

В.А.Мехеда

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПОКАЗАНИЙ ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ
ПРИ ЗНАКОПЕРЕМЕННОМ НАГРУЖЕНИИ

Важными характеристиками, определяющими качество тензорезисторов, являются величина коэффициента тензочувствительности и величина механического гистерезиса. Чаще всего эти параметры контролируются заводами - изготовителями датчиков при статическом режиме нагружения. Для динамического режима нагружения в паспорте на тензорезисторы, как правило, указывается лишь гарантийный срок их службы в циклах. При этом отсутствуют данные о степени стабильности указанных выше параметров в течение этого срока службы, хотя известно [1, 3], что тензорезисторы в процессе знакопеременного деформирования могут изменять свои параметры.

В настоящей работе для исследования стабильности показаний тензорезисторов при знакопеременном нагружении использовался специальный метод, обеспечивающий высокую точность измерений. Особенность этого метода заключается в том, что в пределах измерительного моста (рис. 1б), т.е. в самом начале усилительно-замерительного тракта, выделяется нелинейная (относительно внешней нагрузки P) составляющая сигнала датчика R_1 . Преимущество такого метода измерений по отношению к известным подробно описано в работе [2], где этот метод использовался для исследования неупругости металлов.

Нестабильность тензорезисторов можно выявить, используя стабилизирующую систему нагружения. С этой точки зрения проанализируем работу системы, показанной на рис. 1. Мостовая схема обобщенно

чувствительна к нелинейным деформациям образца I и удлинителя 2,.

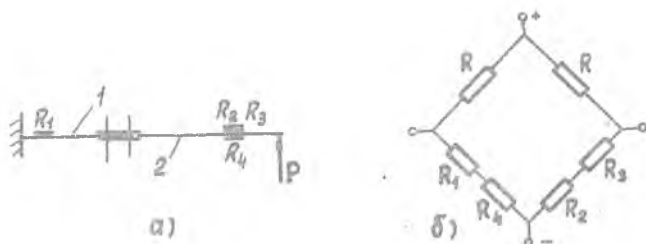


Рис. I.

к деформациям, вызванным инерционными силами и трением в шарнире, передающем нагрузку. Избавиться полностью от влияния этих факторов нельзя, следовательно, невозможно выделить петлю гистерезиса тензорезисторов в чистом виде, но добиться стабильности этих факторов в процессе испытаний практически возможно.

Для этого тарировочный образец и удлинитель были изготовлены из высокопрочного титанового сплава ВТ14, предел выносливости которого $\sigma_{-1} = 50 \text{ кг/мм}^2$ при нормальном модуле упругости $E = 12,7 \cdot 10^3 \text{ кг/мм}^2$. Так как в процессе испытаний амплитуде напряжений не превышала $0,75 \sigma_{-1}$, нестабильностью материала образца на базе 100000 циклов можно пренебречь.

В процессе испытаний с частотой 10Гц амплитуде перемещения точки приложения нагрузки P все время автоматически поддерживалась постоянной, что обусловило постоянство влияния инерционных сил.

Чтобы оценить изменение момента трения в силовом шарнире, в процессе эксперимента работающие подшипники заменялись на совершенно новые. Полученный результат дает полное основание считать момент трения в шарнире стабильным во времени.

Нестабильность тензорезисторов R_2 , R_3 и R_4 , работающих при малых деформациях, можно пренебречь.

Исследования проводились на фольговых константановых датчиках типа 2ФКПА-3-100ГВ, которые наклеивались лаком ВЛ-931 и подвергались термообработке согласно инструкции завода - изготовителя.^{ж)} Нагружение производилось электродинамическим стендом.

ж) Датчики типа 2ФКПА-3-100ГВ выпускаются Томским заводом металлургических машин.

В работе использовались тензостенция типа УТС-1-ВГ-12 и шлейфовый осциллограф Н-700.

Первоначальные петли гистерезиса всей системы в целом в зависимости от амплитуды деформации изображены на рис. 2. Эксперимент показывает, что механический гистерезис всей системы практически отсутствует, если деформация не превышает величины $\pm 1,4 \cdot 10^{-5}$.

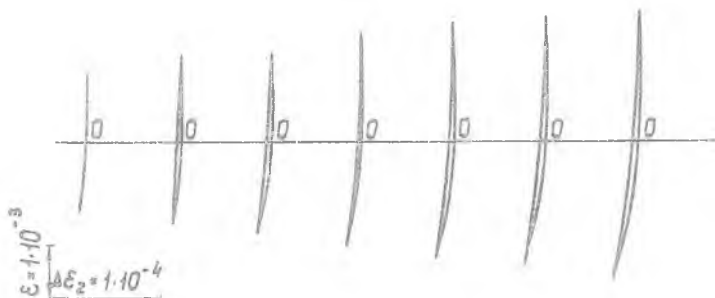


рис. 2.

