6,7] Суть его в том, что за один оборот мельницы загрузка работает не в одном каком-либо постоянном режиме работы, а в переменном: часть оборота в водопадном, часть - в каскадном. Для реализации этого способа используются обычные бронеплиты или футеровка из элементов прокатного профиля с разным коэффициентом сцепления: гладкие бронеплиты имеют низкий коэффициент сцепления, равный коэффициенту трения загрузки по футеровке, а бронеплиты ступенчатые, гребенчатые, каблучковые, волнистые имеют высокий коэффициент сцепления.

Объяснить механизм исчезновения поперечной сегрегации можно следующим. В случае, когда барабан мельницы футерован бронеплитами, обеспечивающими один постоянный определенный коэффициент сцепления с внешним слоем шаровой загрузки, например, волнистой, при вращении барабана на скоростях 0,75 и 0,85 от критической наблюдается скопление крупных шаров в центре шаровой загрузки.

Это происходит потому, что при определенной скорости вращения и определенной бронифутеровке шары малых диаметров имеют больший коэффициент сцепления с футеровкой и поднимаются выше крупных шаров, имеющих меньший коэффициент сцепления. Поэтому они

раньше занимают место на футеровке. В силу этого крупные шары оказываются в центре шаровой загрузки. В этом случае эффект от их большого веса исчезает, так как они не выходят на внешние слои шаровой загрузки и падают с сравнительно небольших высот, что не дает в полной мере использовать их кинетическую энергию.

Учитывая то, что поперечном сечении мельницы находится всегда два и больше типоразмера шаров, так как современная классифицирующая бронефутеровка не позволяет четко классифицировать мелящие тела вдоль оси мельницы, устранение явления поперечной сегрегации является актуальным, особенно в начале шаровой мельницы.

Футеруя мельницу по периметру чередующимися участками бронефутеровки, обеспечивающими переменным коэффициент сцепления, изменяем за один оборот, мельницы условия отрыва мелющих тел различных диаметров.

Таблица 1 - Зависимость роста удельной поверхности цемента от продолжительности помола и от схемы футеровки

№ схемы	Продолжительность, мин						
	20	30	40	50	60	70	80
1	1120	1450	1985	2130	2600	2780	2980
2	1380	1800	2140	2190	2500	2680	2930
3	1300	1720	2030	2130	2480	2720	2940
4	1450	1780	2070	2400	2590	2780	3060
5	1300	1700	2070	2300	2700	2830	2970
6	1223	1480	1875	2140	2430	2680	2980
7	1370	1850	2170	2460	2640	2860	2970
8	1389	2090	2380	2650	2800	2870	3020
9	1300	2170	2580	2780	2850	2920	2980

Как видим, лучшие показатели имеем при длине участков, соответствующих 180° , т.е. половина длины окружности занята волнистой футеровкой, а половина - гладкой, а также при длине участка, соответствующего 60° волнистой, и 120° - гладкой футеровки, т.е. загрузка работает за один оборот корпуса мельницы 2 раза в водопадном и 2 раза - в каскадном.

Неплохие результаты получены при чередовании участков через 90° , когда загрузка также работает 2 раза в каскадном и 2 раза в водопадном режимах.

Барaban мельницы футеровали внутри по схемам, приведенным ниже:

- 1- Вся камера футерована гладкими плитками;
- 2 - Футеровка волнистыми плитками;
- 3-Футеровка плитками с полочками;
- 4- Футеровка гладкими и волнистыми плитками с чередованием через 60° ;
- 5- Футеровка гладкими плитками и планками с чередованием через 60° ;
- 6 - Футеровка гладкими и клинчатыми плитками с чередованием через 60° ;
- 7 - Футеровка гладкими и волнистыми плитками с чередованием через 90° ;
- 8 - Футеровка гладкими и волнистыми плитками с чередованием через 180° ;
- 9 - Футеровка гладкими и волнистыми плитками: 60° - волнистые 120° - гладкие. шары диаметром 28 и 38 мм в соотношении 3:2 (соответственно весовому соотношению частиц соответственных размеров).

Результаты исследований представлены в табл.1

В качестве участка с высоким коэффициентом сцепления лучше использовать волнистую и планочную футеровки.

Шаровая загрузка работает в сложном водопадном - каскадном режиме (пульсирующем), при котором не происходит скопления крупных шаров в центре загрузки. Всё это говорит в пользу пульсирующего режима работы мелющей загрузки, внедрение которого не требует капитальных затрат. Суть нового режима состоит в чередовании по длине окружности корпуса мельницы участков футеровки с

высоким и низким коэффициентами сцепления. Благодаря этому разрушается малоэффективное центральное «мёртвое» ядро, образующееся в результате обратной поперечной сегрегации шаров (крупные - в центре, мелкие - на периферии), интенсифицируется работа мелющей загрузки, нарушается не только поперечная сегрегация шаров, но и частиц измельчаемого материала, все это приводит к повышению эффективности процесса измельчения.

С целью подтверждения этого по определенной методике были проведены эксперименты на специальном стенде, с лабораторной типовой шаровой мельницей МБ-500 конструкции Гипроцемента. Мельница периодического действия, из 2-х автономных камер с отдельными загрузочными люками, с внутренним диаметром 500 мм и длиной каждой камеры 280 мм. Результаты испытаний даны в табл.2

Таблица 2 - Характеристики пульсирующего режима при частоте вращения 0,75 в долях от критической.

№ п/п	Угол отрыва, в градусах		Величина углов по дуге участков и число участков	Степень заполнения
	$\alpha_{\max}$	$\alpha_{\min}$		
1	75,5	45,5	Чередование через 60°	0,25
2	75,5	37,5		0,33
3	65	35,5		0,41
4	75	35,5	Чередование через 90°	0,25
5	73	33,5		0,33
6	73	35,5		0,41
7	74	34	Чередование через 180°	0,25
8	73,5	43,5		0,33
9	72,5	40,5		0,41

Как видим, вышерассмотренный пульсирующий режим работы направлен на ликвидацию мертвой зоны.

