

нологического режима: мельница дважды работала без подачи воды (в первый раз 10-15 мин и 20-25 мин во второй раз), что явилось причиной перегрева резиновой футеровки, изменения ее структуры и существенного увеличения поврежденности массива.

3. В процессе эксплуатации мельницы была получена важная экспериментальная информация, касающаяся механизма разрушения резиновой футеровки и феномена несимметрии загрузки по длине барабана; такая несимметричность загрузки явилась одной из основных причин интенсивного износа футеровки в области загрузочной зоны. Во второй половине мельницы абразивно-усталостное разрушение резиновых плит соответствовало теоретическим расчетам: максимальный износ в этой зоне не превышал 30-35 % и расчетное время до отказа могло составить не менее 6000 ч.

4. Конструкция резиновой футеровки «плита с нишами» является перспективной и при увеличении толщины плит в области интенсивного износа и незначительном изменении профиля может быть установлена на мельницах типа МШЦ 5,5×6,5 с шарами диаметром до 100 мм, и иметь долговечность до отказа не ниже 5000-7000 часов.

5. При разделении слива мельницы как минимум на три класса крупности можно достигнуть производительности по исходному питанию до 315-320 т/ч.

6. Снижение крупности руды в сливе мельницы значительно повысит срок службы насосов и гидроциклонов.

7. Возможна эксплуатация мельницы с шарами диаметром 80 мм при их объеме 210-220 т без потери производительности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дырда В.И., Чижик Е.Ф., Кияшко В.И., Карачабан Н.Г. Резиновые детали в инженерной практике. - Днепропетровск: Полиграфист, 1998. -304 с.
2. Дырда В.И., Чижик Е.Ф. Резиновые детали в машиностроении. -Днепропетровск: Полиграфист, 2000.-584 с.
3. Акт результатов испытаний резиновой футеровки на мельнице МШЦ 5,5×6,5 № 7 в корпусе ИФО от 5 января 2000 г. Утвержден зам. ген. директора СП «ЭРДЭНЭТ» Д. Даваасамбуу.

РАСЧЕТ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РЕЗИНОВОЙ ФУТЕРОВКИ ШАРОВЫХ РУДОРАЗМОЛЬНЫХ МЕЛЬНИЦ

**Дырда В.И., Чижик Е.Ф., Мельников О.К., Чижик Е.Е., ИГТМ НАНУ,
«Полимет»**

Настоящая статья является продолжением работы «Опыт эксплуатации резиновой футеровки на мельницах МШЦ 5,5×6,5 с шарами диаметром 100 мм на СП «Эрдэнэт» (см. настоящий сборник). Резиновая футеровка типа «плита с нишами» эксплуатировалась при следующих параметрах: частота вращения мельницы 13,69 об./мин; средняя шаровая загрузка 265-268 т шаров диаметром 100 и 80 мм соотношении 1:1; величина питания по исходной руде 280-285 т/ч; максимальная толщина футеровки 160 мм; реальная наработка на отказ 1807 ч.

Предпосылки к расчету.

1. Для расчета долговечности воспользуемся феноменологической моделью абразивно-усталостного разрушения резиновой футеровки. Расчет времени до разрушения t^* будем вести для «локального объема», т. е. для такого объема, который наделен всеми свойствами матрицы [1].
2. Под долговечностью t^* будем понимать такое время, которое соответствует времени раз-

рушения «локального объема» резины: для реальных условий работы резиновой футеровки в шаровых мельницах это соответствует $0,9t_3$, где t_3 – время эксплуатации футеровки, определяемое из технологических соображений [1].

3. Расчет напряжений и деформаций будем проводить по методикам, изложенным в [5, 6]. Принималось во внимание взаимодействие металлического шара диаметром 100 мм при прямом ударе о поверхность футеровки толщиной 160 мм, лежащей на упругом основании. Скорости движения шара принимались равными 6-12 м/с; динамические характеристики резин определялись по методикам [5]; температура в резине принималась равной 320-345 К, что соответствует реальной температуре в массиве и на поверхности футеровки.
4. Механические характеристики наполненных резин заимствованы из [4, 6] и получены при непосредственных экспериментальных исследованиях.

