

3. Емельянов Е. М., Чернышов А. Д. Об образовании жестких зон в вязкопластической среде. — ПМТФ, 1974, № 3, с. 143—148.
4. Белозеров В. Б., Знаменский В. А., Листров А. Т. О течении вязкопластической среды в трубах некругового сечения. — ПМТФ, 1965, № 4, с. 131—136.

УДК 539.374

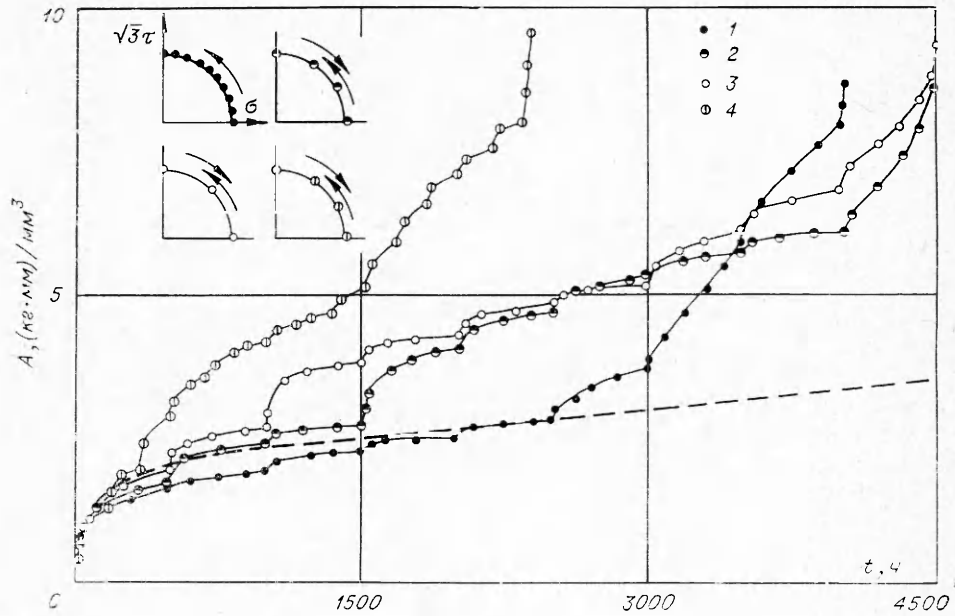
### О СООТНОШЕНИЯХ МЕЖДУ ПРИРАЩЕНИЯМИ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЛЗУЧЕСТИ И НАПРЯЖЕНИЯМИ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ НАГРУЖЕНИЯ

А. Ф. Никитенко, О. В. Соснин  
(Новосибирск)

Известно, что подобие девиаторов каких-либо тензоров есть необходимое и достаточное условие квазилинейной изотропной связи между ними [1]. Экспериментальные исследования, проведенные как в отечественных, так и зарубежных лабораториях на ползучесть на изотропных материалах при стационарных режимах нагружения (при пластичности — в условиях простого нагружения), достаточно хорошо подтвердили гипотезу подобия между девиаторами тензора напряжений и тензора приращения деформаций [2]. Этим оправдывается широкое распространение теорий пластичности и ползучести, основанных на квазилинейной связи между этими тензорами. При нестационарных режимах нагружения подобие между девиаторами упомянутых выше тензоров нарушается и его отсутствие связано, по-видимому, с нелинейным характером связи. Цель проведенного экспериментального исследования — установление закономерности отклонения отношения приращений деформаций ползучести от условия подобия девиатору напряжений при ступенчато-меняющемся напряженном состоянии с разными комбинациями осевого растяжения  $\sigma$  и сдвига  $\tau$ .

