

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА МР

Паровой Ф.В., Борисов В.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

В изделиях из МР часто наблюдаются релаксационные явления: усадка деталей под действием постоянной нагрузки и снижение упругого усилия сжатия при постоянной начальной деформации. В значительной степени эти явления ограничивают применение МР в качестве упругих элементов. Однако до последнего времени релаксационные явления в МР при статическом нагружении мало исследованы.

Известно, что в металлах при нагружении в области упругой деформации при нормальной температуре ползучесть и релаксация напряжений весьма малы и ими можно пренебречь. При высокой температуре с релаксацией приходится считаться в пружинах, болтах, прокладках и других деталях. Причём во фланцевых соединениях с металлической прокладкой релаксация напряжений происходит как в болтах, так и в уплотнительной прокладке, что приводит к разгерметизации соединения.

В отличие от металлов при нагружении деталей из МР релаксация напряжений наблюдается и при нормальной температуре. Причинами этого являются следующие особенности материала МР.

При сжатии изделий из МР имеется большая неравномерность в нагрузках, действующих на отдельные проволоочные элементы, образующие МР. Часть этих элементов перегружено и имеет напряжения в местах контактов выше предела текучести. С течением времени в этих местах происходит пластическая деформация и элементы разгружаются. При этом наблюдается усадка изделия или релаксация сжимающего усилия.

Другая причина релаксационных явлений заключается в том, что контакты проволочек в МР представляют собой пары сухого трения. При изменении упругих усилий в контактах изменяется и сила трения, в результате чего в парах трения происходят смещения. Переменное нагружение изделия, вибрации, толчки приводят к скачкообразной усадке или релаксации усилия.

Так как одной из причин падения контактного давления в уплотнениях с упругим элементом из МР является релаксация напряжений, было проведено исследование релаксации на кольцевых образцах МР, изготовленных путём механизированной укладки спирали на специальном станке [1]. Упругое усилие при этом определялось путём разгрузки образца и измерения его упругого восстановления, которые производились через определенные промежутки времени. Однако в процессе разгрузки и при последующем нагружении могло произойти изменение условий

трения в местах контактов, что искажало результаты измерения.

Реологические свойства МР рассматривались в работе А.И. Белоусова и А.А. Тройникова [2], которые считают, что основной причиной релаксации напряжений в МР является изменение во времени коэффициента трения по контактными поверхностям элементов фрикционных пар, образовавшихся в процессе нагружения образца. Подтверждение этому они находят во влиянии на упругофрикционные характеристики МР смазочного материала, наличие которого вызывает изменение величины усилия и деформации на 20...30%.

Поэтому при исследовании релаксации напряжений в МР изменение остаточного упругого усилия необходимо проводить без разгрузки образцов.

Методика исследования

Методика исследования релаксации напряжений разрабатывалась с учетом того, что изделия из материала МР обладают значительной анизотропией механических свойств, вызванной прессованием материала.

Механические свойства изделия из МР оказываются различными в направлении прессования и в поперечном ему направлении. Поэтому для эксперимента были выбраны образцы МР по форме, близкие к кубическим, что позволяло их нагружать как в направлении прессования, так и в поперечном направлении (Рис.1).

Механические свойства этих образцов по осям X и Y были одинаковы (Рис.2), размеры основания $b \times c = 10 \times 10$ мм, высота $h = (9...11)$ мм. Все образцы были изготовлены из проволоки ЭИ-708ВИ диаметром



Рисунок 1 – Внешний вид образцов для проведения исследований

0,09мм, отпрессованы при давлении 130...150 МПа и имели относительную плотность $\bar{\rho} = 0,3$ и $0,35$. Здесь $\bar{\rho} = \rho_{\text{MP}} / \rho$, где ρ_{MP} - плотность материала МР, ρ - плотность материала проволоки ($7,8\text{г/см}^3$).

Для исследования была разработана установка (Рис.3), позволяющая испытывать одновременно 18 образцов.

Основу установки составляли две плиты 1 и 2, жестко соединенные между собой болтами 3. В плитах концентрично по окружностям двух радиусов располагались нагрузочные устройства для испытания образцов.