Просмотрев киноплёнку и фотоснимки можно сделать следующие выводы.

При смене за один оборот мельницы водопадного и каскадного режимов за счет чередования участков футеровки с высоким и низким коэффициентами сцепления создается новый переменный пульсирующий режим работы мелющей загрузки. Угол отрыва мелющих тел изменяется от максимального при контакте с гладкими участками футеровки, до минимального, при контакте с волнистыми участками футеровки.

Наблюдается разрушение мертвой зоны мелющей загрузки, т.е. нарушение поперечной сегрегации шаров. Наиболее эффективно это происходит при чередовании участков с высоким и низким коэффициентом сцепления через 90° т.е. смена режимов за один оборот происходит 4 раза.

Из данных табл. 2 видно, что наибольшая разница в углах подъема (40°) наблюдается также при смене режимов через 90° с увеличением частоты вращения углы отрыва уменьшаются (загрузка поднимается на большую высоту). Аналогичная, но менее выраженная зависимость наблюдается и при увеличении степени заполнения шарами.

С увеличением частоты вращения и степени заполнения пульсирующем режиме работают то в основном, внешние слои мелющих тел, а при уменьшении степени заполнения и частоты вращения в пульсирующем режиме работает почти вся шаровая загрузка.

Анализ полученных результатов показывает, что при частотах вращения барабана 0,65 и 0,75 от критической отличия в режимах работы мелющих тел при постоянном коэффициенте сцепления и переменном коэффициенте по периметру существенны. При увеличении частоты до 0,85 от критической отличия в режимах работы уменьшаются.

ЛИТЕРАТУРА:

- 1 Eigner E. Vahlver suche cmf Zement – mit Ecspiralpanzerung muhlen // Fachbereich v.4 VD2 Kongress Dussldorf 28.9-1.10.1971. – zement – Kalk – Gips, 1971, N9.
- 2 Ширяев А.А., Коняхин А.П. Влияние формы поперечного сечения мельниц на динамику движения мелющей среды. Тезисы докладов Всесоюзной конференции, часть 6, Белгород. БТИСМ, 1987– С. 22.
- 3 Змарада А.А., Пироцкий В.З. Исследование угловых бронефутеровок трубных мельниц // В КН измельчение цементного клинкера – М.1980. – С 34-51.
- 4 Змарада А.А. Исследование параметров угловых бронефутеровок с целью повышения эффективности работы мелющей загрузки цементных мельниц. автореф. дис...канд. техн.. наук 05.02.16 / Харьковский политехн. ин-т. – Харьков. 1982. – 20 с.
- 5 Иванов А.Н. Исследование энергосберегающего пульсирующего режима работы мелющей загрузки трубных мельниц. Интегровані технології та енергозбереження. – Харків: ХДПУ. -2000. №2. С. 14-18.
- 6 Иванов А.Н. Закономерности энергосберегающего режима работы мелющей загрузки трубных мельниц. Интегровані технології та енергозбереження. – Харків. ХДПУ. -2000. №1. С. 8-12.
- 7 Иванов А.М., Чудний О.Ю., Покров В.В. Дослідження кінематики куль у трубних млинах замкненого циклу. Вісник НТУ «ХПІ». Хімія, хімічна технологія та екологія.- Харків : НТУ «ХПІ», 2007.-Вип.9 – С 80-86.

УДК 666.9.022.3+691.33

Буцький В.О.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

**БАРАБАННО-ВАЛКОВИЙ АКТИВАТОР БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ БЕЗ РИХЛЕННЯ
УЩІЛЬНЕНОГО ШАРУ ПІСЛЯ КОЖНОГО ПРОКАТУВАННЯ**

Загально визнаним шляхом ресурсозбереження у багатьох галузях, у тому числі й у виробництві будівельних матеріалів, являється механічна активація сировинних сумішей [1], здатна забезпечити вагому економію в'язучого (цементу чи вапна) або підвищити показники якості виробів із активованої суміші – міцність, морозостійкість тощо [2]. Одним з ефективних варіантів здійснення механічної активації є додаткова обробка підготовленої до формування суміші у активаторах валкового типу [3]. Доведено, що взаємодія часток товстого шару зволоженої суміші під час багатократного прокатування під валком і наступного рихлення ножем, наприклад, у барабанно-валковому активаторі (далі – БВА) оголює активні поверхні часток шару і зміцнює зв'язок в'язучого із різноманітними заповнювачами, у тому числі – із техногенними продуктами (шлаком, золою і) [4], якими багата Україна [5].

БВА безперервної дії (БВА БД) має очевидні переваги у порівнянні з БВА циклічної дії (БВА ЦД), як через відсутність втрат часу на завантаження-розвантаження, так і у зв'язку зі спрощенням конструкції та управління – спеціальні складні пристрої завантаження-розвантаження стають непотрібними. У БВА БД (рис.1) кількість прокатувань рихлого шару 5 під валком 2 і наступних рихлень ножем 6 залежить як від темпу живлення (продуктивності), так і від товщини шару 5, яка керується зміною кута нахилу напрямного елемента 7. Заводські випробування підтвердили ефективність БВА БД [6]. Але виявилися й недоліки, основний з яких – інтенсивне й нерівномірне зношення ножа 6 (рис.1), яке пов'язане з нерівномірністю тиску по довжині барабана - наявністю зон високого тиску біля завантаження та під напрямним елементом 7 (рис.1) [7]. Нерівномірність зношення ножа приводить до зростання експлуатаційних витрат на його заміну.