

УДК 539.374

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПО ТРАЕКТОРИЯМ ПОЛИГОНАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ**

**Е.В. БОБКОВА, В.А. КУНЕВИЧ**  
(Представлено: доц. А.Г. ЩЕРБО)

Приведены результаты исследований упругопластического деформирования по траекториям нагружения с множественными изломами. Исследована зависимость напряжений и деформаций от параметров траектории. Классифицированы траектории, в результате чего выделен класс траекторий, расчёт которых возможен по траекториям простого нагружения.

Напряженное состояние в точках элементов конструкций, воспринимающих внешние воздействия, нередко оказывается таким, что напряжения превышают предел пропорциональности. Достигается такое состояние по траекториям различной геометрии, и нередко история процесса упругопластического деформирования оказывает существенное влияние на результат. Указанные причины определяют актуальность процессов упругопластического деформирования по траекториям сложного нагружения [1], так как для решения ряда прикладных задач становится весьма важной возможность расчёта с использованием теорий простого нагружения.

Цель настоящей работы – исследование процессов упругопластического деформирования по траекториям полигональной геометрии с несколькими точками излома. Нагружение осуществлялось на установке, выполненной по типу «мертвой нагрузки» [2], которая позволяет создавать в образцах плоское напряженное состояние путем их растяжения и кручения. Образцы – цельнотянутые трубки из стали марки 1Х18Н10Т. Наружный диаметр 12 мм, толщина стенки 0,4 мм, рабочая длина образца 160–170 мм, наружная поверхность образцов подвергнута шлифованию.

В работе рассмотрены шесть траекторий нагружения, одна из которых представлена на рисунке 1.

Здесь  $A$  – амплитуда траектории,  $H$  – параметр сложности. Параметр сложности траектории определяется углом излома траектории нагружения  $\alpha$ . Излом траекторий 1–3 происходит в нулевой точке, излом траекторий 4–6 происходит после предварительного нагружения за предел текучести.

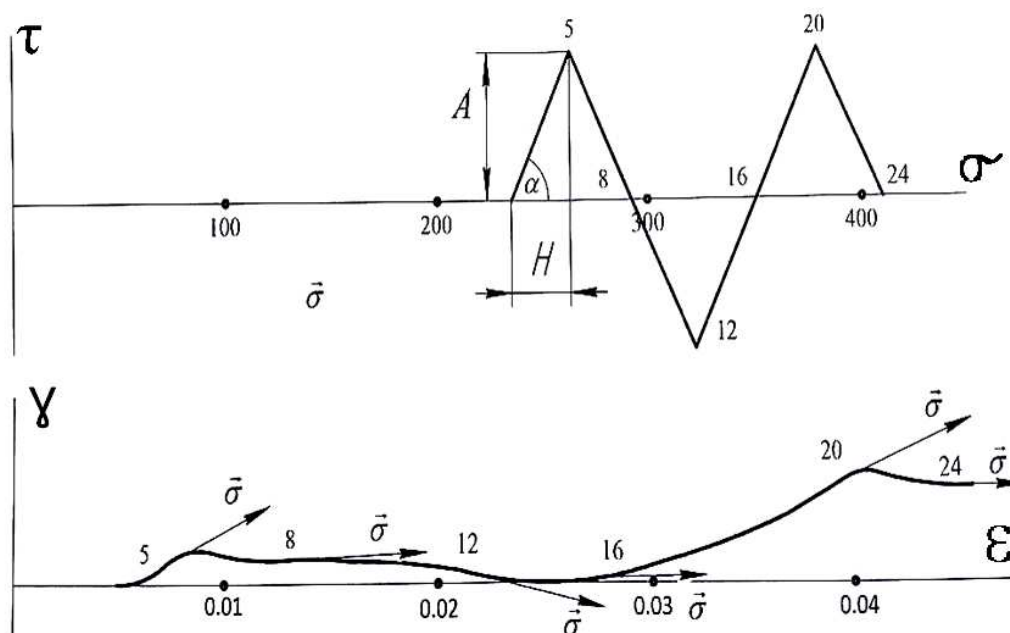


Рисунок 1. – Траектория нагружения

Проведем сравнительный анализ упругопластического деформирования траекторий программы исследований.