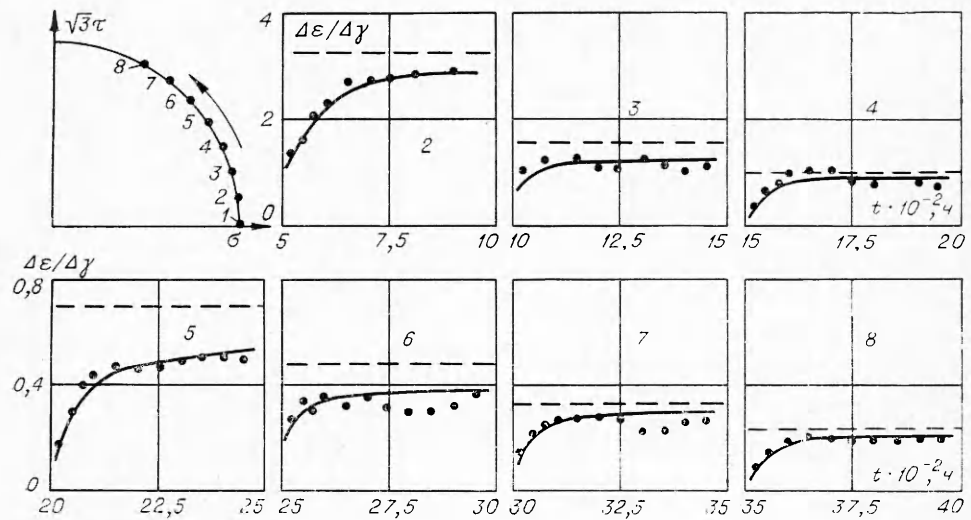
Эксперименты проводились при комнатной температуре на трубчатых образцах (наружный и внутренний диаметры соответственно 17 и 15 мм, длина рабочей части 50 мм). Исходные заготовки для образцов вырезались из плиты толщиной 20 мм одного из титановых сплавов. После изготовления образцы никакой термообработке не подвергались. Некоторые данные по упругопластическим свойствам и свойствам ползучести этого материала приведены в работе [3]. Несмотря на некоторую анизотропию свойств ползучести этого материала, отношение  $\Delta\varepsilon/\Delta\gamma$  при всех комбинациях  $\sigma$ ,  $\tau$  стационарных режимов нагружения было близко к соответствующим значениям  $\sigma/3\tau$  и сохраняло свои величины вплоть до разрушения. Наблюдавшиеся отклонения в равенстве этих отношений как в сторону завышения, так и в сторону занижения указывали на то, что подобие девиаторов приращений деформаций и напряжений при стационарном режиме нагружения выполнялось достаточно удовлетворительно.

На фиг. 1 представлены диаграммы ползучести  $A = A(t)$ , где  $A = \int_0^t \sigma d\varepsilon + \tau d\gamma$ , с интенсивностью напряжений  $\sigma_i = 65 \text{ кг/мм}^2$ . Штриховой линией для сравнения изображен участок диаграммы при стационарных режимах нагружения той же интенсивности. В левом верхнем углу схематично изображена последовательность перегрузок вдоль уровня

