

ДЕФОРМАЦИЯ ПРИ ВОЗВРАТНОМ «НЕЙТРАЛЬНОМ» НАГРУЖЕНИИ

А. М. КОРЕНЕВА, Г. А. ДОЩИНСКИЙ

(Представлена научным семинаром кафедры сопротивления материалов)

В теории пластичности широко используется образ поверхности нагружения (текучести) разделяющей в пространстве напряжений упругое и пластическое состояния материала. Выход траектории нагружения за пределы этой замкнутой поверхности приводит к пластической деформации. Процесс нагружения, характеризуемый движением по траекториям внутри ограниченной поверхностью текучести области, сопровождается изменением лишь упругих деформаций. Предполагается также, что движение по самой поверхности текучести (нейтральное нагружение) изменяет только компоненты упругой деформации. Уравнение поверхности нагружения нередко аналитически определяется через посредство 2-го инварианта тензора напряжений.

Однако ряд экспериментов, выполненных в последние годы, показывает, что подобная поверхность не является поверхностью нейтрального нагружения. Движение на поверхности соответствующей постоянству меры нагружения — интенсивности напряжений сопровождается систематическим и закономерным приростом пластической деформации [1], [2]. Как показали предыдущие опыты [1], интенсивность приращений пластических деформаций оказывается приблизительно пропорциональной длине дуги пути нагружения по поверхности гиперболы пятимерного девиаторного пространства напряжений.

Настоящее экспериментальное исследование было посвящено выяснению вопроса, что же будет происходить при возвратном движении по поверхности нагружения.

Опыты проводились на трубчатых тонкостенных образцах в условиях двухосного растяжения под действием предельной силы и внутреннего давления на машине ZDMU — 30 (ГДР).

Образцы были изготовлены токарной обработкой в несколько операций из сплошного прутка стали У8. Рабочая часть образца имела длину 130 мм, диаметр (наружный) — 30 мм, толщину — 1 мм.

Отклонения по внешнему диаметру не превышали $0,03 \div 0,05$ мм, по толщине $0,02 \div 0,04$ мм. Чистовая расточка внутренней поверхности была выполнена с помощью плавающего резца при малой скорости обработки. Изготовленные образцы были подвергнуты рекристаллизационному отжигу в защитной среде (герметические контейнеры с чугунной пылью). Для измерения деформации применялись тензометры с индикаторами часового типа. Цена деления индикаторов продольной деформации — 0,01 мм, поперечной — 0,001 мм.

Заключение об изотропности материала было вынесено после предварительного испытания 4-х образцов по сравнению диаграмм растяжения в продольном и поперечном направлении.

Так как исследуемые деформации были малы, то изменение размеров образца в процессе испытания не учитывалось. Осевые и окружные напряжения и деформации определялись по выражениям:

$$\sigma_z = \frac{P}{F} + \frac{qR}{2t}; \quad \sigma_\theta = \frac{qR}{t}; \quad e_z = \frac{\Delta l}{l}; \quad e_\theta = \frac{\Delta D}{D}.$$

Упругие компоненты деформации вычислялись на основе обобщенного закона Гука по напряжениям и константам упругости, определенных в предварительных испытаниях 4-х образцов. Компоненты пластической деформации определялись как разность замеренных деформаций и соответствующих упругих частей:

$$\mathcal{E}_z = e_z - \frac{1}{E}(\sigma_z - \mu\sigma_\theta); \quad \mathcal{E}_\theta = e_\theta - \frac{1}{E}(\sigma_\theta - \mu\sigma_z).$$

Радиальная пластическая деформация определялась из условия несжимаемости. Радиальное напряжение принималось равным нулю.

