

нимум, находящийся в зоне $\gamma_0 = 0,15 - 0,2$. Можно отметить также, что с увеличением относительного диаметра спирали материала МР μ_p уменьшается.

Л и т е р а т у р а

1. Бузицкий В.Н., Соифер А.М. Цельнометаллические упруго-демпфирующие элементы, их изготовление и применение. - В сб.: Вибрационная прочность и надежность авиационных двигателей. Труды КуАИ, 1965, вып. XIX.
2. Лазуткии 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. Труды КуАИ, 1975, вып. I(68).

А.А.Тройников

СТАБИЛЬНОСТЬ УПРУГИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА МР ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ЦИКЛИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

Изменение упругих свойств материала МР при длительном циклическом деформировании выражается в увеличении остаточной деформации (динамической усадки), представляющей собой разность между высотой статической тренированного образца до и после испытаний.

Учет динамической усадки необходим при проектировании изделий из материала МР, в частности втулочных амортизаторов, для нормальной работы которых в течении всего ресурса должно соблюдаться условие

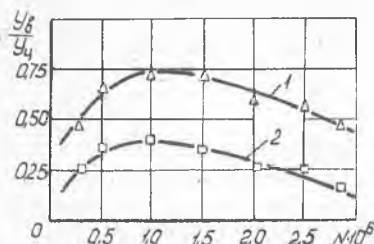
$$A + U_d \geq \Delta, \quad (I)$$

где A - амплитуда деформации; U_d - динамическая усадка; Δ - осевой натяг упругих элементов.

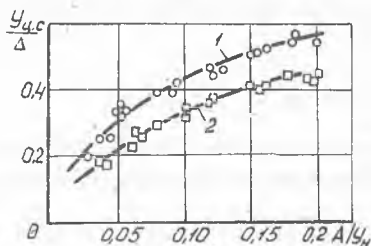
Невыполнение условия (I) приводит к появлению периодической расстыковки упруго-демпфирующих элементов и прогрессирующему усталостному разрушению материала.

Начиная с первых циклов нагружения, температура образца постепенно увеличивается и, в зависимости от амплитуды деформации, частоты и длительности нагружения, достигает 150-350°C. Повышение температуры приводит к выгоранию смазки и увеличению коэффициента трения в точках

контакта элементов (витков спирали). Граничное трение переходит в сухое, а при жестких режимах трения (высокие уровни вибраций, большие удельные давления и т.д.) внешнее трение переходит во внутреннее, поверхности контакта элементов схватываются, а их относительное перемещение сопровождается значительным повреждением поверхностей и образованием зон износа. Все это приводит к тому, что после снятия нагрузки образец не восстанавливает свою первоначальную форму, поскольку сил упругости элементов оказывается недостаточно, чтобы преодолеть возросшие силы трения в контактах и вернуть элементы в исходное положение. Однако при последующем введении смазки в зону контакта (например, путем погружения образца в жидкое масло) усадка образца восстанавливается на 25-35% (рис. 1) в зависимости от числа циклов наработки N (Y_g - обратимая составляющая динамической усадки). Из рис. 1



Р и с. 1



Р и с. 2

также следует, что статически стабилизированные образцы (1) менее подвержены необратимым процессам при длительном нагружении по сравнению с нестабилизированными (2).

Дальнейшее увеличение числа циклов деформирования (свыше $1,0 \cdot 10^6 - 1,5 \cdot 10^6$) приводит к развитию зон износа. Начинается процесс перехода обратимой усадки, вызванной увеличением коэффициента трения, в необратимую, связанную с появлением устойчивых связей между элементами материала. Поэтому при разработке мероприятий по снижению динамической усадки, вызванной износом, необходимо уменьшать силы трения между элементами в местах контактов, чтобы препятствовать образованию и развитию зон износа.

