

риода, то погрешность умножителей достигает $\pm 10\%$ от величины амплитуды роторной гармоники. Это соизмеримо с изменением амплитуды и фазы роторной гармоники, вызванным зазором в подшипнике опоры.

С целью исключения погрешности, связанной с динамикой агрегатов, в качестве опорного генератора для следящего анализатора роторной гармоники используется управляемый делитель текущего временного интервала.

Принцип работы этого делителя основан на вычислении длительности предстоящего периода по двум измеренным предыдущим периодам. Применение управляемого делителя текущего временного интервала исключило погрешность умножителей и дало возможность однозначно связать результат измерения с зазорами в подшипниках опор.

Устройство для определения состояния опор роторов включает также измерители средних значений нестационарных сигналов [4], позволяющие определять результат измерения в течение одного периода, и схему сравнения полученных результатов за 2-3 последовательных оборота ротора.

Л и т е р а т у р а

1. Брановский М.А., Лисицын И.О., Сивков А.П. Исследование и устранение вибраций турбоагрегатов. - М.: Энергия, 1969, с. 82.

2. МЕРА ЮА. *Shock pulse meter manual*, "SKF". 1971.

3. А.с. 771473 (СССР). Способ контроля состояния подшипников качения в процессе эксплуатации и устройство для его реализации. /С.И.Захаров. - Опубл. в Б.И., 1980, № 38.

4. А.с. 1073706 А (СССР). Способ измерения средних значений нестационарных сигналов /В.А.Медников, А.Н.Порьнов, В.А.Олейников.- Опубл. в Б.И., 1984, № 6.

УДК 621.824; 62.762

Ф.В.Наравай, В.А.Борисов

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЬЦЕВЫХ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ МР

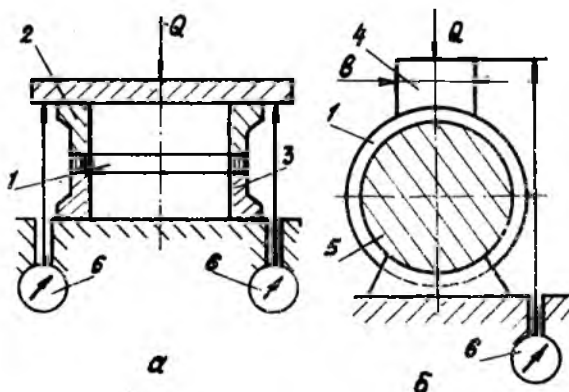
Кольцевые упругие элементы из МР широко используются в уплотнениях и виброгасителях для восприятия радиальных нагрузок. Перспективным способом получения таких элементов является осевое прессование, не требующее сложной оснастки. Однако при этом способе не обеспечи-

вается совпадение направления рабочей деформации упругих элементов с направлением прессования, в котором материал МР имеет лучшие упругие свойства [1].

В настоящей работе представлены результаты исследований, целью которых был подбор параметров МР, обеспечивающих удовлетворительные свойства кольцевых упругих элементов в радиальном направлении при изготовлении их осевым прессованием. До сих пор свойства материала МР в направлении, перпендикулярном прессованию, изучены недостаточно. Исследование их может открыть новые возможности применения упругих элементов из МР.

Особенностью данной работы являлось то, что исследовались упругие элементы, полученные механизированным способом на укладочном станке, разработанном авторами [2]. Такой способ наиболее перспективен для изготовления кольцевых деталей и помимо высокой производительности обеспечивает стабильную структуру проволочного материала.

Методика исследования заключалась в снятии с кольцевых образцов деформационных характеристики $q=f(\epsilon)$ (рис.1) в осевом направлении, совпадающем с направлением прессования, и в радиальном направлении.



Р и с. 1. Схема нагружения образцов в осевом (а) и радиальном (б) направлениях: 1-образец; 2,3,4-пуансоны; 5-оправка; 6-индикаторы перемещений

При этом q - удельная нагрузка в МПа, ϵ - относительная деформация сечения образца в соответствующем направлении. Нагружение образцов проводилось до максимальной нагрузки $q_{max} = 2$ МПа, что соответствует условиям нагружения упругих элементов уплотнений.

