

*Романович А.А., канд. техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПРЕСС-ВАЛКОВЫХ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ

alexejrom@yandex.ru

В статье дан анализ существующих способов повышения износостойкости валков пресс-валковых агрегатов используемых ведущими производителями как у нас в стране, так и за рубежом. Представлены результаты аналитических исследований по повышению долговечности рабочих органов пресс-валковых измельчителей. Получено уравнение для расчета размеров ячейки футерующей сетки, позволяющей осуществить футеровку рабочей поверхности валков измельчаемым материалом. Приведены результаты сравнительных исследований по изучению процесса измельчения шлака, осуществляемого между валками с наплавленной футерующей сеткой и без нее. Установлено, что поверхность валков с ячейками, заполненными мелкими частицами материала имеет твердость ниже, чем исходный металл, что приводит возникновению упругопластических деформаций при обработке материалов давлением. Однако это явление незначительно сказывается на процессе измельчения шлака, так как толщина материала в ячейке небольшая и имеет тонко измельченную спрессованную структуру с высокой прочностью, расхождения между полученными значениями степени измельченности невелики, при этом срок службы валков при измельчении абразивного материала шлак увеличится в 1,5-2 раза.

Ключевые слова: *пресс-валковые измельчители, долговечность, наплавка валков, футерующая сетка.*

Введение: Материалы, применяемые при производстве цемента, имеют абразивную структуру, и измельчение их между валками пресс-валкового измельчителя (ПВИ) приводит к интенсивному износу рабочих органов, что снижает эффективность от их использования.

В настоящее время над созданием надежных конструкций ПВИ высокого давления наиболее плодотворно работают такие немецкие фирмы, как «KRUPP Polysius AG», «KHD Humboldt Wedag AG» и «Koppert» [1– 6]. При создании пресс-валковых измельчителей специалистами этих фирм наибольшее внимание уделяется снижению эксплуатационных затрат и повышению надежности агрегатов. Основными направлениями при этом являются разработка конструкции рабочих поверхностей валков и технология их изготовления. Ими предложены следующие конструктивные исполнения валков, позволяющие повысить их срок службы:

– валки с установкой на их рабочей поверхности литых бандажей, выполненных из износостойкого металла, которые используются при не больших рабочих давлениях измельчения и температуры;

– стальные валки с наплавленным слоем износостойкого материала на рабочей поверхности, толщина которого достигает до 10–12 мм, причем повторная наплавка может производиться на валке без его демонтажа с агрегата;

– цельнолитые валки, которые используются при высоких давлениях измельчения, толщина изнашиваемого слоя

металла при этом достигает 160 мм, а срок службы доходит до 40 тыс. ч.

– сегментные конструкции валков, которые разработаны для небольших рабочих давлений. Надежность работы такого валка зависит от удельных давлений в рабочей зоне и температуры исходного материала, а срок службы сегментных валков достигает 9000 ч.

Практика применения ПВИ показала, что значительное влияние на работоспособность рабочей поверхности валков оказывают условия их эксплуатации. Например, высокая температура исходного материала может представлять существенную опасность для валков с бандажами с небольшой толщиной. Поэтому помимо широко принятого конструктивного исполнения валка с бандажом была разработана технология получения цельнолитого валка. Такая технология изготовления валков предусматривает защиту основного материала износостойким слоем или применением термообработки. В зависимости от специальных требований поверхность валков может быть профилированной для улучшения способности захватывать материал в рабочую зону. Средняя твердость поверхности валка – от 57 до 60 HRC при высоком содержании карбидов. Разработанная технология наплавки поверхностного слоя улучшает износостойкость валков.

Альтернативным решением сплошной наплавке поверхностного слоя является нанесение на поверхности валков по специальной схеме выступов или профилированием его рабочей поверхности. В этом случае средством борьбы с

износом валков является не соответствующее увеличение толщины защитного слоя, а непосредственная защита поверхности валка слоем измельчаемого материала.

Основная часть: Применение в последние годы пресс-валковых измельчителей, имеющих эксцентриковые или конические валки, позволяющие создавать интенсивное сдвиговое деформирование измельчаемых шихт между валками, и тем самым снизить удельный расход электроэнергии [5,6], но это влечет за собой повышенный износ их рабочих поверхностей. Поэтому, возникает необходимость разработки технических решений, для защиты поверхности валков от интенсивного износа, позволяющих повысить срок их службы.

Одним из наиболее просто реализуемых в условиях производства является, разработанное нами на уровне изобретения, техническое решение, позволяющее защитить поверхность валков от интенсивного износа за счет наплавки из износостойкого материала сетки, ячейки которой в процессе работы заполняются измельчаемым материалом и, удерживаясь в них, предохраняют поверхность валков от износа [7].