Траектории 1 и 3 имеют одинаковый параметр сложности и амплитуды, различающиеся более чем в 3 раза. Полупериод траектории 1 составляет 210 МПа, а траектории 3–620 МПа. На начальных этапах нагружения траектория деформирования в том и другом случаях «следует» за траекторией нагружения,

т.е. векторы напряжения  $\sigma'$ , построенные в соответствующих точках траектории деформации, совпадают с касательными к этой траектории. Искажение начального образа процесса происходит за пределом текучести в обоих случаях. Причем, если точки траектории деформирования 1, пусть и с некоторым запаздыванием, отвечают точкам излома траектории нагружения, то для траектории 3 такое соответствие наблюдается на более низких в сравнении с траекторией 1 уровнях напряжений. Сравнивая процессы 1 и 3, можно сделать заключение: с уменьшением амплитуды  $A$  запаздывание векторных свойств [3] не исчерпывается на прямолинейных участках траекторий. Сравнение скалярных свойств [4] процессов 1 и 3 позволяет сделать вывод о том, что с ростом амплитуды  $A$  скалярные свойства незначительно отличаются от диаграммы простого нагружения для обеих траекторий.

Сравним траектории 2 и 4. Эти траектории отличаются от 1 и 3 тем, что составляющие вектора напряжения, перпендикулярные оси нагружения, изменяют знак. Векторы напряжений, построенные в узловых точках соответствующих траекторий деформирования, совпадают с касательными, тогда как в промежуточных точках такого совпадения нет. Это обстоятельство указывает на то, что след запаздывания [4] векторных свойств исчерпывается на каждом прямолинейном участке траектории. Причем скорость исчерпания следа запаздывания векторных свойств возрастает с ростом параметра сложности траектории нагружения. Данное наблюдение хорошо согласуется с выводами, сделанными в работах [4; 5], где указано, что след запаздывания векторных свойств уменьшается с ростом угла излома траектории.

Траектории 2 и 4 различаются между собой по параметру сложности и по амплитуде, но скалярные свойства этих процессов имеют тенденцию, что и в случаях 1 и 3: с ростом амплитуды скалярные кривые траекторий 2 и 4 больше отличаются от кривой простого нагружения, хотя здесь это различие невелико и носит скорее принципиальный характер. Подтверждением данного замечания служит сравнение скалярных свойств траекторий 2 и 5, имеющих примерно одинаковый параметр сложности и разные амплитуды. Сравнение по указанным ранее признакам траекторий 4 и 5, имеющих одинаковую амплитуду и различные параметры сложности, подтверждает сделанные выше выводы как в отношении векторных, так и скалярных свойств.

Исследуя влияние параметра сложности траектории нагружения, сравним траектории 5 и 6. Эти траектории почти идентичны по параметрам начального нагружения, идентичны по амплитуде и резко отличаются параметром сложности. Различие векторных свойств весьма незначительно, т.е. след запаздывания векторных свойств исчерпывается на прямолинейных участках до точек излома. Интересно отметить, что длины прямолинейных участков траектории 6 короче тех же отрезков траектории 5, и все же след запаздывания векторных свойств исчерпывается в обоих случаях.

Таким образом, можно сделать вывод, что с увеличением параметра сложности вблизи точек излома наблюдается частичная разгрузка. Такое согласование сделанных здесь выводов и результатов работы [4] представляется неслучайным, тем более что работа [4] выполнена по результатам испытаний образцов из той же стали, что и в настоящей работе.

Сравнительный анализ рассматриваемых траекторий позволяет сделать следующие *выводы*.

Для некоторых из данных траекторий, относящихся к классу траекторий сложного нагружения, возможно построение образа процесса по теориям нагружения простого. Наибольшие погрешности при этом не превышают 10–12%, а отличие по деформациям достигает 20% на некоторых участках, расположенных вблизи точек излома. С некоторой осторожностью к приведенной выше рекомендации следует относиться в случае траекторий с большими параметрами сложности, так как на некоторых участках траекторий возникает частичная разгрузка, что приводит к отклонению скалярных свойств в большей степени, чем указано выше.

Изменение амплитуды нагружения, хотя и сказывается на отклонениях скалярных свойств, но в меньшей степени, чем изменение параметра сложности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ильюшин, А.А. Пластичность / А.А. Ильюшин. – М., 1963.
2. Родионов, В.К. Экспериментальное исследование некоторых закономерностей пластического деформирования стали / В.К. Родионов, О.А. Шишмарев, А.Г. Щербо // Прикладные проблемы прочности и пластичности. – Горький, 1982.
3. Шишмарев, О.А. Исследование некоторых сложных процессов нагружения стали с разгрузками / О.А. Шишмарев, А.Г. Щербо // Прикладная механика. – 1982. – № 3.
4. Шишмарев, О.А. Образ процесса нагружения для двухзвенных ломаных траекторий деформации с углом излома более  $90^\circ$  / О.А. Шишмарев, А.Г. Щербо // Изв. АН СССР. Серия «Механика твердого тела». – 1982. – № 5.
5. Щербо, А.Г. Экспериментальная проверка постулата изотропии для траекторий нагружения с разгрузками / А.Г. Щербо // Прикладная механика. – 1990. – № 1.