

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ «НЕЙТРАЛЬНОГО НАГРУЖЕНИЯ»

А. М. КОРЕНЕВА, Г. А. ДОЩИНСКИЙ

(Представлена научным семинаром кафедры сопротивления материалов)

Одним из фундаментальных понятий в теории пластичности является понятие поверхности нагружения, разделяющей области упругого и пластического состояний. Изменение этой поверхности в процессе деформирования соответствует закономерностям упрочнения материала. При этом предполагается, что процессы нагружения, изображаемые движением точки нагружения, по указанной поверхности не сопровождаются приростом пластической деформации (нейтральное нагружение). Исследованию формы поверхности нагружения в последние годы посвящен целый ряд экспериментальных работ [2÷5] и др., из которых следует вывод, что поверхность, аналитически представляемая как функция только 2 инварианта девиатора напряжений, не является поверхностью нейтрального нагружения. Однако закономерности дополнительной пластической деформации при движении по поверхности нагружения указанного вида в настоящее время еще не ясны. В то же время нагружение $\sigma = \text{const}$ может рассматриваться как альтернатива простого нагружения, при которой прирост пластической деформации определяется не приростом напряжений, а лишь влиянием «сложности» процесса нагружения в общем случае. Знание закономерностей этого прироста может способствовать решению общей проблемы сложного нагружения в теории пластичности.

В проведенных ранее исследованиях [6, 7] было установлено, что приращение интенсивности деформации оказывается приблизительно пропорциональным длине дуги траектории нагружения на поверхности гиперболы ($\sigma_1 = \text{const}$) в пятимерном девиаторном пространстве напряжений. Продолжением этих исследований явились описанные ниже эксперименты. Испытания проводились на тонкостенных трубчатых образцах из стали У8, изготовленных из сплошного стержня точением и шлифованием, подвергнутых рекристаллизационному отжигу.

Диаметр образцов 30 мм, при толщине стенки 1 мм. Испытание проводилось на машине ZMDU-30 при различных видах двухстороннего растяжения. Для измерения продольной и поперечной деформации применялись индикаторы с ценой деления 0,01 и 0,001 мм.

Испытания программировались по напряжениям, задаваемым в плоскости двухмерного вектора напряжения S

$$\bar{S} = S_1 \bar{i} + S_2 \bar{j}$$

с компонентами $S_1 = \sqrt{\frac{2}{3}} \left(\sigma_z - \frac{1}{2} \sigma_\theta \right)$, $S_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} \sigma_\theta$. По полученным в опыте величинам осевых и окружных деформаций вычислялись компоненты вектора деформаций

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon_1 \bar{i} + \varepsilon_2 \bar{j}, \quad \varepsilon_1 = \sqrt{\frac{3}{2}} e_z, \quad \varepsilon_2 = \sqrt{2} \left(e_\theta + \frac{1}{2} e_z \right).$$

Модули этих векторов с точностью до постоянного множителя соответствуют интенсивностям напряжений и деформаций

$$|S| = \sqrt{\frac{2}{3}} \sigma_i, \quad |\varepsilon| = \sqrt{\frac{3}{2}} e_i.$$