При определении характеристик в радиальном направлении для упругости эксперимента использовалось плоскопараллельное нагружение на участке $\delta = 20$ мм (см. рис. 1, б). Погрешность, вызванная отличием такого нагружения от радиального, для колец диаметром 50 мм не превышала 10%. В каждом опыте проводилось семь нагружений образцов до ϵ_{max} . Получаемая при этом остаточная деформация $\epsilon_{ост}$ использовалась для характеристики склонности образцов к усадке. Зависимость $q = f(\epsilon)$, полученная после тренировки образцов, аппроксимировалась выражением [3]

$$q = \frac{A\epsilon}{1 - a\epsilon},$$

где постоянные A и a , характеризующие жесткость и упругость материала МР, определялись методом наименьших квадратов.

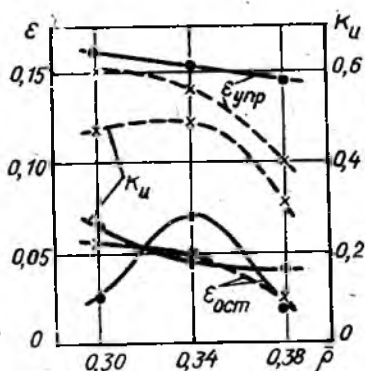
Для оценки свойств упругих элементов использовались следующие параметры: остаточная деформация $\epsilon_{ост}$, упругая деформация, принимаемая равной $\epsilon_y = 0,95/a$, и коэффициент энергоемкости [4]

$$K_u = 11,8 \frac{AE}{a^2 \sigma_y^2},$$

где E и σ_y — соответственно модуль и предел упругости материала проволоки. Коэффициент K_u показывает отношение максимальных потенциальных энергий, накапливаемых в единице объема упругого элемента и сплошного материала при его сжатии.

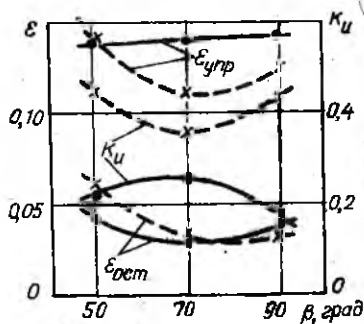
Упругие элементы были изготовлены из проволоки ЭИ-708 ВИ диаметром $d = 0,09$ мм, навитой в спираль диаметром $D = 1,0$ мм. Шаг растяжения спирали $h = 0,8; 1,0; 1,2$ мм и угол перекрещивания ее при укладке заготовки $\beta = 50; 70; 90^\circ$ обеспечивались настройкой станка. Плотность заготовок составляла $\rho_s = 0,15$ г/см³ с допуском $\pm 10\%$, плотность упругих элементов $\rho = 2,4; 2,7; 3,0$ г/см³. В эксперименте, спланированном по латинскому квадрату, испытывалось 27 образцов. На приведенных ниже графиках показаны средние значения исследуемых величин.

На рис. 2 показано влияние относительной плотности образцов на их характеристики (под относительной плотностью понималось отношение $\bar{\rho} = \rho/\rho_M$, где $\rho_M = 7,9$ г/см³ — плотность материала проволоки). Как видно из графика, с увеличением плотности упругая деформация МР и коэффициент энергоемкости падает. Причем при $\bar{\rho} = 0,30 - 0,34$ упругие деформации в осевом и радиальном направлениях различаются всего на 8 - 10%. При $\bar{\rho} > 0,34$ начинает заметно про-



Р и с. 2. Зависимость характеристик образцов от относительной плотности МР:

—•— в осевом направлении;
—x— в радиальном направлении

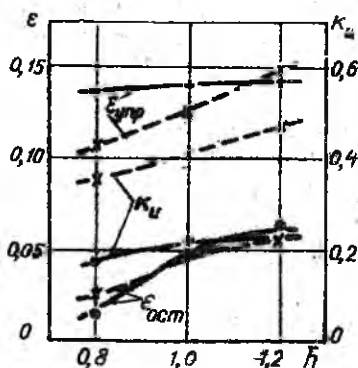


Р и с. 3. Зависимость характеристик образцов от угла перекрещивания спирали в заготовке:
—•— в осевом направлении;
—x— в радиальном направлении

являться анизотропия упругих свойств МР, что выражается в более быстром падении $\epsilon_{упр}$ и K_u в радиальном направлении.