Определим долговечность резиновой футеровки исходя из термофлуктуационной теории прочности; разрушение будем рассматривать как кинетический процесс, активированный температурой и внешним механическим полем. В целом это означает, что разрушение можно рассматривать как процесс накопления повреждений, зависящий от температуры, условий нагружений, действия внешней среды и в общем случае подчиняющийся уравнению

$$\tau = \tau_0 \xi_m \eta_\phi k_n \left(\ln \frac{\Delta P_\infty}{\Delta P_\infty - \Delta P_{кр}} \right) \exp \left[\frac{u_0 - \gamma(\sigma, T)\sigma}{kT} \right].$$

Уравнение получено с учетом общего кинетического уравнения Аррениуса с дополнением концепций Журкова-Бартенева, а также с дополнением функции поврежденности резины и функций, учитывающих конструктивные и технологические особенности мельницы и резиновой футеровки.

Здесь: τ_0 , k – постоянные; $\tau_0 = 10^{-13}$ с⁻¹; $k = 8,32 \cdot 10^3$ Дж/(кмоль·К); u_0 – энергия активации резины, зависит от напряжения и определяется экспериментально из зависимости $u_0 \sim \sigma$, для расчетов принято $u_0 = 120-138$ Дж/моль; γ – постоянная, характеризующая влияние на процесс разрушения полей напряжений и температур, определяется из уравнения

$$\gamma = a - (b + c\sigma)(T - T_1),$$

полученного при компьютерной обработке зависимости $\gamma(\sigma, T)$, значение для исследуемых резин в диапазоне температур 320-345 К (при $T = 345$ К; $a = 0,86$; $b = 0,45$; $c = 0,15$) следующее:

$$\text{при } \sigma = 0,15 \text{ МПа } \gamma = 32,4-35,6; \text{ при } \sigma = 0,25 \text{ МПа } \gamma = 25,3-26,4;$$

$\ln \left[\frac{\Delta P_\infty}{\Delta P_\infty - \Delta P_{кр}} \right]$ – функция поврежденности резины в локальном объеме массива резиновой футеровки; ΔP_∞ – приращение концентрации поврежденности в резине, т. е. приращение концентрации перенапряженных связей в объеме резины, способных порваться под действием тепловых флуктуаций, определяется из уравнения для любого фиксированного времени

$$\Delta P(t) = \Delta P_\infty [1 - \exp(-k_v t)],$$

где $\Delta P(t)$ – приращение (по отношению к начальной концентрации повреждений $\Delta P_0(t)$, всегда имеющих в массиве резины) накопления повреждений (т.е.

разрушений или разрывов на молекулярном уровне), подчиняется закономерностям реакции первого порядка; k_V – константа скорости; $\Delta P_{кр}$ – приращение предельной или критической концентрации повреждений в «локальном объеме» резины, при достижении которой он разрушается, $\Delta P_{кр}$ – является инвариантным по отношению температуры и поэтому может быть принято как константа материала, для исследуемых резин при инженерных расчетах величину $\Delta P_{кр}$ следует брать для объема материала: $\Delta P_{кр} = (3,5 - 3,7) \cdot 10^{19} \text{ 1/см}^3$ или в относительных единицах $\Delta P_{кр} = 5,2 - 5,6$; для поверхности резины $\Delta P_{кр} = (1 - 2) \cdot 10^{27} \text{ 1/см}^3$, т.е. поверхность резины всегда является более поврежденной, чем массив, $\ln \frac{\Delta P_{\infty}}{\Delta P_{\infty} - \Delta P_{кр}} = 4,6$ (при $T = 345 \text{ K}$); ξ_m – постоянная, ха-

рактеризующая конструктивные и технологические характеристики мельницы; в общем случае

$$\xi_m = \xi_m(ds, \mathcal{G}, V, d_{ш}, k_m);$$

где ds – диаметр барабана мельницы; $d_{ш}$ – диаметр шаров; V – скорость вращения барабана; \mathcal{G} – коэффициент заполнения мельницы; k_m – коэффициент, характеризующий измельчаемый материал и пульпу: плотность, твердость, агрессивность, содержание твердого в пульпе и т.д.; k_n – коэффициент влияния несимметрии загрузки; для зоны умеренного износа $k_n = 1,0$; для зоны интенсивного износа – $k_n = 3,5 \dots 3,8$; η_{ϕ} – коэффициент, характеризующий профиль и конструктивные особенности футеровки, для рассматриваемого случая принято $\xi_m = 0,62$, $\eta_{\phi} = 1,25$.