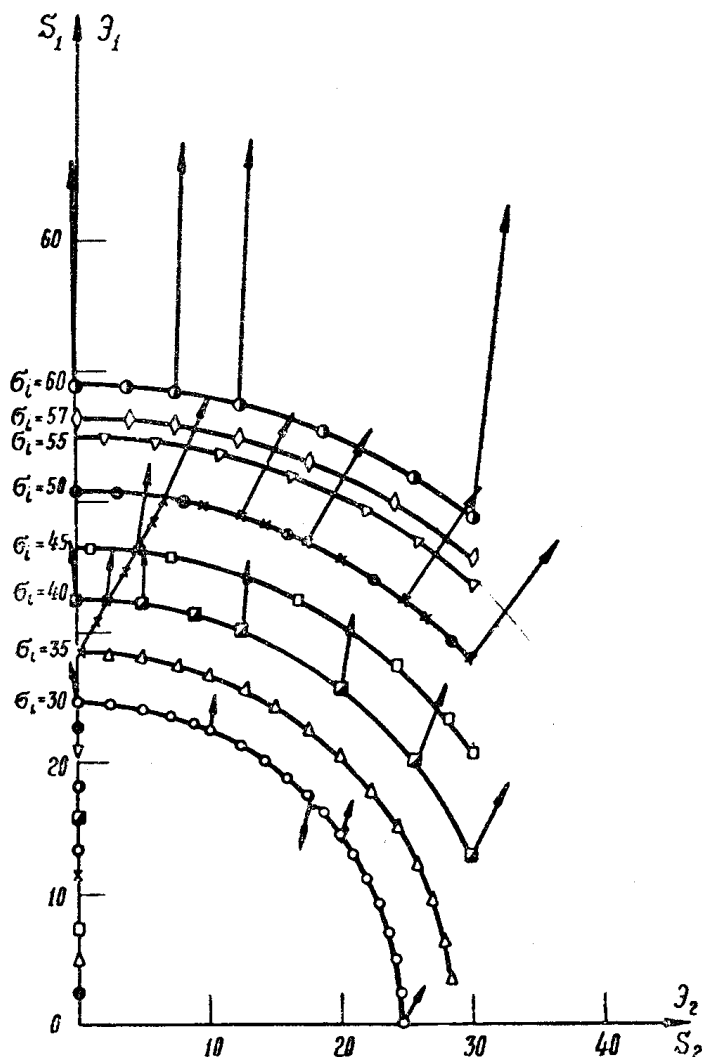


Рис. 1

Четыре образца были испытаны на растяжение в продольном и окружном направлениях с целью проверки свойств изотропии, по данным этих опытов определялись средние значения модуля упругости, коэффициента Пуассона и предела текучести.

При основных испытаниях каждый из образцов выводился растяжением в пластическую область до определенного значения интенсивности

напряжений 30, 35, 40, 45, 50, 55, 57, 60 кг/мм², а затем продольная сила и внутреннее давление изменялись так, чтобы интенсивность напряжений оставалась постоянной.

Для рассматриваемого участка нагружения с постоянной интенсивностью кривизна траектории постоянна в опыте, но различна для каждого образца. Это позволяет устанавливать зависимость приращений пластических деформаций от кривизны траектории нагружения. Другой возможный параметр для этих условий — длина дуги пути нагружения — может быть определен выражением [6]

$$S = \sigma_i \sqrt{\frac{2}{3}} \arcsin \frac{\sigma_\theta \sqrt{3}}{2\sigma_i}.$$

Результаты испытаний представлены на рис. 1 и 2. На рис. 1 показаны векторы пластической деформации в отдельных точках траекторий нагружений (упругие составляющие деформации исключены). Опыты