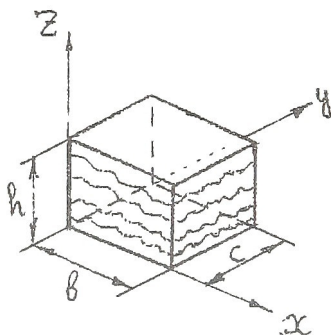


Рисунок 2 – Размеры образцов

К верхней плите и подвижным опорам припаивались провода, соединенные последовательно с источником тока и электролампой. Образцы 7 ставились между подвижной и неподвижной опорами и сжимались на заданную величину Δh вворачиванием неподвижной опоры.

Измерение упругой реакции образцов проводилось на ручном прессе. При этом на головку опор 4 поочередно устанавливался динамометр и проводилось нагружение образца до погасания лампы.

Перемещение опоры в момент разрыва электрической цепи составляло не более 0,005мм, что намного меньше диаметра проволоки, равного 0,09мм. Поэтому принималось, что показания динамометра при этом равны упругой реакции образцов.

Такие измерения, проводимые через определённые промежутки времени, позволяли получить зависимость $\sigma = f(\tau)$, где σ - напряжение сжатия образца, τ - время. Эта зависимость выравнивалась в логарифмических координатах, что позволяло её описывать выражением

$$\sigma = \sigma_0 \tau^{-k}, \quad (1)$$

где σ_0 - начальное напряжение сжатия;

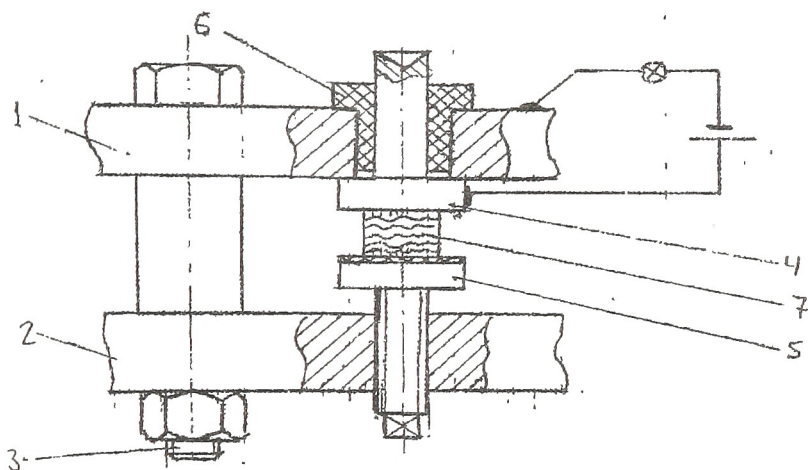


Рисунок 3 – Схема установки для исследования релаксационных характеристик

k - постоянная, определяемая тангенсом угла наклона выравненной зависимости.

Результаты исследования

В эксперименте начальное нагружение образцов в установке задавалось величиной Δh , которая определяла начальную степень сжатия $\epsilon_0 = \Delta h / h$ и соответствующую величину начального напряжения σ_0 . Однако на релаксацию напряжений в МР большую роль оказывает относительное начальное напряжение

$$\bar{\sigma} = \sigma_0 / q_{\text{пр}},$$

где $q_{\text{пр}}$ - давление прессования образцов.

Поэтому эта величина также контролировалась в эксперименте.

Основные данные испытанных образцов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры испытываемых образцов

ϵ_0	σ_0 , МПа	$\bar{\sigma}$
0,1	$0,3 \pm 0,05$	0,003
0,2	$2 \pm 0,1$	0,02

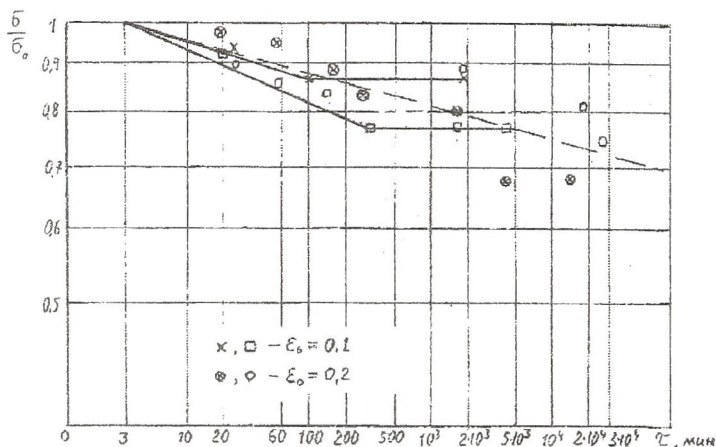


Рисунок 4 - Графики релаксационных характеристик испытанных образцов в направлении прессования (относительная плотность МР $\bar{\rho} = 0,3...0,35$)