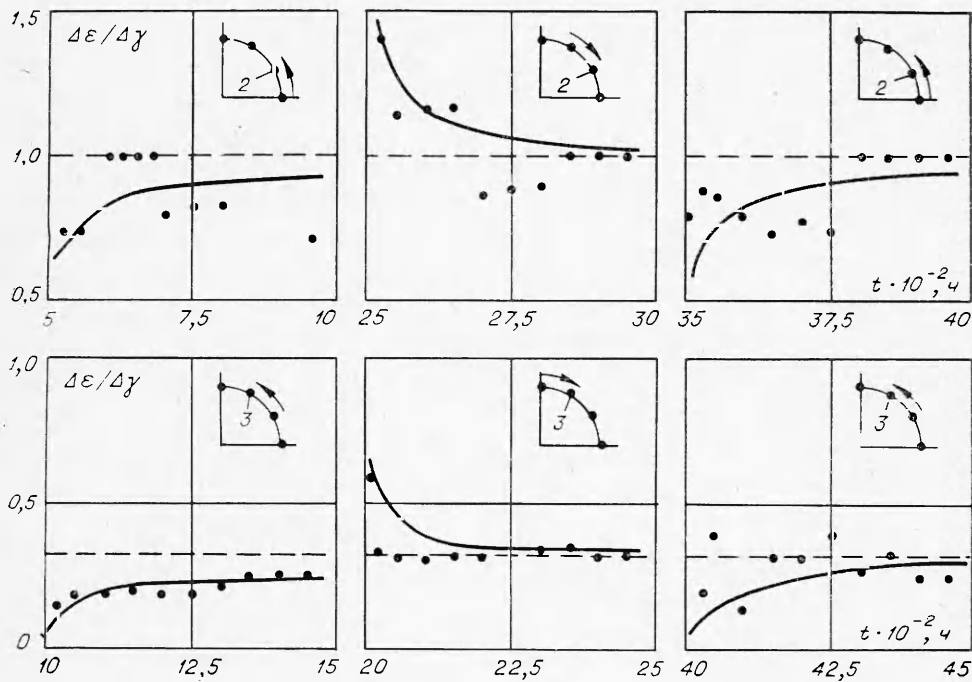


Фиг. 1

$\sigma_i = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 65 \text{ кг/мм}^2$ . Данные диаграммы 1 относятся к условиям эксперимента, в котором вектор, изображающий напряженное состояние, поворачивался на плоскости  $\sigma, \sqrt{3}\tau$  через  $\Delta t = 504 \text{ ч}$  от чистого растяжения к чистому кручению на угол  $\Delta\alpha = \pi/20$  (образец разрушился на девятом цикле с длительностью  $t_* = 4030 \text{ ч}$ ). Данные диаграммы 2 относятся к эксперименту, в котором вектор напряженного состояния поворачивался от чистого растяжения к чистому кручению и обратно на угол  $\Delta\alpha = \pi/6$  через  $\Delta t = 504 \text{ ч}$  (образец разрушился на десятом цикле с длительностью  $t_* = 4500 \text{ ч}$ ). Данные диаграммы 3 получены при условиях, аналогичных



Фиг. 2

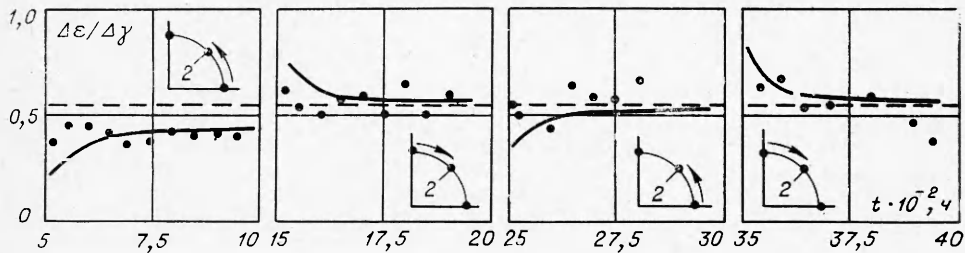


Фиг. 3

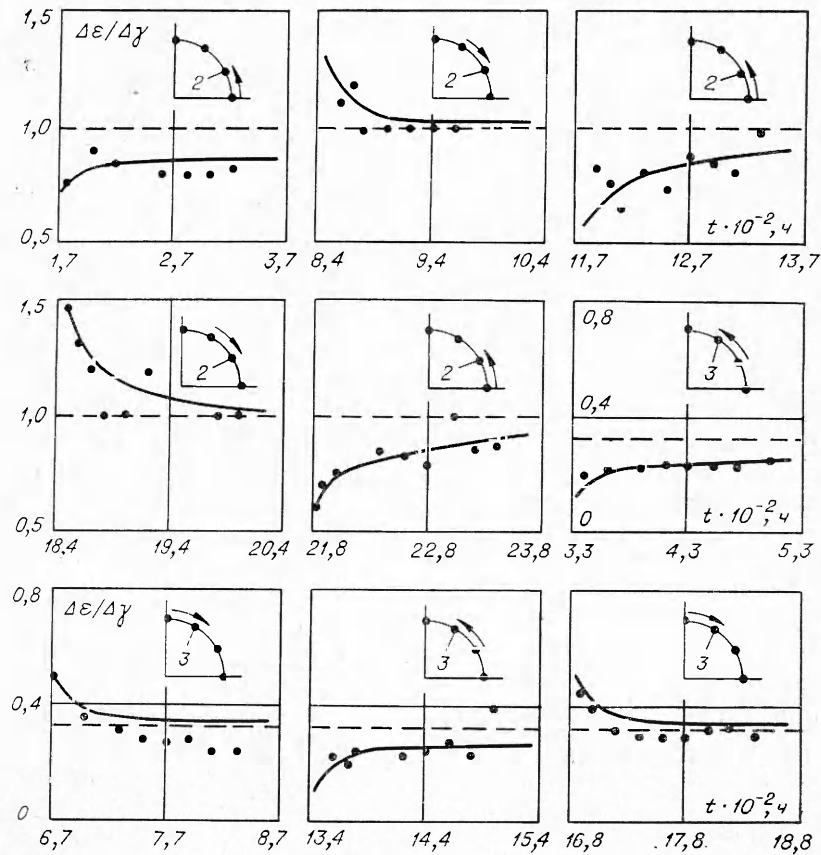
эксперименту 2, но с углом поворота вектора напряжений  $\Delta\alpha = \pi/4$  (образец разрушился на десятом цикле с длительностью  $t_* = 4510$  ч). Данные диаграммы 4 относятся к эксперименту, аналогичному по схеме нагружения эксперименту 2, но с частотой перегрузок  $\Delta t = 168$  ч (образец разрушился на пятнадцатом цикле с длительностью  $t_* = 2420$  ч).