Как известно, склонность материала к усадке уменьшается с увеличением плотности. Из графика видно, что с увеличением плотности снижается и разница между $\epsilon_{ост}$ в двух направлениях.

Угол перекрещивания спирали при укладке заготовки определяет ориентации плоскостей витков спирали относительно направления прессования. Использование механизированной укладки позволило существенно увеличить угол β и точно выдерживать его величину. Из рис. 3 сле-



Р и с. 4. Зависимость характеристик образцов от относительного шага растяжения спирали:
—•— в осевом направлении;
—x— в радиальном направлении

дует, что β в большей степени влияет на характеристики упругих элементов в радиальном направлении. С увеличением угла уменьшается усадка. При $\beta = 90^\circ$ для радиального направления получено максимальное соотношение упругой и остаточной деформаций. Поэтому для радиальных упругих элементов можно рекомендовать $\beta = 70 - 90^\circ$.

Укладочный станок обеспечивает шаг растяжения спирали с точностью $\pm 5\%$. Это позволило провести исследование оптимального относительного шага растяжения спирали $\bar{h} = h/D$. Как видно (рис. 4), с увеличением \bar{h} до 1,2 наблюдается незначительный рост упругой деформации и коэффициента энергоемкости. Однако одновременно растет и остаточная деформация. Отношение $\epsilon_y/\epsilon_{ост.}$ максимально при $\bar{h} = 0,8$. Кроме того, при $\bar{h} = 0,8$ структура поверхности упругого элемента оказывается более равномерной. Поэтому при изготовлении упругих элементов целесообразно обеспечивать $\bar{h} = 0,8 - 0,9$.

Коэффициент энергоемкости упругих элементов в радиальном направлении в 1,5 - 2,5 раза выше, чем в осевом, что объясняется более высокой жесткостью материала в направлении, перпендикулярном прессованию. Это позволяет обеспечить достаточные уровни контактного давления при использовании упругих элементов в радиальных уплотнениях.

В результате проведенных исследований установлено:

1. Существенная анизотропия упругих свойств кольцевых элементов из МР наблюдается при $\bar{\rho} > 0,3 - 0,32$ ($\rho > 2,4 - 2,5$ г/см³).
2. Коэффициент энергоемкости упругих элементов из материала МР в радиальном направлении выше, чем в осевом, в 1,5 - 2,5 раза.
3. Для изготовления радиальных упругих элементов уплотнительных колец можно применять осевое прессование при $\bar{\rho} < 0,32$ ($\rho < 2,5$ г/см³). Для получения упругих элементов следует при укладке заготовки выдерживать $\beta = 80 \pm 5^\circ$, $\bar{h} = 0,8 - 0,9$.

Л и т е р а т у р а

1. Тройников А.А., Трубин В.Н., Лазуткин Г.В. К вопросу об упругодемпфирующих свойствах материала МР. - В сб.: Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем детальных аппаратов. - Куйбышев: КуАИ, 1975, вып. 2, с. 60-65.
2. Борисов В.А., Паровой Ф.В. Исследование радиальных уплотнений с упругим элементом из МР. - В сб.: Вибрационная прочность и надежность авиационных двигателей. Тезисы УИ Всесоюзной научно-технической конференции. - Куйбышев: КуАИ, 1981, с. 25.
3. Борисов В.А. Выбор эмпирической зависимости для описания деформации слитка материала МР. - В сб.: Материалы научно-технической конференции. - Куйбышев: КуАИ, 1972, с. 252-253.
4. Паровой Ф.В. Разработка методов сравнения и оценки упругих устройств уплотнений. - В сб.: Вопросы прикладной механики в авиационной технике. - Куйбышев: КуАИ, 1980, ч. II, с. 21-33. Рукопись деп. в ВИНИТИ 18.03.1981, № I210-81.