

УДК 539.374

**ПРОЦЕСС ЗАПАЗДЫВАНИЯ  
ПРИ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ****Е.В. БОБКОВА, В.А. КУНЕВИЧ**  
(Представлено: доц. А.Г. ЩЕРБО)

*Рассмотрены результаты экспериментального исследования одного из основных положений теории упругопластических процессов – явления запаздывания векторных и скалярных свойств при сложном нагружении – на примере двухзвенных траекторий при одинаковой длине начального звена и различных углах излома.*

Некоторые элементы современных конструкций, находящихся под воздействием внешних нагрузок, работают в условиях, когда возникающие в них напряжения превышают предел текучести материала, и в конструкции возникают упругопластические деформации. Существует также ряд технологических процессов, использующих пластическое деформирование как метод образования различных конструктивных форм. Для оценки прочностного состояния конструкции, определения условий ее нормальной эксплуатации или определения режима технологического процесса необходимо определить напряженно-деформированное состояние, т.е. использовать зависимости между напряжениями и деформациями, возникающими в процессе деформирования.

К настоящему времени определилось несколько основных направлений развития теории пластичности. Наиболее разработанной в настоящее время является теория упругопластических процессов. Для описания упругопластических процессов простого нагружения построены и обоснованы соотношения теории малых упругопластических деформаций, достоверно описывающих физические закономерности, проявляющиеся при простом и сложном нагружении. В результате исследования процессов сложного нагружения, была создана общая математическая теория пластичности [1], в основе которой лежит постулат изотропии и принцип запаздывания. Согласно принципу запаздывания, ориентация вектора напряжения в какой-либо точке произвольной траектории деформации определяется не всей историей нагружения, а внутренней геометрией отрезка траектории деформации, предшествующего данной точке. Этот отрезок называется следом запаздывания [1].

Целью настоящей работы являлось экспериментальное исследование принципа запаздывания при сложных путях деформирования в условиях плоского напряженного состояния, создававшегося путем растяжения и закручивания трубчатых образцов стали. Испытания проводились на специальной установке, где усилия создавались непосредственным нагружением гириями точного веса, а деформации определялись зеркальными тензодатчиками Мартенса. Образцы – цельнотянутые трубки стали 10 с наружным диаметром  $d = 10$  мм и толщиной стенки  $\sigma = 0,6$  мм, испытывались после рекристаллизационного отжига, имевшего целью снять начальную анизотропию. Дополнительные эксперименты по проверке начальной изотропии показали, что полностью снять анизотропию, полученную материалом при изготовлении цельнотянутых труб, не удалось, поэтому при определении следа запаздывания векторных свойств вносились поправки, учитывающие эту аномалию.

Методика испытаний состояла в следующем. Во всех образцах путем их закручивания создавалась одинаковая начальная деформация. Затем, после часовой выдержки под нагрузкой, осуществлялись под различными углами к первоначальным путям деформирования вторичные лучи траектории деформаций. Углы между направлением первоначальной деформации и вторичными путями составили примерно 95, 100, 125, 140, 155 и 180° (рисунок 1).

В различных точках каждого такого пути строились векторы напряжений, по отклонению которых от касательных к траекториям деформаций делались выводы об исчерпании следа запаздывания векторных свойств.

Анализ результатов показал, что для траекторий деформации с углами излома  $a > 90^\circ$  короче, чем для траекторий, у которых  $a < 90^\circ$  [2].

Для исследования принципа запаздывания скалярных свойств были использованы результаты, полученные при осуществлении указанного вектора траекторий; для всех траекторий были построены графики зависимости «напряжение – деформация». Сравнение этих графиков с графиком при простом нагружении позволяет сделать выводы о наличии запаздывания скалярных свойств и определить длину следа запаздывания.

После точки излома значение напряжения резко уменьшалось и глубина «провала» возрастала с ростом угла излома траектории. При углах излома траектории больше 145° кривая «напряжение – деформация» не выходила на кривую простого нагружения.