Для обеспечения футеровки поверхности валков, наплавку сетки необходимо выполнить так, чтобы измельчаемый материал запрессовался в ячейках в момент измельчения и после снятия напряжений не выходил из них и тем самым образовывался слой материала (запрессованный в ячейках), который предохранял бы рабочую поверхность валков от интенсивного износа.

Из вышесказанного следует, что условия футеровки рабочей поверхности валков во многом зависят от геометрического профиля и размеров ячеек, а также от свойств материалов в частности коэффициента трения.

Рассмотрим условия запрессовки материалов в ячейках эксцентриковых валков на рабочей поверхности, которых нанесена сетка прямоугольной формы (рис. 1).

Пройдя зону максимальных давлений, спрессованный материал подвергается резкому снятию усилий измельчения, что вызывает его упругое расширение и, в зависимости от формы ячейки и величины сил упругого расширения материала возможен его выход или заклинивание в ячейке, нанесенной на рабочей поверхности валков.

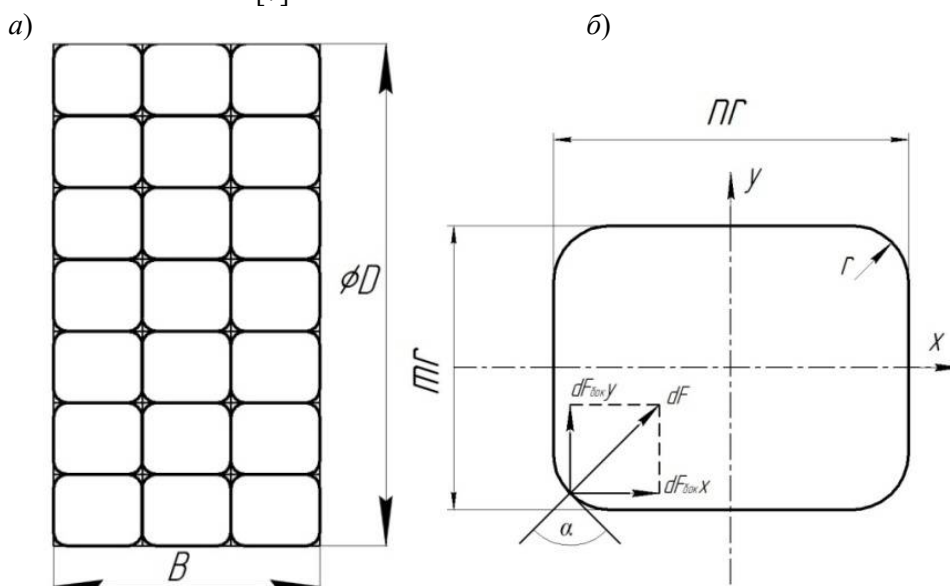


Рис. 1. Рабочая поверхность бандажа валка с наплавленной футерующей сеткой:
а - общий вид; б - форма ячейки

Учитывая, что при наплавке сетчатой поверхности валков получаются ячейки со скругленными углами по радиусу r (рис.1, б) за счет пристенного эффекта в углах ячейки, и предположив, что усилие F , возникающее за счет сил упругого расширения, в ячейке равно по всей ее боковой поверхности $S_{бок}$.

Рассмотрим силу, действующую на бесконечно малую площадку боковой поверхности ячейки с длиной по периметру l_0 и высотой r , которая равна:

$$dF = F dS_{бок} = F r \cdot d\alpha \cdot l_0. \quad (1)$$

Величина силы, действующей на всю боковую поверхность ячейки равна:

$$dF_{бок} = cr \cdot d\alpha(2nr + 2mr) \times F d\alpha. \quad (2)$$

где n и m – числа, кратное радиусу скругления r , соответственно, по высоте, ширине и длине ячейки.

Сила $dF_{бок}$ раскладывается на вертикальную $dF_{бок}(z)$ и горизонтальные составляющие $dF_{бок}(x)$ и $dF_{бок}(x)$.

