

В.К.Кононов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО САМОПИШУЩЕГО ПОТЕНЦИОМЕТРА ЭПН-09М

Для расчета поверхностных остаточных напряжений по методике Давиденкова Н.Н. [1], [2] или Биргера И.А. [3] требуется установить связь между приращением толщины стравливаемого с образца поверхностного слоя и приращением деформации образца, зависящей от удаления этого слоя.

Для одновременного исследования нескольких образцов выгодно использовать многоточечные электронные самопишущие приборы, которые позволяют автоматически регистрировать несколько процессов и устраняют необходимость в построении графиков деформаций.

Таким прибором может служить электронный автоматический самопишущий потенциометр ЭПН-09М.

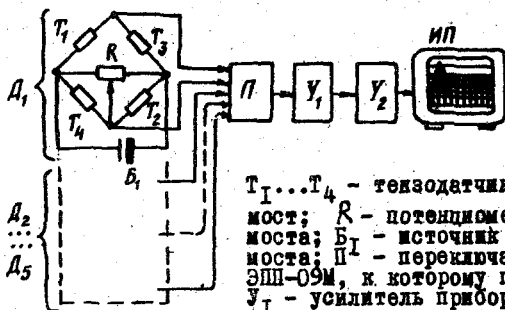
Этот потенциометр предназначен для измерения температуры с помощью термопар "хромель-алюмель", "хромель-көпөль" и "платинородий-платина". Характеристика прибора соответствует его работе с упомянутыми датчиками температуры, т.е. его чувствительность и диапазон измерений приспособлены к амплитуде термоЭДС указанных термопар, а входное сопротивление равно приблизительно 100 Ом.

В этих условиях для измерения деформации образца с помощью тензометрического датчика-моста с общим сопротивлением около 100 Ом, чувствительность прибора ЭПН-09М оказывается недостаточной.

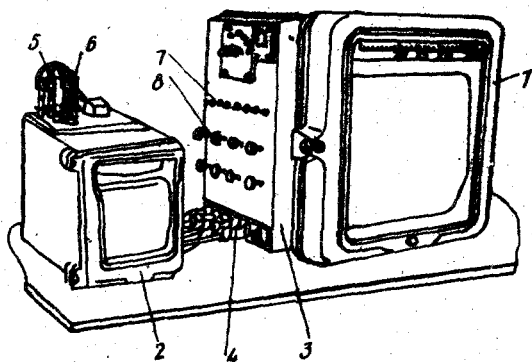
В описываемой установке предлагается в качестве предварительного усилителя сигнала, получаемого с тензометрического датчика-моста, использовать усилительную часть самопишущего милливольт-амперметра И373-1.

На рис. 1 показана блок-схема установки для одновременной регистрации деформаций пяти образцов, возникающих при стравливании поверхностного слоя.

Рис. 2 показывает общий вид измерительных приборов, входящих в установку, без измерительных рамок с датчиками-мостами.



Р. и с. 1. Блок-схема установки для одновременной регистрации деформаций 5-ти образцов при исследовании остаточных напряжений: D_1 - датчик-мост; $D_2 \dots D_5$ - остальные четыре датчика - моста; $T_1 \dots T_4$ - тензодатчики, образующие датчик-мост; R - потенциометр для обнуления моста; B_1 - источник питания первого датчика-моста; Π - переключатель каналов прибора ЭПН-09М, к которому подключены датчики-мосты. $У_1$ - усилитель прибора НЗ73-1; $У_2$ - усилитель прибора ЭПН-09М; ИП - измерительный прибор ЭПН-09М



Р и с. 2. Общий вид измерительных приборов установки: 1 - автоматический самопишущий многоточечный электронный потенциометр ЭПН-09М; 2 - самопишущий милливольтметр НЗ73-1; 3 - дополнительный шит управления; 4 - место подвода к шиту управления линий связи с датчиками-мостами; 5 - вход от переключателя Π (из прибора ЭПН-09М) в усилитель $У_1$ (прибора НЗ73-1); 6 - выход с усилителя $У_1$; 7 - тумблеры включения питания датчиков-мостов; 8 - потенциометры R группой и точной установки нуля датчиков-мостов

Использование в качестве предварительного усилителя прибора И373-1 удобно, потому что появляется возможность широкого регулирования чувствительности всей установки. Эта особенность позволяет применять такую установку и в других исследовательских целях.

В комплект, кроме измерительных приспособов, входят несколько рамок, которые служат для крепления образцов и выведения их в контакт с датчиками-мостами. На каждой рамке может быть закреплено и исследовано одновременно два кольцевых или плоских образца. Конструкция рамки позволяет проводить травление с применением электрического тока.