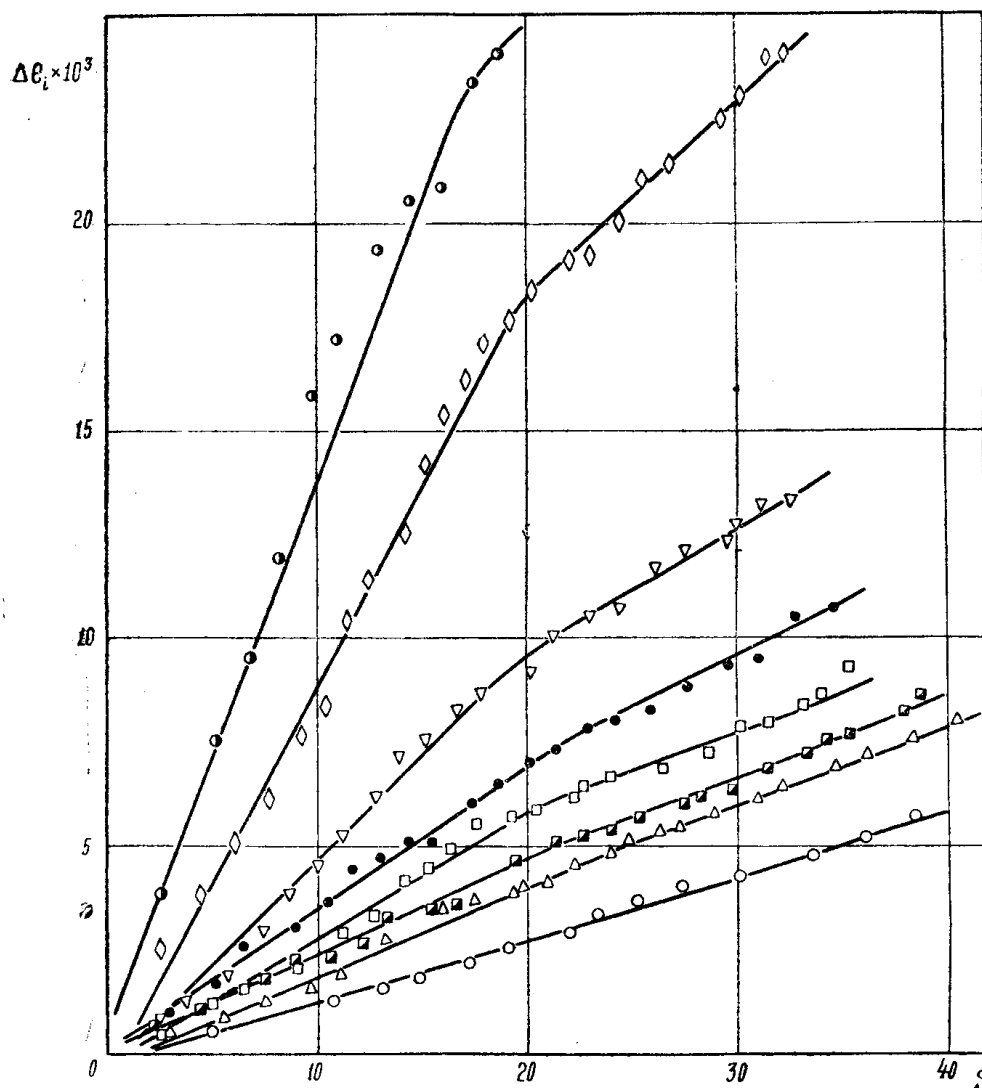


Рис. 2

показывают, что при движении по поверхности постоянной интенсивности имеет место хотя и незначительный, но систематический прирост пластических деформаций.

Приращение интенсивности пластических деформаций, как видно из рис. 2, зависит как от длины траектории нагружения, так и от ее кривизны.

Как и в предыдущих опытах [6], наблюдался вначале приблизительно пропорциональный прирост приращения в зависимости от длины пути нагружения, однако в дальнейшем прирост деформаций заметно снизился.

Вероятно, в предыдущих опытах, где движение проводилось по более ограниченным траекториям, аналогичное состояние не достигалось.

С увеличением радиуса кривизны траектории интенсивность прироста пластических деформаций увеличивается, причем этот прирост оказывается в обратной зависимости от степени упрочнения материала.

Одновременно в работе проводилось изучение свойств запаздывания. Опыты в основном подтверждают то положение, что принцип запаздывания не будет выполняться на траекториях данного вида. Из предположения о том, что при нейтральном нагружении деформация остается упругой, следует коллинеарность векторов напряжений и упругих деформаций на этом участке и соответственно неизменность по модулю и коллинеарность векторов пластических деформаций в различных точках одной траектории.

Определение величин следа запаздывания было определено на траектории нагружения одного из образцов, состоящей из трех участков: растяжения, линейного участка с изломом в 30° и участка постоянной кривизны. След запаздывания приблизительно соответствует длине 2 участка этого испытания. Длина траекторий постоянной кривизны была несравненно большей следа запаздывания. Из рис. 1 видно, что векторы пластической деформации тяготеют к направлению активного процесса нагружения и определенно не совпадают с касательными к траектории нейтрального нагружения на длине, в несколько раз превосходящей след запаздывания. Тем не менее слабое, но систематическое проявление свойств запаздывания наблюдается и при данном виде нагружения.

Следовательно, при движениях по траекториям постоянной интенсивности напряжений наблюдается некоторое изменение как в скалярных, так и в векторных свойствах материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Ильюшин. О связи между напряжениями и малыми деформациями в механике сплошных сред. ПММ вып. 6, № 18, 1954.
2. А. М. Жуков. Некоторые особенности кривой нейтрального нагружения. Изв. АН СССР, № 8, 1958.
3. Hu L. W., Marin J. Anisotropic loading functions for combined stress in the plastic range. J. Appl. Mech. v. 22, No 4, 1955.
4. S. S. Gill, I. Parker. Plastic stress-strain relations hips-some experiments on the effect of loading path and loading history. J. Appl. Mech. v. 2, No 1, 1959.
5. Г. Б. Талыпов. Граница текучести и разрушения малоуглеродистой стали в случае простого и сложного нагружения. Изв. АН СССР, «Механика и машиностроение», № 6, 1961.
6. Г. А. Дощинский, В. И. Максак. Пластическая деформация стали при сложном нагружении с постоянной интенсивностью напряжений. «Механика твердого тела», № 3, Москва, 1966.
7. Г. А. Дощинский, В. И. Максак. Экспериментальное исследование пластических деформаций при сложном нагружении «Механика твердого тела», № 5, Москва, 1966.