Горизонтальные силы $dF_{бок}(x)$ и $dF_{бок}(y)$ взаимно компенсируются, так как противоположно направленные в ячейке.

$$\Sigma F_{бок.z} = \int dF_{бок}(z) \cdot \cos \alpha = 2r^2 d\alpha (n+m) F \times \int \cos \alpha d\alpha . \quad (3)$$

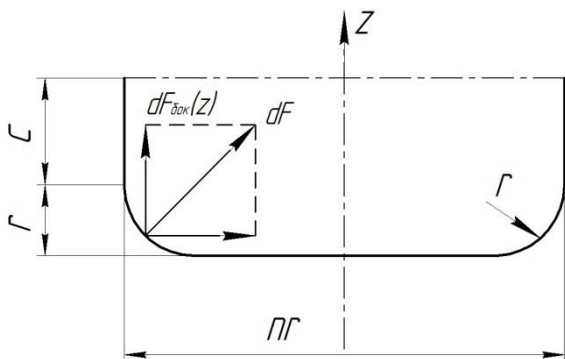


Рис. 2. Схема к определению формы и размеров ячейки

Проинтегрировав выражение (3) получим

$$\Sigma F_{бок.z} = 2r^2 (n+m) F_z \cdot \sin \alpha . \quad (4)$$

Сила, действующая на бесконечно малую площадку сферической поверхности в углах ячейки, равна:

$$\Sigma F_{сф} = rd\alpha \cdot r \cos \alpha \cdot dF . \quad (5)$$

Проекция сил на оси «х» и «у» взаимно компенсируются, а проекция на ось «z» равна:

$$\Sigma F_{сфz} = dF_{сф} \cos \alpha . \quad (6)$$

Суммарная сила на ось «z», приходящая на всю сферическую поверхность, состоящую из угловых полушфер радиусом r, определяем по выражению:

$$\Sigma F_{сфz} = r^2 F \int_0^{2\pi} d\xi \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \alpha \cos \alpha d\alpha . \quad (7)$$

проинтегрировав выражение в указанных пределах, получим:

$$\Sigma F_{сфz} = \pi r^2 F . \quad (8)$$

Сила, действующая по нормам к поверхности ячейки площадью, S_y , равна:

$$F_n = S_y F$$

или

$$F_n = (nr \cdot mr) \cdot F = F \cdot mn r^2 . \quad (9)$$

Тогда суммарная сила, которая обеспечивает выход с прессованной шихты из ячейки, равна:

$$\Sigma \bar{F} = \Sigma F_{бок} + \Sigma F_{сфz} + P_n , \quad (10)$$

или

Вертикальные же составляющие дают суммарную силу $\Sigma F_{бок.z}$, равную:

$$\Sigma \bar{F} = 2r^2 (n+m) F \cdot \sin \alpha + \pi r^2 F + F \cdot mn r^2$$

Выходу спрессованной шихты из ячейки препятствует сила трения материала о её боковую поверхность. Боковая поверхность состоит из сферической части в углах ячейки, скругленной поверхности между ними и параллельной поверхности по периметру высотой «C».

Суммарная проекция сил, действующих на бесконечно малых участках боковой поверхности по радиусу скругления ячейки на ось z, равна:

$$F_{mp.б} = \int fdF_{бок} \sin \alpha = -f 2r^2 (n+m) \cdot F \cdot \cos \alpha . \quad (11)$$

Суммарная проекция сил, действующих на бесконечно малых параллельных участках боковой поверхности ячейки высотой «с» на ось z, равна:

$$F_{mp.б} = \int fdF_{бок} = -frc(n+m) \cdot F$$

Суммарная проекция сил трения, действующих на бесконечно малых участках сферической поверхности в углах ячейки на ось «z», равна:

$$F_{mp.сф.} = fdF_{сфz} \sin \alpha = f\pi r^2 F . \quad (12)$$

Суммарная сила, удерживающая спрессованную шихту в ячейках, равна:

$$\Sigma F_{mp} = \Sigma F_{mp.б} + \Sigma F_{mp.сф.} , \quad (13)$$

или

$$\Sigma F_{mp.} = f(2r^2 (n+m) F \cdot \cos \alpha + frc(n+m) \cdot F + f\pi r^2 F$$

Условия запрессовки измельчаемого материала в ячейки на рабочей поверхности валков будут обеспечены в том случае, если $\Sigma F_{mp.} \geq \Sigma F$, тогда:

$$2r^2 (n+m) F \cdot \sin \alpha + F \cdot mn r^2 + \pi r^2 F \leq f(2r^2 (n+m) F \cdot \cos \alpha + f\pi r^2 F + frc(n+m) F \quad (14)$$

Отсюда определим высоту боковой поверхности ячейки, при которой будет осуществляться футеровка ячейки материалом:

$$c \geq \frac{2r(\sin \alpha (n + m) + 0,5nm - f \cos \alpha (m + m))}{f(n + m)}, \quad (15)$$

Исходя из вышеуказанных условий, обеспечивающих «футеровку» рабочей поверхности эксцентриковых валков, рассмотрим вариант квадратной ячейки, при $n = 1$, $m = 1$, $f = 0,37$, $r = 1$ см, $\alpha = 45^\circ$. Подставив в уравнение (15) получим: $C \geq 3,83$ мм.