С учетом изложенного, время t^* до разрушения «локального объема» резиновой футеровки в зоне умеренного износа будет равно (при $T = 345 \text{ K}$)

$$t^* = 2,42 \cdot 10^7 \text{ с (или 6720 ч)}.$$

Время $t^* = 2,42 \cdot 10^7 \text{ с}$ следует рассматривать как усредненное значение для условного объема резиновой футеровки. При расчете t^* на компьютере с учетом вариации параметров резины и поля температур (внутреннего от диссипации энергии и внешнего) долговечность футеровки в зоне умеренного износа колеблется в пределах 6480-7900 ч (т.е. 9-11 мес.). Эксплуатационное время будет на 10 % больше и зависит от реальной технологии измельчения.

Для зоны интенсивного износа время t^* до разрушения «локального объема» резиновой футеровки при $T = 345 \text{ K}$ и $k_n = 3,55$ будет равно 1910 ч, что практически совпадает с реальным временем эксплуатации мельницы с резиновой футеровкой.

Как видно, кинетическое уравнение долговечности достаточно полно включает в себя микро- и макрохарактеристики резины. Однако в этом состоит и его недостаток – для получения t^* необходимо знание большого количества переменных. Поэтому рассмотрим алгоритм определения t^* на основе обобщенного критерия разрушения [6], который соединяет в себе достоинства энергетического критерия и критерия по поврежденности, связывает в единое целое

микро- и макрохарактеристики резины и использует некоторую критическую постоянную резины W , не зависящую от конструкции футеровки. Расчет преследует и вполне конкретную цель: получить t^* из независимого уравнения и подтвердить правильность предыдущего расчета. В общем случае количество циклов $N_{кр}^*$ для разрушения локального объема будет равно

$$N_{кр}^* = \frac{2MT\Delta P_{кр}}{G_{оэ}(P)\varepsilon_0^2\psi(P)},$$

где T - температура; ε_0 - мгновенная относительная деформация в локальном объеме резины при взаимодействии с шаром; $\psi(P)$ - функция диссипации энергии в зависимости от кинетики поврежденности резины; M – постоянная, $M = W \cdot \eta_{\phi} \cdot \xi_m$; $G_{оэ}(P)$ – мгновенное значение эффективного модуля сдвига резины как функция поврежденности [1, 2].

$$G_{оэ}(P) = G_{нач} \left[n + \frac{(1-n)(1-P)(n + \frac{3}{2})}{(n + \frac{3}{2}) + P(1-n)} \right],$$

где $G_{нач}$ - начальное значение модуля при $t = 0$; n - коэффициент, характеризующий увеличение модуля сдвига за счет поврежденности, $n = 1,25$.

Для рассматриваемого случая (зона умеренного износа):

$$G_{оэ} = (2,6 \div 3,1) \cdot 10^6 \text{ Па}; \Delta P_{кр} = (3,5 \div 3,7) \cdot 10^{25} \text{ 1/м}^3;$$

$$\psi = 0,48 \div 0,62; \xi_m = 0,62; \eta_{\phi} = 1,25; \varepsilon_0 = 0,3;$$

$$T = 345 \text{ К}; W = (2,2 \div 3,6) \cdot 10^{-15} \text{ Дж/К};$$

$$N_{кр}^* = 2,48 \cdot 10^8 \text{ циклов.}$$

Если сравнить данные, полученные двумя различными способами, то получим, что резиновая футеровка подвергалась воздействию шаров с частотой примерно

$$f = \frac{2,48 \cdot 10^8 \text{ циклов}}{2,42 \cdot 10^7 \text{ с}} = 10 \text{ циклов/с}$$

что не противоречит инженерным наблюдениям и подтверждает правильность расчета t^* по кинетическому уравнению.