Расчетные формулы Давиденкова Н.Н. [1], [2] и Биргера И.А. [3] связывают определяемые остаточные напряжения со следующими параметрами (рис. 3 и 4):

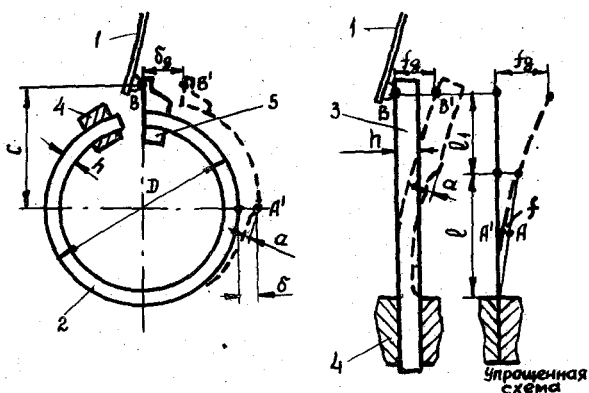
в кольцевых образцах

$$\sigma_T = F_1 \left(E, \varnothing, \delta, h, \alpha, \frac{d\delta}{d\alpha} \right), \quad (1)$$

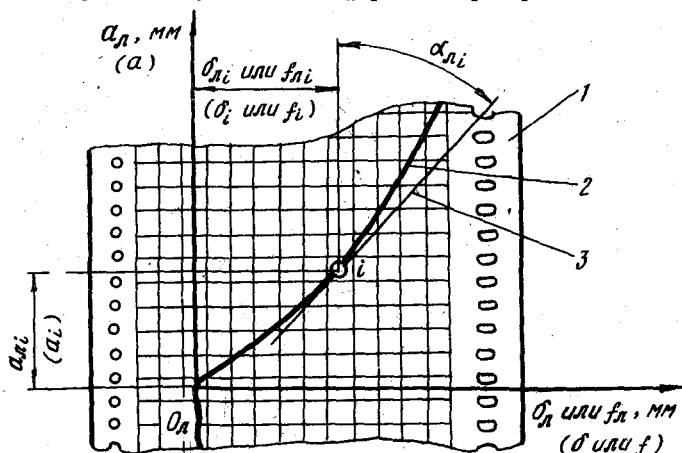
в плоских образцах

$$\sigma_o = F_2 \left(E, l, f, h, \alpha, \frac{df}{d\alpha} \right), \quad (2)$$

- где σ_T - окружное остаточное напряжение, МПа;
 σ_o - осевое остаточное напряжение, МПа;
 E - модуль упругости на растяжение материала образца, МПа;
 \varnothing - наружный диаметр образца, мм;
 δ - приращение диаметра образца в мм при травлении поверхностного слоя на глубину α , мм;
 h - толщина образца, мм;
 $\frac{d\delta}{d\alpha}$ - отношение приращения диаметра образца в мм к приращению глубины травленного слоя в мм, вызвавшему это изменение диаметра, в окрестностях точки измерения на кривой $\delta = \varphi_1(\alpha)$; практически указанное отношение определяется как тангенс угла наклона касательной к упомянутой кривой в точке измерения;
 l - длина участка травления, мм;
 f - прогиб образца в мм на длине участка травления при снятии поверхностного слоя на глубину α в мм;



Р и с. 3. Схемы закрепления и контакта с датчиком-мостом кольцевого и плоского образцов: 1-тензометрический датчик-мост; 2-кольцевой образец; 3-плоский образец; 4-место жесткого крепления образца; 5-лапка, позволяющая кольцевой образец ввести в контакт с датчиком-мостом. α - толщина стравленного слоя, вызвавшая деформацию δ или f ; l - длина стравливаемого участка образца, l_1 - расстояние от края стравливаемого участка образца до точки, где регистрируется его деформация при травлении



Р и с. 4. К пояснению записи деформации на диаграммной ленте: 1-диаграммная лента; 2-кривая деформации, записанная прибором; 3-касательная к кривой деформации в точке L измерения напряжений. В скобках показаны параметры, которые состоят в соответствии с параметрами, регистрируемыми прибором на диаграммной ленте

$\frac{df}{da}$ - отношение приращения прогиба образца в мм к приращению глубины стравленного слоя в мм, вызвавшему этот прогиб, в окрестностях точки измерения на кривой $f = \varphi_2(a)$. Это отношение аналогично отношению $d\delta/da$.

На рис. 3 показаны деформации δ для кольцевого и f для плоского образцов, входящие в соотношения (1) и (2). Эти деформации необходимы для расчета. Но измерять их сложно и неудобно. Регистрируемая деформация обозначена δ_g и f_g . Эта деформация есть перемещение точки контакта деформирующегося образца с балочкой тензометрического датчика-моста из положения В в положение В' при соответствующем перемещении у образца точки А в точку А'.

На диаграммной ленте прибора ЭПП-09М во время стравливания слоев металла с образца фиксируется кривая зависимости для колец $\delta = \varphi_1(a)$, или для плоских образцов $f = \varphi_2(a)$ (см.рис. 4).