Испытания программировались по напряжениям в подпространстве $S_1 - S_2$ пятимерного вектора напряжений А. А. Ильюшина [3].

$$\bar{S} = S_1 \cdot \bar{i} + S_2 \cdot \bar{j}; \quad S_1 = \sqrt{\frac{2}{3}} \left(\sigma_z - \frac{1}{2} \sigma_\theta \right); \quad S_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} \sigma_\theta.$$

Компоненты вектора пластической деформации

$$\bar{\mathcal{E}} = \mathcal{E}_1 \cdot \bar{i} + \mathcal{E}_2 \cdot \bar{j}$$

определялись по выражениям:

$$\mathcal{E}_1 = \sqrt{\frac{3}{2}} \mathcal{E}_z; \quad \mathcal{E}_2 = \sqrt{2} \left(\mathcal{E}_\theta + \frac{1}{2} \mathcal{E}_z \right).$$

Интенсивность напряжений и приращений пластических деформаций вычислялась соответственно по формулам:

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_\theta^2 - \sigma_z \cdot \sigma_\theta}; \quad \Delta \mathcal{E}_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\Delta \mathcal{E}_z^2 + \Delta \mathcal{E}_\theta^2 + \Delta \mathcal{E}_z \cdot \Delta \mathcal{E}_\theta}.$$

Образцы исследуемой серии доводились осевым растяжением до состояния, соответствующего интенсивностям напряжений: 30, 35, 40; 45, 50, 55, 57 кг/мм², а затем изменением внутреннего давления и осевой нагрузки обеспечивалось движение по поверхности соответствующей неизменной для каждого образца интенсивности напряжений. После реализации «нейтрального» нагружения — движения по дуге постоянной кривизны значительной протяженности осуществлялось основное испытание с возвратным движением по предварительно пройденной траектории до состояния простого растяжения.

Реализованные пути нагружения показаны на рис. 1. На участке прямого «нейтрального» нагружения прирост пластической деформации качественно соответствует отмеченным ранее [1] закономерностям.

При возвратном нагружении имелось еще меньше оснований, чем при прямом, ожидать изменения пластического состояния материала, тем не менее опыты показали некоторый систематический (хотя и значительно меньший, чем при прямом нагружении) прирост пластической деформации. Этот прирост находится в прямой зависимости с величиной интенсивности напряжений.

На рис. 2 показаны значения прироста интенсивности пластической деформации в зависимости от длины пути возвратного нагружения. Изменения векторных свойств материала при возвратном движении не наблюдалось. Построение в некоторых точках траектории возвратного движения вектора пластической деформации, как видно из рис. 1, не показывает заметных отклонений от направления, полученного в конце

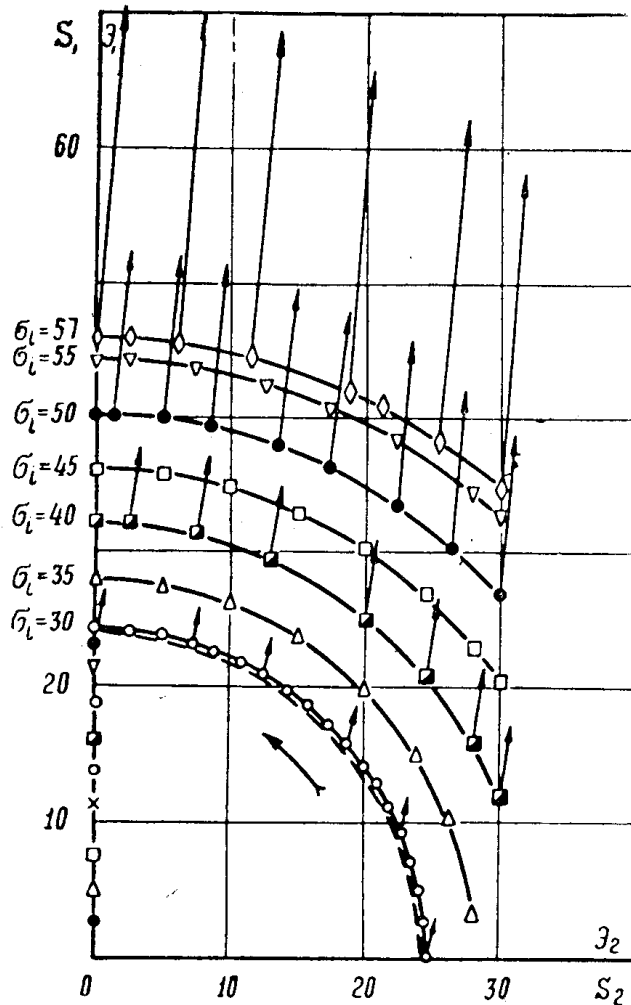


Рис. 1.

