

$$\begin{aligned}
 f_2 &= 0,55(\gamma_c - 0,23), \\
 f_3 &= 0,075(23,3 - \bar{a}), \\
 f_4 &= 0,5(\gamma_3 + 1,5), \\
 f_5 &= 2(0,7 - \delta),
 \end{aligned}$$

запишем окончательный результат

$$T = k_2 S(\bar{\Delta} - 0,17)(\bar{\gamma}_c - 0,035)(23,3 - \bar{a})(\bar{\gamma}_3 + 0,192)(3,5 - \bar{\delta}), \quad (10)$$

где $\bar{\gamma}_c = \frac{\gamma_c}{\gamma_n}$, $\bar{\gamma}_3 = \frac{\gamma_3}{\gamma_n}$, $\bar{\delta} = \frac{\delta}{\delta_k}$, $k_2 = 1,0$ кг/см².

Аналогично можно найти зависимость масштабного коэффициента по деформации от исходных параметров материала

$$a = \frac{10 \sigma_{тн} H_c}{E_n} [(4 - 7,8\bar{\gamma}_c)(0,22 - 1,1\bar{\gamma}_3 + 0,005\bar{a}) + 0,78\bar{\gamma}_c - 0,3], \quad (11)$$

где H_c — высота упругого элемента.

Рассмотренный способ описания упруго-демпфирующих свойств материала МР и зависимости (5), (8), (10), (11) могут быть использованы для расчета простейших амортизаторов и демпферов из материала МР, работающего на сжатие в направлении силы прессования, без учета линейных нагрузок, действующих на амортизирующий объект.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазуткин Г. В., Трубин В. Н., Тройников А. А. О подобии диссипативных систем по упруго-фрикционным характеристикам. В сб.: «Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов». КуАИ, 1975, вып. 1(68), стр. 50—52.
2. Тройников А. А. К вопросу о прочности материала МР при сжатии. В сб.: «Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов». КуАИ, 1975, вып. 1(68), стр. 52—54.
3. Пановко Я. Г. Основы прикладной теории упругих колебаний. «Машиностроение». М., 1967.

А. А. ТРОЙНИКОВ

НЕКОТОРЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ УПРУГИХ СВОЙСТВАХ МАТЕРИАЛА МР

Упругие возможности материала МР при сжатии можно оценить величиной упругого восстановления [1]. Однако дефор-

мация, реализуемая в процессе нагружения, не всегда полностью обратима и в зависимости от величины приложенной нагрузки может иметь значительную необратимую составляющую. Поэтому для характеристики упругих свойств материала необходимо знать соотношение обратимой и необратимой (остаточной) составляющих полной деформации, а также их зависимость от исходных параметров материала [2].

Деформация материала под действием приложенной нагрузки сопровождается упруго-пластическим деформированием элементов (витков) и их взаимным проскальзыванием. После снятия нагрузки элементы под действием упругих сил стремятся занять исходное положение, но их начальное состояние изменяется, оно выражается в появлении остаточных деформаций. По мере увеличения числа циклов «нагрузка-разгрузка» происходит увеличение остаточной (Y_0) и уменьшение обратимой (Y) деформаций. Через определенное количество циклов зависящее от структуры материала и силы нагружения соотношение между составляющими полной деформации стабилизируется. В дальнейшем вместо абсолютных значений обратимой и остаточной деформации (Y_i) будет удобнее использовать их относительные величины $\bar{Y}_i = \frac{Y_i}{H_c}$, где H_c — высота образца в ненагруженном состоянии.

Изменение упругих свойств материала в процессе циклического деформирования приводит к необходимости рассматривать два его состояния: стабилизированное, при установившемся состоянии структуры, и начальное, определяемое первым циклом нагружения.

Для нахождения зависимости обратимой деформации от исходных параметров материала испытывались образцы в виде цилиндра, втулки, призмы. Первоначально определялось наибольшее значение начальной относительной обратимой деформации (\bar{Y}_n), а после «тренировки» — стабилизированное (\bar{Y}_c). В результате математической обработки результатов эксперимента [2] были получены соотношения, позволяющие установить связь \bar{Y}_n , \bar{Y}_c с исходными параметрами материала:

$$\bar{Y}_n = \frac{[(4,0 - 7,8\bar{p}_c)(0,22 - 1,1\bar{p}_3 + 0,005\bar{a}) + 0,78\bar{p}_c - 0,3] \sigma_{ти}}{0,6 \cdot E_n \cdot 10^{-2}}, \quad (1)$$

$$\bar{Y}_c = 3,35\bar{Y}_n \left\{ 0,52 - \left[0,144 \left(1,13 \cdot 10^{-3} \left(\frac{p_n - p_B}{p_3} \right)^2 - \right. \right. \right.$$

$$- 0,06 \frac{P_H + P_B}{P_3} + 1) \left] \left(\frac{P_C}{P_3} + 0,5 \right) \right\}, \quad (2)$$

где
$$\bar{V}_H = 0,07 + 54 \frac{\sigma_{TH}}{E_H} - 2,58 \cdot 10^3 \left(\frac{\sigma_{TH}}{E_H} \right)^2$$

— величина, названная упругой постоянной исходного материала проволоки. Область ограничения (1, 2) устанавливается пределами изменения исходных параметров материала.