Чтобы использовать для расчета остаточных напряжений записанные на ленте значения этих зависимостей, нужно знать, во-первых, как связаны между собой скорость стравливания металла и скорость перемещения диаграммной ленты и, во-вторых, соотношение, связывающее перемещение стрелки прибора и изменение формы образца (δ или f).

Связь скорости стравливания металла и скорости перемещения диаграммной ленты можно представить так:

$$a = K_a a_n,$$

где
$$K_a = v_a \frac{t}{a_n}. \quad (3)$$

Здесь v_a - скорость стравливания или толщина стравленного слоя металла в одну минуту, мм/мин;

a - толщина стравленного слоя за время t , мм;

a_n - перемещение ленты за время t , мм;

K_a - безразмерный коэффициент, связывающий a и a_n .

Перемещение стрелки прибора фиксируется на диаграммной ленте. Связь этого перемещения и изменения формы образца покажем следующим образом.

Нам известно, что прибор регистрирует перемещение точки контакта датчика-моста с образцом (δ_g или f_g), а в расчетные связи (1) и (2) входят величины δ и f (см.рис. 3). Поэтому

нужно иметь соотношение между ними, а также переход от δ_g или f_g к величине, которую записывает прибор на диаграммной ленте. Эти величины обозначим через δ_n и f_n (см. рис. 4).

Во время тарировки прибора определяется зависимость, например,

$$\delta_n = K_{yc} \delta_g,$$

из которой рассчитывается безразмерный коэффициент усиления

$$K_{yc} = \frac{\delta_n}{\delta_g}. \quad (4)$$

Переход от величин δ_n , f_n , записанных прибором ЭШ-09М, к величинам δ или f , используемым в равенствах (1) и (2), представим, согласно [4], для кольцевых образцов в виде

$$\delta = \delta_g \frac{D}{\pi c + D}, \quad (5)$$

для плоских образцов

$$f = f_g \frac{l}{4(2l_1 + l)}. \quad (6)$$

Все обозначения в формулах (5) и (6) ясны из рис. 3.

Теперь развернем равенства (1) и (2) в соответствии с работой [3] и заменим исследуемые параметры, применив (3), (4), (5) и (6) для того, чтобы использовать запись на диаграммной ленте при расчете остаточных напряжений.

Тогда будем иметь для окружных остаточных напряжений

$$\begin{aligned} \sigma_{r-n} \sigma_o &= \frac{E}{3(D-h-a)^2} \left[(h-a)^2 \frac{d\delta}{da} - (4h-5a)\delta \right] = \\ &= \frac{E}{3(D-h-K_a a_n)^2} \frac{1}{K_{yc}} \frac{D}{\pi c + D} \left[(h-K_a a_n)^2 \frac{1}{K_a} \operatorname{tg} \alpha_n - \right. \\ &\quad \left. - (4h-5K_a a_n) \delta_n \right], \quad (7) \end{aligned}$$

и для осевых остаточных напряжений

$$\begin{aligned} \epsilon_0 - \mu \epsilon_T &= \frac{4E}{3\ell^2} \left[(h-a)^2 \frac{df}{da} - 4(h-a)f \right] = \\ &= \frac{E}{3\ell^2} \frac{1}{K_{yc}} \frac{\ell}{2\ell_1 + \ell} \left[(h - K_{\alpha} \alpha_n)^2 \frac{1}{K_{\alpha}} \operatorname{tg} \alpha_n - \right. \\ &\quad \left. - 4(h - K_{\alpha} \alpha_n) f_n \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

Представленные формулы (7) и (8) позволяют, снимая с диаграммной ленты в каждой расчетной точке величины α_n , β_n или f_n и $\operatorname{tg} \alpha_n$, рассчитать соответствующее остаточное напряжение. Можно добавить, что описанная установка пригодна для регистрации любых медленно меняющихся процессов. В этом случае должны применяться датчики электрического напряжения с выходным сопротивлением не более 100 Ом.

Л и т е р а т у р а

1. Д а в и д е н к о в Н.Н. Измерение остаточных напряжений в трубах. Журнал технической физики, т. I, вып. I, 1931.
2. Д а в и д е н к о в Н.Н., Ш е в а н д и Е.М. Исследование остаточных напряжений, создаваемых изгибом. Журнал технической физики, т. IX, № 12, 1939.
3. Б и р г е р И.А. Остаточные напряжения. - М.: Машгиз, 1963.
4. П а в л о в В.Ф. Исследование влияния остаточных напряжений и наклепа на усталостную прочность в условиях концентрации напряжений. Автореферат кандидатской диссертации. - Куйбышев: КуАИ, 1975, 16 с.

УДК 621.787.4

К.Ф.Митряев, М.Б. Сазонов

**ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ
ПРИ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКЕ МИКРОШАРИКАМИ ДЕТАЛЕЙ
ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ9**

Для получения высоких и стабильных прочностных свойств деталей, работающих при циклических нагрузках, необходимы определенные качест-