Примечание: Приведенные алгоритмы расчетов времени разрушения имеют ориентировочный характер по следующим причинам: процесс разрушения рассматривался интегрально без выделения фаз усталостного и абразивного характера разрушения; в уравнениях отсутствует такая важная характеристика резины как износостойкость – она входит в интегральную характеристику $\Delta P_{кр}$ или W ; не учтена фаза отдыха – а она составляет 50% и более от времени эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чижик Е.Ф., Дырда В.И. Феноменологическая модель разрушение резины при абразивно-усталостном износе // Геотехническая механика. -1999. -№11. -С. 226-257.
2. Чижик Е.Ф. Определение максимальной допускаемой нагрузки в резиновых деталях машин // Геотехническая механика. -1999. -№ 11. -С. 180-198.
3. Чижик Е.Ф., Дырда В.И. Современные представления о критериях разрушения твердых деформируемых тел // Геотехническая механика. -1999. -№ 11. –С. 198-226.
4. Дырда В.И., Твердохлеб Т.Е., Чижик Е.Ф. Реология упруго-наследственных сред // Геотехническая механика. -1999. -№ 11. –С. 257-347.

5. Дырда В.И., Чижик Е.Ф., Кияшко В.И., Карачабан Н.Г., Резиновые детали в инженерной практике. – Днепропетровск: Полиграфист, 1998. -305 с.
6. Дырда В.И. Прочность и разрушение эластомерных конструкций в экстремальных условиях. –Киев: Наукова думка, 1988. –232 с.

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ РЕЗИНОВЫХ И РЕЗИНОАРМИРОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Хорольский М.С., УНИКТИ «ДИНТЭМ», г. Днепропетровск

Учитывая уникальные свойства резины как конструкционного материала, практически ни одна отрасль народного хозяйства не может обойтись без применения резинотехнических изделий (РТИ), комплектующих различные узлы и агрегаты. Особенно широко РТИ используются в машиностроении, где устанавливается большое число РТИ для виброизоляции и герметизации подвижных (с возвратно-поступательным и/или вращательным движением), неподвижных и периодического действия соединений. Для этой цели чаще всего применяются кольца, манжеты, сальники, резинометаллические клапаны, прокладки, виброизоляторы и др.

В данной работе рассмотрены конструктивные и технологические особенности крупногабаритных уплотнителей манжетного типа и резиновых и резиноармированных виброизоляторов. Под термином крупногабаритные подразумеваются изделия, линейный размер или диаметр которых превышает 800 мм или по массе резины – более 1 кг.

Крупногабаритные манжетные уплотнители для герметизации больших кольцевых размеров. В последние годы в различных отраслях народного хозяйства значительно возрос спрос на крупногабаритные резинотехнические изделия (КГ РТИ) преимущественно для герметизации больших кольцевых зазоров.

Известно, что в системах пневмогидроавтоматики [1, с.239; 2, с.423; 3, с.508] широко используются уплотнители для герметизации подвижных и неподвижных соединений, в которых герметизируемые зазоры не превышают 200÷300 мкм, а габариты уплотняемых устройств редко превышают 500 мм. Для более крупных объектов уплотнительных устройств с резиновыми уплотнителями практически не существовало.

Традиционные уплотнительные устройства манжетного типа состоят, как правило, из штока, корпуса, манжетного уплотнителя, манжетодержателя (распорного кольца) и фиксирующих элементов, хотя последние применяются не всегда. Если давление рабочей среды достаточно высокое (более 10 МПа), то для предотвращения выдавливания уплотнителя в зазор устанавливаются фторопластовые прокладки или шайбы [4 с.198]. При этом уплотнитель может устанавливаться, либо в корпусе, либо на штоке свободно и держится в посадочном месте за счёт сил трения. Однако с увеличением габаритов уплотнительного устройства и уплотняемого зазора известные устройства не приемлемы. Отсутствие стабильного положения уплотнителя в посадочном месте не позволяет обеспечить надежную герметизацию, и даже наблюдаются случаи выдавливания