Из полученного уравнения (15) следует, что при заданных условиях может быть осуществлена футеровка рабочей поверхности измельчаемым материалом, при этом высота боковой поверхности «С» должна быть не менее 3,83 мм.

Применение на практике сетчатой поверхности с размерами ячеек, удовлетворяющих

вышеизложенным условиям, позволит уменьшить износ рабочей поверхности валков и тем самым повысить срок их службы.

Проведенные экспериментальные исследования при измельчении материалов цементного производства (клинкера, известняков, мергелей и других) подтвердили теоретические предположения, что нанесение на поверхности валков ячеек, обеспечивает не только лучшие условия для захвата измельчаемых материалов, доставку их в зону силового с меньшим проскальзыванием, но и запрессовку в них мелких частиц измельчаемого материала (рис. 3).



Рис. 3. Валки ПВИ с наплавленной футерующей сеткой на их рабочей поверхности: а – до осуществления процесса измельчения; б – после измельчения

Поверхность валков с ячейками, заполненными мелкими частицами материала имеет твердость ниже, чем исходный металл, что приводит возникновению упругопластических деформаций при обработке материалов давлением.

Это явление незначительно сказывается на процессе измельчения, так как толщина материала в ячейке небольшая и имеет тонко измельченную спрессованную структуру с высокой прочностью. Кроме того при обработке материалов давлением в ПВИ осуществляется измельчение материала в его слое под действием усилий и различной прочности его зерен.

Проведенные сравнительные исследования по изучению процесса измельчения осуществляемого в ПВИ с наплавленной футерующей сеткой и без нее подтвердили предположения о том, что использование футерующей сетки позволяет защитить поверхность валков от интенсивного износа, при этом незначительно сказывается на качестве измельчения материалов (рис. 4).

Вывод. Таким образом, как видно из графика расхождения между полученными значениями степени измельченности невелики, при

этом срок службы валков, как показали проведенные промышленные испытания, при измельчении абразивного материала шлак увеличится в 1,5...2 раза.



Рис. 4. График зависимости степени измельченности от давления измельчения: а - неотфутерованными валками; б - отфутерованными; 1 - известняк органогенный; 2 - клинкер;

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мельница POLYCOM фирмы KRUP Polysius AG – революция в области дробильного оборудования // Горная промышленность. 1996. № 4. С.20.
2. Tratner R. Modernisierung von Production – sanlagen Guttbett Walzenmuhlen fur Rohmaterial und Klinker // Zement – Kalk – Gips. 1987. № 7. P. 354-359.
3. Wustner H. Energy – saving with the roller press comminution process. // World Cement. 1986. №3. P. 94-96.
4. Биннер Й., Ассмус Р., Щеголяев Е. Технология измельчения и классификация шлака // Цемент и его применение. 2006. № 5. С. 31-36.
5. Romanovich M., Romanovich L., Rudichev A., Lycheva A. Incentives for Innovative Activity of Young Scientists on the Basis of Higher Educational Institutions in Russia // World Applied Sciences Journal. Т. 25. № 12. P. 1754-1757.
6. Романович М.А., Рудычев А.А., Романович Л.Г. Венчурное инвестирование в инновационные предприятия за рубежом и в России // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 124-127.
7. Романович А.А. Технология получения вяжущих с использованием техногенных отходов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №5. С. 102-105.
8. Патент RU № 2522799 С1 В02С 4/02. Пресс-валковый / А.А. Романович, С.А. Мещеряков, Л.Г. Романович, Н.В. Черкашин, М.А. Романович // от 20.07.2014 г.

Romanovich A.A.**INCREASE OF DURABILITY OF WORKING BODIES OF THE ROLLER PRESS MILL**

The paper analyzes the existing methods of improving the wear resistance of rolls press roller assemblies used by leading manufacturers both in our country and abroad. The results of analyzes to improve the durability of working bodies of the roller press mill. An equation for calculating the size of the cell footer mesh lining allows for the working surface of the rolls material being ground. The results of comparative studies on the process of grinding the slag takes place between the rolls with the build-footer grid and without. It has been established that the surface of the rolls having cells filled with fine particles of material having a hardness lower than the parent metal which results in the appearance of elastoplastic deformation pressure processing of materials. However, this phenomenon has little effect on the grinding process of the slag, since the thickness of the material in the cell is small and finely ground compressed structure with high strength, discrepancies between the values obtained are low degrees of fineness, while the life of the rolls during grinding abrasive slag will increase by 1.5-2 times.

Key words: roller press mill, durability, surfacing wolves, net footer.