

УДК 629.7.02:539.4

Н.И.Гадалин, Ю.Л.Тарасов, В.Т.Тимшин

### РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ В ВАКУУМЕ

Развитие современной техники требует изучения поведения элементов конструкций летательных аппаратов и конструкционных материалов в реальных условиях эксплуатации. Одним из методов, позволяющих исследовать напряженное и деформированное состояние таких конструкций, является их тензометрирование с помощью датчиков омического сопротивления. В настоящее время этот метод разработан в основном для регистрации деформаций в нормальных условиях и при воздействии различных температур [1-3]. Использование средств тензометрирования в условиях вакуума практически не изучено, что не позволяет с достаточной надежностью исследовать работоспособность конструкций в этих условиях.

Целью настоящей работы является изучение работоспособности отечественных тензорезисторов типа ЗФКПА-3-100 ГВ в разреженной среде. В процессе испытаний определялись величина механического гистерезиса и нелинейность их характеристик. По техническим условиям величина механического гистерезиса в процессе испытаний не должна превышать  $150 \cdot 10^{-6}$ .

Эксперименты проводились на тарировочном образце, изготовленном из закаленного высокопрочного титанового сплава ВТ-14. Образец устанавливался в специальное нагружающее устройство [4] вакуумной камеры установки ИМАШ-5С-65.

Для наклейки тензорезисторов использовался винилфлексовый лак ВЛ-931. Режим полимеризации соответствовал техническим условиям. Наклеенный на образец тензорезистор включался в мостовую схему, позволяющую из полной деформации  $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$  выделить

сил, пропорциональный нелинейной деформации  $\epsilon_2$  [5]. Здесь  $\epsilon_1$  — линейная составляющая полной деформации. Датчик силы включился в обычную мостовую схему, причем рабочий и компенсационный тензорезисторы находились в вакууме.

После балансировки мостовых схем производилась откачка вакуумной камеры. Воздействие вакуума при ненагруженном образце приводило к разбалансу измерительных мостов. Этот процесс стабилизировался по мере достижения предельного разрежения откачивающей системы и при давлении  $P = 5 \cdot 10^{-6}$  мм рт.ст. Величина "кажущейся" деформации  $\epsilon_n$  для обеих мостовых схем составляла примерно  $5 \cdot 10^{-5}$ . Таким образом, если не учитывать отмеченное явление, то при измерении деформаций можно получить существенную ошибку. Исключение ее возможно за счет балансировки моста в момент стабилизации "кажущейся" деформации. Объяснение причин возникновения "кажущейся" деформации требует более подробного изучения, что не является целью настоящей статьи.

Величина механического гистерезиса в вакууме определялась при нагружении тарировочного образца до деформаций  $\epsilon = \pm 2 \cdot 10^{-3}$  и  $\pm 3 \cdot 10^{-3}$ . Для оценки влияния среды на величину гистерезиса были проведены контрольные испытания в нормальных условиях на тех же образцах. Сначала были сняты метрологические характеристики тензорезистора при деформациях растяжения (рис. 1), а затем аналогичные характеристики при деформациях сжатия (рис. 2).

Полученные результаты показывают, что нагружение до  $\epsilon = +2 \cdot 10^{-3}$  влечет за собой появление незначительного механического гистерезиса (до  $3 \cdot 10^{-6}$ ) как на воздухе, так и в вакууме. Увеличение деформации до  $\epsilon = +3 \cdot 10^{-3}$  приводит к увеличению механического гистерезиса и появлению нелинейности в области деформаций более  $2,85 \cdot 10^{-3}$ . Максимальное значение механического гистерезиса наблюдается в первом цикле и составляет при испытаниях на воздухе  $7,5 \cdot 10^{-6}$ , а при испытаниях в вакууме  $4,5 \cdot 10^{-6}$ . Во втором цикле величина механического гистерезиса снизилась при испытаниях на воздухе до значения  $4,5 \cdot 10^{-6}$ , а при испытаниях в вакууме до  $3,0 \cdot 10^{-6}$ . При деформациях сжатия имеет место более существенная нелинейность, чем при таких же деформациях растяжения, но величина механического гистерезиса при этом не превышает величины гистерезиса при растяжении. Последнее справедливо как для испытаний на воздухе, так и в вакууме. В обоих случаях

