

УДК 539.374

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛА^{*)}

В.Г. Зубчанинов, В.И. Гультяев, Д.В. Зубчанинов

Тверь

Представлены результаты базовых испытаний стали по двузвенным траекториям деформирования типа смещенного веера. Построены диаграммы деформирования с характерными нырками пассивного неупругого нагружения, а также предельные поверхности деформирования и нагружения для различных уровней достигнутого напряженно-деформированного состояния.

В статье представлены результаты экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния цилиндрических оболочек при растяжении и кручении в пространстве деформаций. Испытания проводились на автоматизированном испытательном комплексе СН-ЭВМ в лаборатории механических испытаний кафедры сопротивления материалов Тверского государственного технического университета.

Программа испытаний реализовывалась в векторном подпространстве деформаций $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3$ (рис. 1). Для каждого испытания с изломом в точке K был использован свой образец.

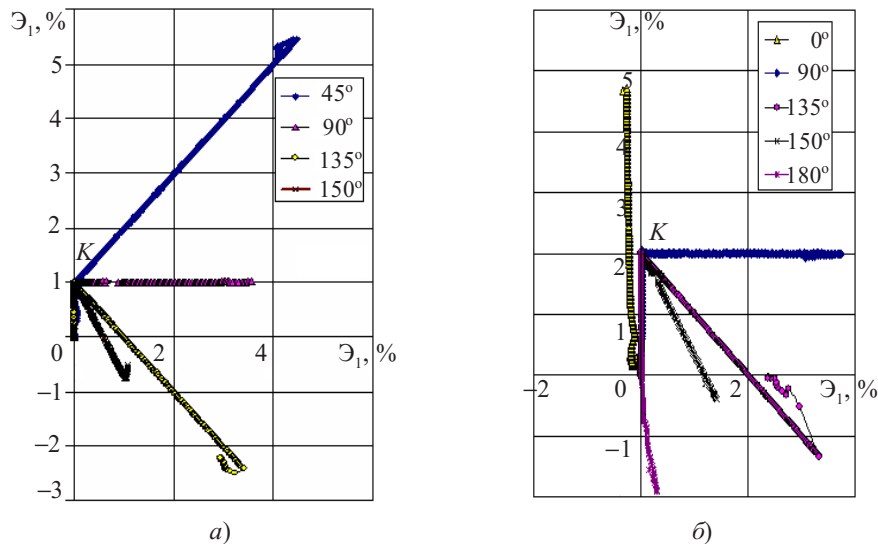


Рис. 1

^{*)} Статья выполнена при поддержке грантом РФФИ № 05-08-01442а.

Соответствующий ей отклик приведен в векторном подпространстве девиатора напряжений S_1-S_3 (рис. 2).

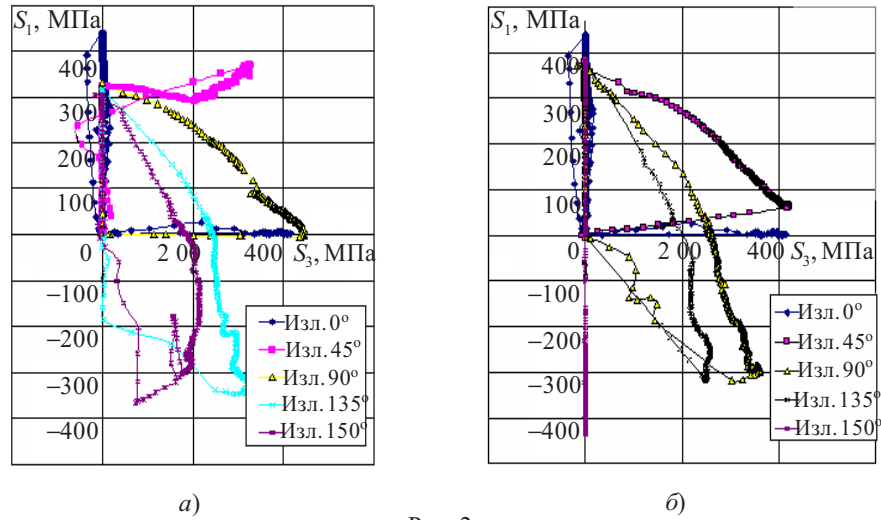


Рис. 2

На первом этапе производилось простое нагружение растяжением до точки K (см. рис. 1) при $\epsilon_1 = 1\%$ и 2% , после чего на втором этапе проводились испытания по лучам веера под углами $0; 45; 60; 90; 135; 150; 180^\circ$. Образец при угле излома 45° подвергался одновременному действию кручения и растяжения, при 90° – кручению, при 135° и 150° – сжатию с кручением, при 180° – сжатию. Угол излома 0° соответствовал диаграмме растяжения материала, 180° – знакопеременному нагружению и учету эффекта Баушингера (рис. 3).