В процессе циклического деформирования полное изменение сопротивления датчиков ΔR можно разбить на три части:

$$\Delta R = \Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3, \quad (1)$$

где $\Delta R_1 = KR\varepsilon$ - изменение сопротивления датчика, пропорциональное деформации ε тарировочного образца; ΔR_2 - изменение сопротивления, зависящее нелинейно от деформации; ΔR_3 - статическая составляющая изменения номинального сопротивления датчика; R - номинальное сопротивление тензорезистора; K - коэффициент тензочувствительности.

Мостовая схема (рис. 1) обрабатывает сигнал

$$\Delta R - \Delta R_1 = \Delta R_2 + \Delta R_3. \quad (2)$$

Составляющие ΔR_2 и ΔR_3 легко разделяются, так как ΔR_2 определяется шириной петли гистерезиса, в то время как ΔR_3 характеризует "дрейф нуля". Практически удобнее использовать вместо ΔR_2 и ΔR_3 кажущиеся приращения деформации

$$\Delta \varepsilon_2 = \frac{\Delta R_2}{KR}, \quad \Delta \varepsilon_3 = \frac{\Delta R_3}{KR}. \quad (3)$$

Обозначим амплитудное значение величины $\Delta \varepsilon_2$ через $\Delta \varepsilon_2^a$, а начальное значение амплитудной величины через $(\Delta \varepsilon_2^a)_0$. Тогда разность

$$(\Delta \varepsilon_2^a)_N = \Delta \varepsilon_2^a - (\Delta \varepsilon_2^a)_0 \quad (4)$$

отражает неустойчивость показаний тензодатчиков в процессе динамического нагружения.

Изменение величин $(\Delta \varepsilon_2^a)_N$ и $\Delta \varepsilon_3$ от числа циклов нагружения при $\varepsilon_0 = 2,76 \cdot 10^{-3}$ показано на рис. 3. Обращает на себя внимание то, что "дрейф нуля" $\Delta \varepsilon_3$ и нелинейная составляющая $(\Delta \varepsilon_2^a)_N$ появляются практически при одном и том же числе циклов. Поэтому, если в измеряемом динамическом процессе отсутствуют постоянные составляющие, то в процессе испытаний можно по началу "дрейфа нуля" определить момент появления существенных гистерезисных явлений в тензорезисторах.

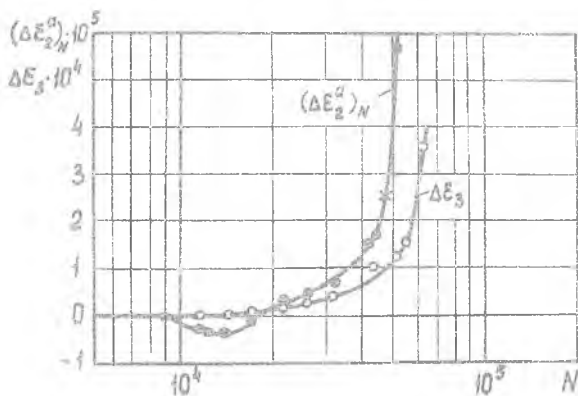


Рис. 3.

Можно условно выделить три характерные периода работы тензорезисторов, соответствующие различной стабильности их показаний.

Первый период соответствует стабильной работе датчиков. Здесь величины $(\Delta \varepsilon_2^a)_N$ и $\Delta \varepsilon_3$ практически равны нулю.

Второй - переходный период. Он характеризуется малой нестабильностью датчиков (когда, например, изменение величины $(\Delta \varepsilon_2^a)_N$ не превышает одного процента от амплитуды полной деформации ε_a).

Третий - период интенсивного изменения характеристик тензодатчиков, заканчивающийся полным выходом их из строя.

Период стабильной работы тензодатчиков в сильной степени зависит от амплитуды циклической деформации. Результаты подобных исследований показаны на рис. 4. Момент, когда величина $(\Delta \varepsilon_2^a)_N = 1\% \varepsilon_a$, помечен звездочкой. Уменьшение амплитуды деформации с $2,76 \cdot 10^{-3}$ до $1,87 \cdot 10^{-3}$ привело к увеличению периода стабильной работы датчиков в 33 раза.