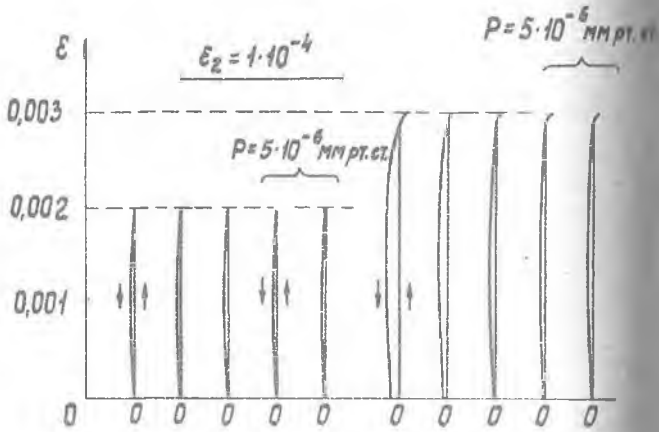


Рис. 1

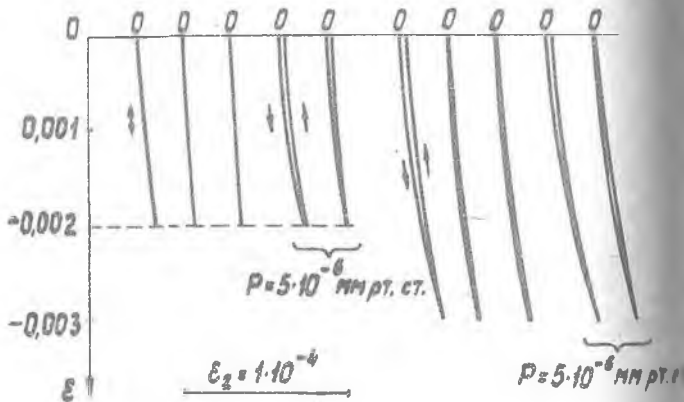


Рис. 2

пытаний механический гистерезис существенно ниже допускаемой техническим условиям его предельной величины; нелинейность характеристики около одного процента от величины деформации, соответствующей максимальной нагрузке.

Таким образом, результаты испытаний показали, что система датчик-тарировочный образец" обладает малым механическим гистерезисом, и, следовательно, тензорезисторы типа 2ФКПА-3-100 ГВ, нанесенные на образец винилфлексом лаком ВЛ-931, могут применяться для измерений повышенной точности в вакууме.

### Л и т е р а т у р а

1. Козлов И.А. и др. Исследование прочности деталей машин в помощи тензодатчиков сопротивления. К., "Техника", 1967.
2. Мехеда В.А. Исследование стабильности показаний тензорезисторов при знакопеременном нагружении. - В кн.: Вопросы прочности и долговечности элементов авиационных конструкций. Межвузовский сборник, вып. I, изд. КуАИ, 1974.
3. Лещенко В.М., Козлов И.А. и др. Исследования работоспособности серийных тензорезисторов в условиях температур до  $-269^{\circ}\text{C}$ . "Проблемы прочности", № II, 1973.
4. Гадалин Н.И., Мехеда В.А., Тарасов Ю.Л., Тимшин В.Т. Влияние вакуума на деформационные характеристики сплава Д16АТ. - В кн.: Вопросы прочности и долговечности элементов авиационных конструкций. Межвузовский сборник, вып. 4, изд. КуАИ, 1978.
5. Мехеда В.А., Хазанов Х.С. О методах измерения динамической петли гистерезиса. - В сб.: Вопросы прикладной механики авиационной технике, вып. 63, изд. КуАИ, 1972.