Из фиг. 1 видно, что к моменту разрушения величина рассеянной при ползучести энергии  $A_* = A(t_*)$  во всех экспериментах практически одна и та же, не зависит от истории нагружения и близка к значениям  $A_*$  в экспериментах со стационарным режимом нагружения. В момент перегрузок наблюдается некоторая интенсификация процесса ползучести, продолжающаяся порядка 200 ч, после чего процесс ползучести идет с той же интенсивностью, как и в экспериментах при стационарных нагрузках.

На фиг. 2 представлены диаграммы отношений  $\Delta\varepsilon/\Delta\gamma$  в зависимости от времени с момента перегрузок в эксперименте 1. Здесь точками отмечены значения  $\Delta\varepsilon/\Delta\gamma$ , сплошной линией указан общий характер изменения этих отношений во времени, штриховой — величина отношений  $\sigma/3\tau$  в соответствующем цикле нагружения (цифры относятся к точкам напряжен-



Фиг. 4



Фиг. 5

ного состояния в этом же цикле нагружения). Как и следовало ожидать в момент перегрузки даже в таком эксперименте со слабым односторонним изменением вида напряженного состояния вектор приращения деформаций ползучести существенно отклоняется от направления нормали к контуру  $\sigma_i = \text{const}$  в сторону поворота вектора, изображающего напряженное состояние. С течением времени отношение  $\Delta\varepsilon/\Delta\gamma$  стремится к некоторой постоянной величине, близкой к соответствующему значению  $\sigma/3\tau$ , но ни в одном из циклов эта величина достигнута не была.

На фиг. 3 представлены аналогичные диаграммы для эксперимента 2. Здесь на первых диаграммах по вертикали, как и в предыдущем случае одностороннего изменения напряженного состояния, отношение  $\Delta\varepsilon/\Delta\gamma$  не достигает соответствующего значения  $\sigma/3\tau$ . При последующих перегрузках в те же точки напряженного состояния отношение  $\Delta\varepsilon/\Delta\gamma$  достигает соответствующей величины  $\sigma/3\tau$ . По-видимому, при циклических изменениях напряжений с неоднократным возвращением в одну и ту же точку напряженного состояния  $\sigma$  и  $\tau$  стремление величины  $\Delta\varepsilon/\Delta\gamma$  к соответствующему значению  $\sigma/3\tau$  протекает значительно быстрее.

На фиг. 4, 5 представлены аналогичные диаграммы соответственно экспериментов 3, 4. Диаграммы этих экспериментов подтверждают предыдущий вывод: при многократном циклическом повторении одного и того же напряженного состояния подобие девиаторов тензоров приращений деформаций ползучести и тензоров напряжений достаточно быстро восстанавливается.

Из анализа фиг. 1—5 видно, что продолжительность интенсификации процесса ползучести после перегрузки (см. фиг. 1) и продолжительность резкого отклонения значений  $\Delta\varepsilon/\Delta\gamma$  от условия подобия (см. фиг. 2—5) практически совпадают. Отсюда следует, что для интервалов времени, непосредственно следующих после перегрузок, а при непрерывном изменении напряженного состояния — для всей продолжительности процесса, условия квазилинейной изотропной связи между тензорами приращений деформаций ползучести и напряжений не выполняются и для описания нестационарных процессов необходимо использовать тензорно-нелинейные соотношения.

*Поступила 6 VII 1977*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Седов Л. И. Введение в механику сплошной среды. М., Физматгиз, 1962.
2. Наместников В. С. Об одной гипотезе в теории трехосной ползучести.— «Изв. СО АН СССР», 1960, № 2.
3. Никитенко А. Ф., Соснин О. В., Торшенин И. Г., Шокало И. К. О ползучести упрочняющихся материалов с разными свойствами на растяжение и сжатие.— ПМТФ, 1971, № 2.