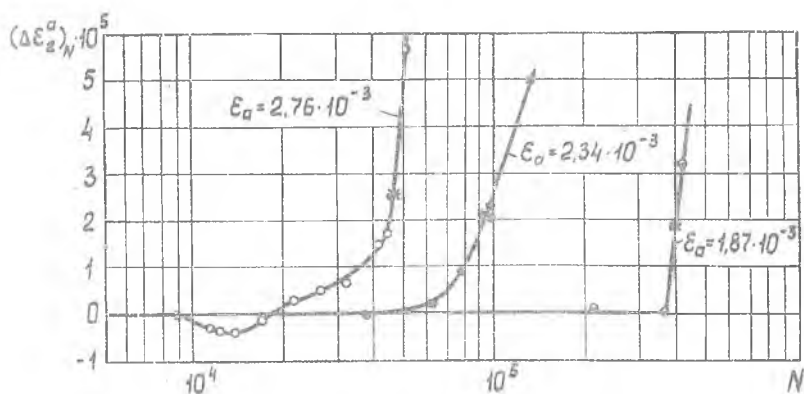


Рис. 4.

Подобно кривым усталости для металлов на рис. 5 показаны кривые работоспособности датчиков в зависимости от амплитуды циклической деформации. Стабильные измерения с помощью тензодатчиков возможны в области ниже кривой 1. Кривая 2 соответствует числу циклов нагружения, когда величина $(\Delta \varepsilon_2^a)_N = 1\% \varepsilon_a$. Кривая 3 построена по моменту полного выхода тензодатчиков из строя.

Высокие требования к стабильности работы тензорезисторов предъявляются при исследовании с их помощью неупругости металлов. Чтобы определить область возможного применения тензорезисторов для этих целей, следует совместить на одном графике кривые уста-

лости испытываемых образцов и тензорезисторов.

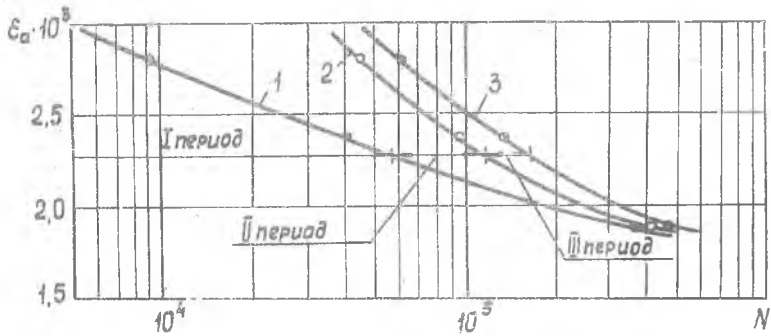


Рис. 5.

Так, к примеру, на рис. 6 совмещены кривые усталости образцов из стали IX18H9T и алюминиевого сплава Д16АТ по моменту по-

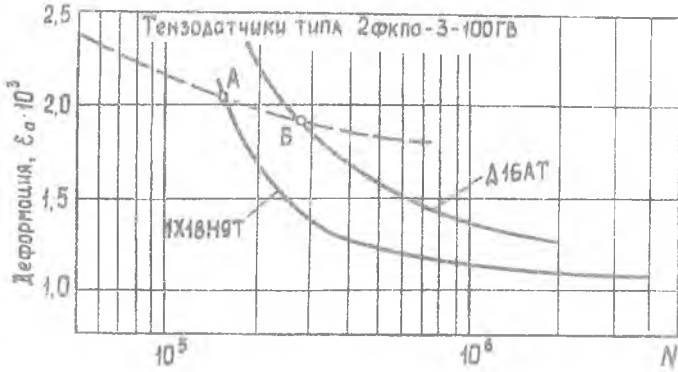


Рис. 6.

явления трещины с кривой работоспособности датчиков, соответствующей концу периода их стабильной работы. Кривые пересекаются в точках А и Б. Ординаты этих точек определяют амплитуды деформаций, ниже которых с помощью датчиков 2ФКПА-3-100ГВ возмож-

по исследованию гистерезисных явлений в образцах вплоть до момента появления в них видимых трещин.

Л и т е р а т у р а

1. Ляхович Л.С., Бабушкин Б.В., Кулик А.Я. "Заводская лаборатория", 6, 1971.
2. Мехеда В.А., Хазанов Х.С. Труды КуАИ, вып. 63, 1972.
3. Sendrowicz H. Utilisation d'une resistance comme jauge de fatigue. "Ingenieria mese", 16, n 1, 1967.