Определено, что длина следа запаздывания скалярных свойств зависит от угла излома траектории, увеличиваясь с ростом этого угла. Количественно установить эту зависимость не удалось, возможно, по причине некоторой начальной анизотропии образцов.

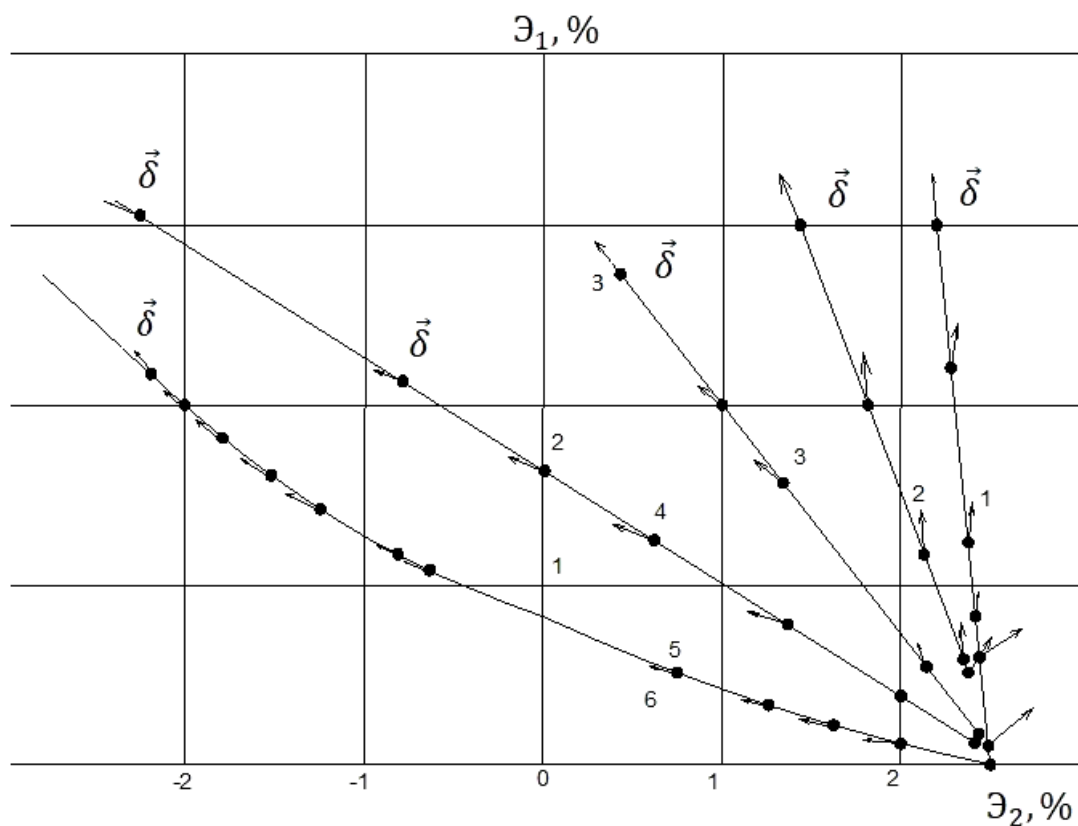


Рисунок 1. – Углы между направлением первоначальной деформации и вторичными путями

Таким образом, явление запаздывания обнаруживается и на траекториях с разгрузками, что свидетельствует о закономерности этого явления, присущей деформированию при сложном нагружении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ильюшин, А.А. Пластичность / А.А. Ильюшин. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – 272 с.
2. Ленский, В.С. Экспериментальная проверка основных постулатов общей теории упругопластических деформаций / В.С. Ленский // Вопросы теории пластичности. – М., 1961. – С. 58–82.
3. Шишмарев, О.А. Экспериментальная проверка законов изотропии и запаздывания и граница текучести при сложном нагружении / О.А. Шишмарев // II Всесоюз. съезд по теорет. и прикл. механике : аннот. докл. – М., 1964. – 234 с.