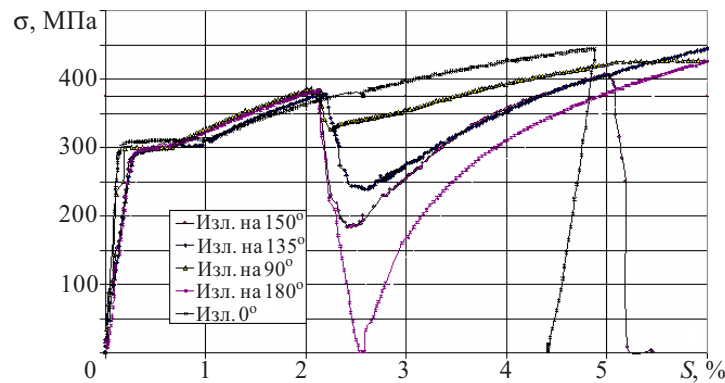


Рис. 3

После излома траектории происходили "нырки" на диаграмме $\sigma-S$ (σ – модуль девиатора напряжений в пятимерном векторном пространстве, S – длина дуги траектории деформаций), при этом с увеличением угла излома траектории увеличивалась как глубина, так и протяженность "нырка". По достижении минимального значения $\sigma = \sigma_{\text{вт}}^T$ на ниспадающей части нырка происходило "протыкание" предельной

поверхности (см. рис. 3). Напряжение $\sigma_{\text{вр}}^{\text{т}}$ получило название вторичного предела текучести. Частичная разгрузка на этом участке практически линейна и удовлетворяет закону линейной упругой разгрузки:

$$\Delta \Theta = \frac{\Delta \sigma}{2G}; \quad \Delta \varepsilon_{ij} = \frac{1}{E[(1+\mu)\Delta \sigma_{ij} - \mu \sigma_{ii} \delta_{ij}]} \quad (1)$$

На восходящей ветви "нырка" имело место состояние неполной упругости материала, при котором возникало локальное пластическое деформирование по кручению. На рис. 4 приведены локальные диаграммы $S_1-\Theta_1$, $S_3-\Theta_3$ для излома траектории на 150° . Видно, что с усилением деформирования образца на первом этапе, то есть с увеличением Θ_1 , возрастало и смещение предельной поверхности (рис. 5). Процесс нагружения на всем протяжении "нырка" был пассивным, процесс деформирования – пассивным лишь на ниспадающей ветви "нырка". На восходящей ветви "нырка" процесс деформирования был активным (приращение элементарной работы деформации формоизменения $dA_{\phi} > 0$).

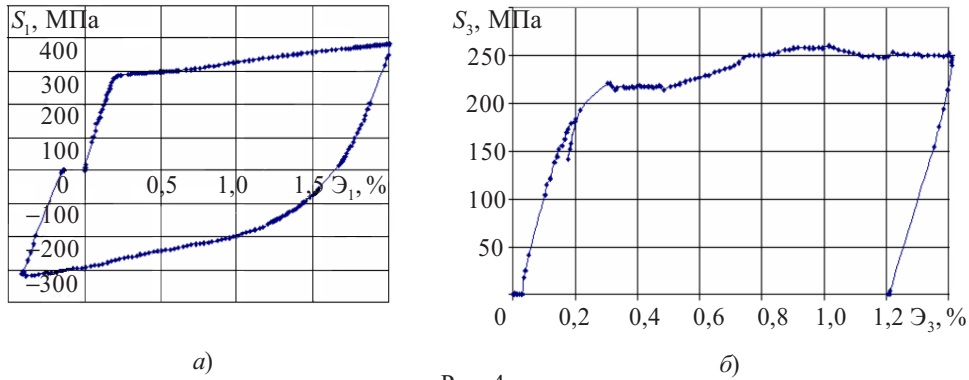


Рис. 4

На рис. 5 изображены три положения предельной поверхности деформирования: начальная соответствует предельной поверхности при $\sigma = \sigma^{\text{т}} = 305$ МПа ($\Theta = \Theta^{\text{т}} = 0,2\%$), вторая – $\Theta_1 = 1\%$, третья – $\Theta_1 = 2\%$.