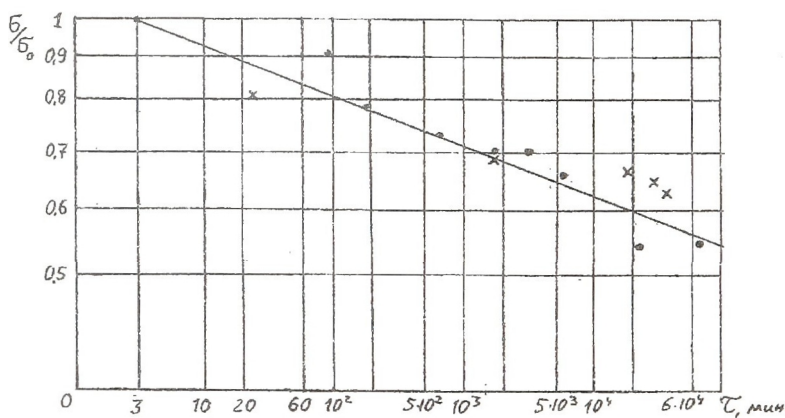


Рисунок 5 - Графики релаксационных характеристик испытанных образцов в направлении, перпендикулярном прессованию (относительная плотность МР $\bar{\rho} = 0,3...0,35$)

Время испытания доходило до 40 суток.

На рис. 4 приведены примеры экспериментальных зависимостей в логарифмических координатах, полученные при нагружении образцов в направлении прессования.

Постоянная в выражении (1) во всех опытах находилась в пределах $k = 0,02 \dots 0,045$, среднее значение $k = 0,032$. Как видно из графиков, с течением времени интенсивность релаксации снижалась, величина нагрузки стабилизировалась. При этом, если три последовательные измерения не выявляли падения нагрузки, то испытание образца прекращалось. Время до получения стабильной нагрузки τ_c различалось в зависимости от степени обжатия образцов:

при $\epsilon_0 = 0,1$	τ_c от 5 часов до 4 суток;
при $\epsilon_0 = 0,2$	$\tau_c = 1 \dots 10$ суток.

На это время также оказывало влияние величина $\bar{\sigma}$, причём с её увеличением возрастало и τ_c .

На рис. 5 такой же график приведен для образцов, нагруженных в направлении, перпендикулярном прессованию. Обращает на себя внимание более интенсивная релаксация напряжений в этом направлении ($k = 0,05 \pm 0,005$). Объяснить это можно тем, что после прессования МР приобретает слоистую структуру, причем слои перпендикулярны направлению прессования. При нагружении в направлении осей X или Y (см. рис. 2) витки проволоки попадают между слоями и заклинивают. По этой же причине упругое восстановление в этом направлении меньше, чем в направлении прессования.

Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В изделиях из материала МР при статическом нагружении происходит релаксация напряжений и падение сжимающего усилия при постоянной степени сжатия.
2. Релаксация напряжений зависит от степени сжатия изделия и направления прессования. Меньшая интенсивность релаксации напряжений наблюдается в направлении прессования при $\epsilon_0 \leq 0,1$, $\bar{\sigma} \leq 0,003$. В этом случае после падения нагрузки на 10 ... 20% величина её стабилизируется.

Список литературы

1. Борисов В.А., Паровой Ф.В. Релаксация напряжений в уплотнениях с упругими элементами из материала МР // Исследование гидростатических опор и уплотнений двигателей летательных аппаратов: Межвуз. Темат. Сб. Научн. Тр. - Харьков: ХАИ, 1986. - С.60-63.
2. Белоусов А.И., Тройников А.А. // ИЗВУЗ, Авиационная техника. - 1986. - №4, с.16-20.