

УДК 621.928.236.678.02

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗИНОВОЙ ФУТЕРОВКИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ МАШИН

Надутый В.П. Институт геотехнической механики  
НАН Украины

Резиновая футеровка рабочих органов машин и устройств, таких как конвейеры, питатели, кузова, бункера и т.д., находит широкое применение, особенно в горной и металлургической промышленности. Механическое воздействие на футеровку характеризуется тремя видами нагружения: 1) циклическое, например, на виброконвейерах и вибропитателях; 2) импульсное, сосредоточенное в малой площади контакта, проявляющееся при ударе и характеризующееся большими деформациями и удельными нагрузками; 3) интенсивное трение в условиях дискретного контакта в потоке абразива. Условия эксплуатации резиновой футеровки требуют, чтобы резина обладала высокими прочностными характеристиками. Циклическое нагружение, например, по гармоническому закону усиливает виброреологические эффекты, и для расчета деталей при этом виде нагружения возникает необходимость определения не только величины деформации (амплитуды нагружения) или равновесного значения модуля  $G_{\infty}$ , но и динамического модуля  $G_{(\omega)}$ , а при учете демпфирующих свойств - коэффициента диссипации энергии  $\psi_{(\omega)}$  или пропорциональный ему параметр  $tg\delta_{(\omega)}$ , обусловленных вязкостью резины и характеризующих угол сдвига фаз между приложенным напряжением и деформацией». Причем эти величины существенно зависят от скорости нагружения (частоты деформации), поскольку для изготовления футеровки, как правило, используются саженаполненные резины, имеющие явно выраженную физическую нелинейность и реологические свойства.

При импульсном нагружении, например, при ударе, что характерно для целого ряда горных машин и устройств, деформации резины наступают за короткий промежуток времени и динамический модуль стремится к своему мгновенному значению  $G_0$ , а диссипация энергии проявляется в меньшей мере, чем при циклическом нагружении. В этом случае следует учитывать значительное увеличение площади контакта соударения по сравнению с жестким ударом и снижение удельной нагрузки.

Интенсивное трение футеровки в условиях дискретного контакта в потоке абразива может быть представлено моделью воздействия острого и гладкого инденторов на резину. Именно формой индентора и определяется механизм износа футеровки: абразивный или усталостный, поскольку характер деформации и разрушения поверхностного слоя резины при износе различен. Общим при усталостном и абразивном износе является то, что во время движения индентора по поверхности резины впереди него образуется валик, характеризующий зону сжатия поверхностного слоя, а за ним - зона растяжения или зона наибольших напряжений. Поскольку механизм износа в значительной степени определяется формой индентора, то наблюдения показывают, что при гладкой его поверхности во время движения по футеровке за ним в результате перенапряжений образуются раздиры поверхностного слоя и микротрещины, находящиеся в нем. Эти раздиры в виде поперечных полос характеризуют усталостный механизм износа. При остром инденторе также возникают растягивающие напряжения, вызывающие раздиры поверхностного слоя, только здесь они сконцентрированы в малой площади контакта и имеют значительную удельную нагрузку при одной и той же приложенной силе, поэтому более разрушительны.

Таким образом, при всех видах деформаций резиновой футеровки важно подобрать ее физико-механические харак-

теристиками, соответствующие характеру нагружения. Наиболее предпочтительными методами определения деформационных характеристик являются статический, например, получение кривых ползучести или релаксации на натуральных образцах и динамический, регистрирующий циклическое изменение силы и деформации. На примере трех марок резин были определены их статические и динамические характеристики, которые представлены в табл. 1 и табл. 2.

Таблица I

Характеристики резин, определяемые по кривым ползучести

Шифр резины	Нагрузка на образец, $\sigma \cdot 10^5$ , Н/м <sup>2</sup>	Характеристики резин						
		$\alpha$	$\beta$	$\lambda$	$G_0 \cdot 10^5$ , Н/м <sup>2</sup>		$G_\infty \cdot 10^5$ , Н/м <sup>2</sup>	
					теор.	эксп.	теор.	эксп.
1801	0,8	0,788	0,33	1,0	33,6	35,0	16,3	16,0
6252	0,6	0,769	0,337	0,32	11,28	12,3	8,5	9,8
2Э1102	1,03	0,839	0,452	2,61	42,2	40,0	12,0	12,8

Характеристики  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\lambda$  являются реологическими параметрами резин, определяемыми как параметры дробно-экспоненциальной функции А.П. Бронского, а  $G_0$  и  $G_\infty$  - мгновенный и равновесный модули сдвига [1]. Для всех марок резин наблюдается существенное отличие их значений, что свидетельствует о проявлении реологических свойств.

Динамические характеристики определялись при циклическом деформировании при пяти различных частотах. Результаты представлены в табл. 2.

Характеристики резин, определяемые при циклическом деформировании

Шифр резины	$\omega$ , 1/с	Характеристики резин						
		A	B	$\lambda'_{cp}$	$tg\delta$		$G_{\omega} \cdot 10^5$ , Н/М <sup>2</sup>	
					теор.	эксп.	теор.	эксп.
1801	50	0,117	0,037	16,1	0,23	0,21	22,2	21,38
	70	0,11	0,035		0,218	0,203	22,9	22,3
	80	0,1	0,034		0,187	0,209	23,1	23,62
	95	0,1	0,033		0,181	0,203	23,3	23,68
	125	0,09	0,03		0,17	0,197	23,7	25,28
6252	50	0,067	0,037	15,99	0,2	0,158	10,65	10,29
	70	0,06	0,033		0,199	0,145	11,0	10,36
	80	0,058	0,032		0,115	0,142	11,38	10,7
	95	0,054	0,03		0,1	0,135	11,52	10,9
	125	0,05	0,028		0,07	0,129	11,75	11,13
2Э1102	50	0,194	0,045	17,82	0,185	0,179	20,1	19,73
	70	0,185	0,043		0,181	0,178	20,6	20,5
	80	0,18	0,042		0,177	0,176	21,3	21,29
	95	0,176	0,04		0,174	0,172	21,4	21,35
	125	0,17	0,039		0,172	0,172	21,8	21,9

Параметры  $A$  и  $B$  являются синус и косинус преобразованиями к дробно-экспоненциальному ядру А.П. Бронского [1,2],  $tg\delta$  - угол сдвига фаз между силой и деформацией, пропорционален коэффициенту диссипации энергии. Теоретически параметры резин определялись в соответ-

вни с методами, изложенными в работах [1,2].

Таким образом, определенные деформационные характеристики резин существенно зависят от скорости нагружения. Сравнение расчетных и экспериментальных значений параметров свидетельствует о том, что применяемая дробно-экспоненциальная функция А.П. Бронского для моделирования релаксационных процессов в саженаполненных резинах отвечает требованиям достоверности. Определяемые при этом механические характеристики резин: модуль сдвига и его значения при различной скорости нагружения, коэффициент диссипации энергии, определяемый через тангенс угла сдвига фаз между силой и деформацией являются достаточными для силового расчета элементов футеровки с учетом вязко-упругих свойств резины.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Потураев В.Н., Дырда В.И., Круш И.И. Прикладная механика резины. - Киев: Наук.думка, 1975. - 214 с.
2. Потураев В.Н., Дырда В.И., Надутый В.П. Резина в горном деле. - М.: Недра, 1974. - 150 с.