В ряде случаев определение предела текучести и модуля упругости исходного материала проволоки требует больших затрат времени и специального оборудования. Поэтому упругую постоянную целесообразнее определять непосредственно из эксперимента путем определения относительной величины обратимой деформации для контрольного образца [2]. Этот способ наиболее полно определяет упругие свойства исходного материала, обладает высокой точностью и не требует дополнительного оборудования. Кроме того, представляется возможным учитывать и другие факторы, влияющие на упругие свойства материала, такие, как смазка, состояние спирали после навивки и способ изготовления упругих элементов. Для некоторых марок проволоки, применяемой при изготовлении изделий из МР, величины упругих постоянных приводятся в таблице.

Материал	Диаметр проволоки, мм	ГОСТ, ТУ	Упругая константа	Примечание
X18H10T	0,2	5548—50	0,290	твердая
X18H10T	0,2	5548—56	0,170	мягкая
ЭИ708	0,15	910—63	0,315	
ЭП322	0,09	267—69	0,346	
ОВС	0,5	9389—60	0,350	пружинная
X20H80	0,2	8803—58	0,164	

Из анализа (1), (2) следует, что на величину обратимой деформации существенное влияние оказывает плотность материала. При изменении ρ_c от 0,5 до 2,5 (для образцов с плотностью заготовки $\rho_3=0,3$) \bar{Y}_n изменяется от 0,55 до 0,29, а \bar{Y}_c — от 0,45 до 0,27. Влияние других параметров выражено значительно слабее.

Деформирование материала, начиная с первого цикла нагружения, неразрывно связано с необратимыми процессами. Остаточная деформация при этом появляется даже при незначительных нагрузках. Причина ее возникновения связана с наличием сил трения между элементами, пластическими деформациями отдельных элементов или групп и изменением их взаимного расположения (переориентацией). На рис. 1 приведена зависимость относительной остаточной деформации $\bar{Y}_{он}$ от относительной силы нагружения \bar{P} при различных плотностях материала,

где $\bar{P} = \frac{P}{P_{пр}}$,

P — сила нагружения,

$P_{пр}$ — сила прессования.

Специальными экспериментами установлено, что при изменении относительной силы нагружения в пределах $0 \div 0,05$ остаточная деформация обусловлена, в основном, силами трения, в пределах $0,15 \div 0,25$ преобладают пластические деформации, а в пределах $0,05 \div 0,15$ существует более пологий участок характеристики. Вероятно, в этой области упругие силы витков преодолевают силы трения и дальнейшего заклинивания не происходит, а приложенной внешней нагрузки достаточно только для пластического деформирования отдельных элементов, находящихся в напряженном состоянии после прессования. Этот участок наиболее благоприятен для стабилизации упругих свойств материала, поскольку сила нагружения достаточно велика, а необратимые процессы развиваются сравнительно медленно. Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к интенсивному росту остаточной деформации, при этом материал практически теряет свои упругие свойства.

Стабилизация свойств материала при тренировке сопровождается переориентацией наиболее нагруженных элементов и изменением соотношения между обратимой и остаточной деформациями (рис. 2). Величина дополнительной усадки ($\bar{Y}_{ос}$) в этом случае равна разности между обратимыми деформациями

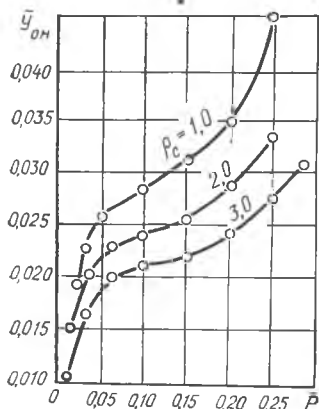


Рис. 1. Зависимость относительной остаточной деформации от относительной силы нагружения при различных плотностях материала

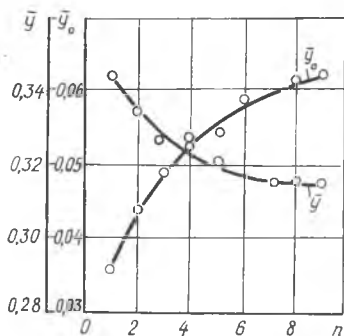


Рис. 2. Изменение относительной обратимой и остаточной деформаций в процессе стабилизации упругих свойств материала

до и после тренировки образца ($\bar{Y}_{ос} = \bar{Y}_n - \bar{Y}_c$), а суммарная величина остаточной деформации запишется в виде $\bar{Y}_о = \bar{Y}_{он} + \bar{Y}_{ос}$.

Число циклов нагружения, необходимое для стабилизации упругих свойств материала, зависит, в основном, от приложенной нагрузки. Практически 5—10 циклов оказывается достаточно, чтобы соотношение между составляющими полной деформации в дальнейшем сохранялось постоянным.

В результате исследования упругих свойств материала МР представилось возможным установить количественные соотношения между обратимой и остаточной деформациями, а также их зависимость от исходных параметров материала. Полученные результаты могут послужить базой для расчета упругих характеристик некоторых изделий из материала МР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шай морданов Л. Г. Элементы теории и расчет статических характеристик изделий из материала МР. Материалы научно-технической конференции, Куйбышев, 1973.
2. Тройников А. А., Трубин В. Н., Лазуткин Г. В. К вопросу об упруго-демпфирующих свойствах материала МР. Статья в настоящем сборнике.