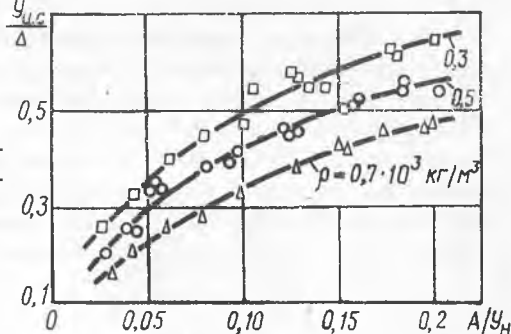
На рис. 2 приведена зависимость усадки от режима нагружения для образцов, испытанных в обычных условиях (1) и в масляной ванне (2).

Применение дополнительной смазки позволило снизить усадку на 15-20% в зависимости от режима нагружения, определяемого отношением амплитуды деформации к предельной деформации образца Y_n .

Другими факторами, вызывающими усадку материала при циклическом деформировании, являются пластическая деформация элементов в связи со снижением упругих свойств материала проволоки при воздействии высоких температур и виброукладка отдельных элементов или групп элементов.

Возникновение виброукладки связано с существованием "срывного" гистерезиса в материале, проявляющегося в срыве отдельных элементов или групп с одного контакта на другой. В процессе наработки эти "срывы" приводят к переориентации элементов, изменяют структуру материала и способствуют его уплотнению. Для уменьшения усадки, вызванной пластической деформацией элементов, необходимо выбирать материал проволоки, более устойчивый к воздействию высоких температур, а для снижения эффекта "срывного" гистерезиса следует применять упругие элементы с большими плотностями заготовок, что позволит снизить величину динамической усадки на 20-25% (рис. 3).

По истечении определенного времени наработки, зависящего от режима трения, в результате износа уменьшаются сдавливающие нагрузки и силы трения в местах контактов элементов. Это сопровождается понижением температуры образца и снижением темпа увеличения динамической усадки. Экспериментально установлено, что характер изменения динамической усадки, зависящей от числа циклов деформирования, определяется по формуле

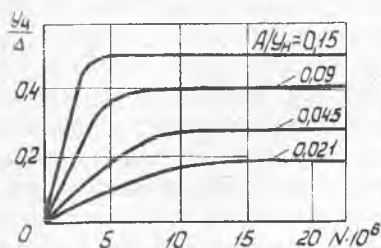


Р и с. 3

$$\frac{Y_d}{Y_{d.c}} = 1 - e^{-4N/N_c}$$

Количество циклов деформирования, при котором наблюдается снижение температуры вибронагрева образца и существенное уменьшение прироста усадки, можно назвать числом циклов стабилизации N_c , а время, в течении которого усадка достигла своего стабилизированного значения $Y_{d.c}$ — временем стабилизации.

Время и число циклов стабилизации зависят от условий и режима деформирования образца. Из графика (рис. 4) следует, что меньшей амплитуде деформации соответствует большее время стабилизации. После динамической стабилизации усадка продолжает увеличиваться, но величина прироста незначительна и не превышает 10-15% (рис. 4).



Р и с . 4

Величина стабилизированного значения усадки при нормальных условиях нагружения (в пределах допустимой деформации материала, без дополнительной смазки, при температуре 0-150⁰С) в основном определяется амплитудой деформации и плотностью заготовки

$$\frac{y_{4c}}{\Delta} = 1,8 \sqrt{\frac{A}{y_H}} \left(1 - 4,6 \frac{\rho_3}{\rho_u} \right),$$

где ρ_3 - плотность заготовки упругого элемента; ρ_u - плотность исходного материала проволоки.

Таким образом, причинами возникновения динамической усадки являются увеличение коэффициента трения и износ в местах контактов элементов материала, а также пластические деформации элементов в связи с их виброукладкой и виброразогревом. Поэтому для повышения стабильности упругих свойств материала и увеличения вибропрочности упругих элементов необходимо стремиться в первую очередь снижать силы трения в контактах, поскольку именно они определяют износ элементов и температурный режим образца при длительном циклическом нагружении.