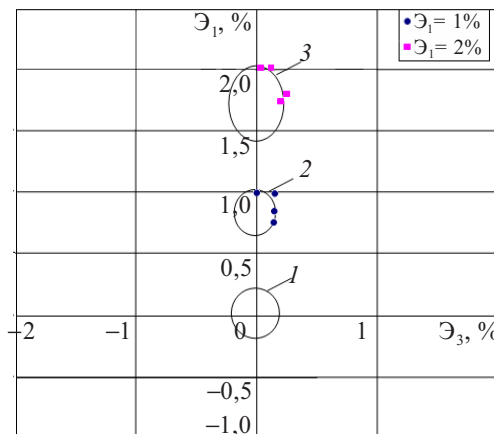


Рис. 5

Данные для построения предельных поверхностей стали Ст45 приведены в таблице.

		$\mathfrak{E}_1 = 1\%$				
Угол изл.	$\sigma_{вр}^t$, МПа	\mathfrak{E}_1 , %	\mathfrak{E}_2 , %	\mathfrak{E}_3 , %	S_1 , МПа	S_3 , МПа
0°	317,35	1,004	0,076	0,000	317,36	0,44
90°	307,22	1,000	0,045	0,152	229,67	136,33
135°	215,16	0,857	0,042	0,147	130,82	170,82
150°	154,95	0,764	0,028	0,142	38,49	189,00

		$\mathfrak{E}_1 = 2\%$				
Угол изл.	$\sigma_{вр}^t$, МПа	\mathfrak{E}_1 , %	\mathfrak{E}_2 , %	\mathfrak{E}_3 , %	S_1 , МПа	S_3 , МПа
0°	381,90	2,000	0,201	0,015	381,90	0,00
90°	325,67	2,000	0,009	0,1034	310,96	96,77
135°	238,23	1,753	0,250	0,250	92,61	178,51
150°	186,07	1,690	0,0141	0,201	27,65	184,00
180°	334,35	-0,059	-0,198	0,020	-334,05	-0,45

Как видно из рис. 5, предельная поверхность деформирования кинематически подвижна. Соответствующая предельная поверхность нагружения (рис. 6) значительно менее подвижна. Хорошо видно, что при сложной разгрузке лишь небольшое число путей разгрузки приводит к полному разгрузению.

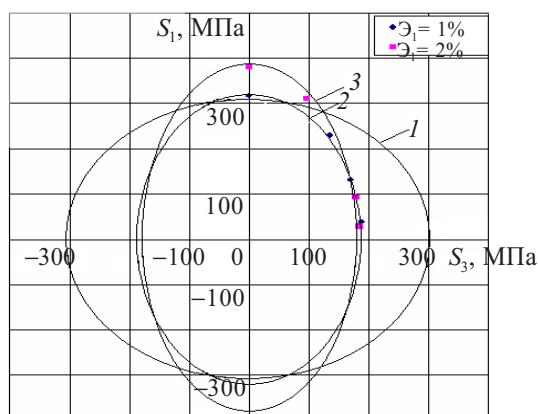


Рис. 6

Динамика движения предельных поверхностей не дает нам сведений, что в точке К может возникнуть конусообразная особая точка, подобная угловой точке на диаграмме. Переход от одного участка к другому на диаграммах происходит достаточно плавно.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- частичная разгрузка материала на ниспадающей ветви "нырка" неполного упругого деформирования практически линейна и подчиняется закону Гука;
- минимальное значение напряжения σ на "нырке" неупругости соответствует моменту протыкания предельной поверхности, образующейся в момент окончания частичной разгрузки;

– на восходящей ветви "нырка" происходит частичное пластическое догружение материала в состоянии неполной упругости в смысле В.Г. Зубчанинова.

Литература

1. Зубчанинов, В.Г. Математическая теория пластичности / В.Г. Зубчанинов. – Тверь: ТГТУ, 2002. – 300 с.
2. Зубчанинов, В.Г. Механика сплошных деформированных сред / В.Г. Зубчанинов. – Тверь: ТГТУ, 2002. – 703 с.
3. Зубчанинов, В.Г. Экспериментальное исследование процессов сложного пластического деформирования материалов по траекториям типа веера / В.Г. Зубчанинов, В.И. Гуляев, Д.В. Зубчанинов // Проблемы прочности и пластичности: Межвуз. сб. // Нижегород. ун-т. – 2005. – Вып. 67. – С. 14–19.
4. Ильюшин, А.А. Пластичность. Ч1. Уруго-пластические деформации / А.А. Ильюшин – Л.: ОГИЗ ГИТТЛ, 1948. – 388 с.

[12.10.2006]

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF LIMITING MATERIAL SURFACE

V.G. Zubchaninov, V.I. Gul'tyayev, D.V. Zubchaninov

The results of the base tests of steel using two-section paths of deformation of a shifted fan type are presented. The deformation diagrams with typical plunges of a passive non-elastic loading are constructed as well as the limiting surfaces of deformation and loading for the different levels of the attained stressed-strained state.