участка прямого «нейтрального» нагружения. Как видно из рис. 3, прирост находится в обратной зависимости от степени упрочнения материала. Угловой коэффициент прироста пластической деформации в зависимости от длины пути нагружения приблизительно представляется зависимостью.

$$K = \frac{\Delta \vartheta_i}{S} \approx A \cdot \frac{1}{m}; \quad m = \frac{d\sigma_i}{de_i}; \quad A \approx \frac{1}{45}$$

(при прямом нагружении $A \approx \frac{1}{5}$).

Отмеченный в данных опытах прирост нельзя, по-видимому, объяснить проявлением ползучести, так как отсчеты в опытах производились после 5 мин. выдержки на каждой ступени. Этого времени обычно

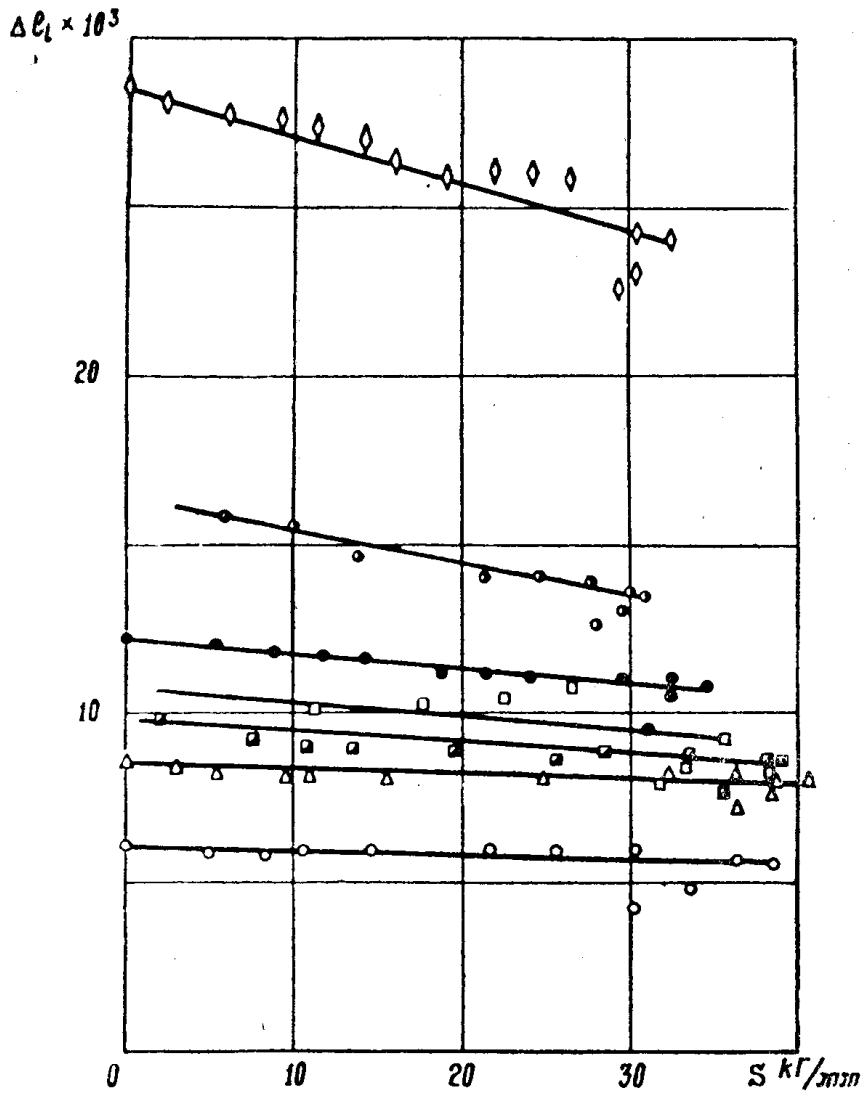


Рис. 2.

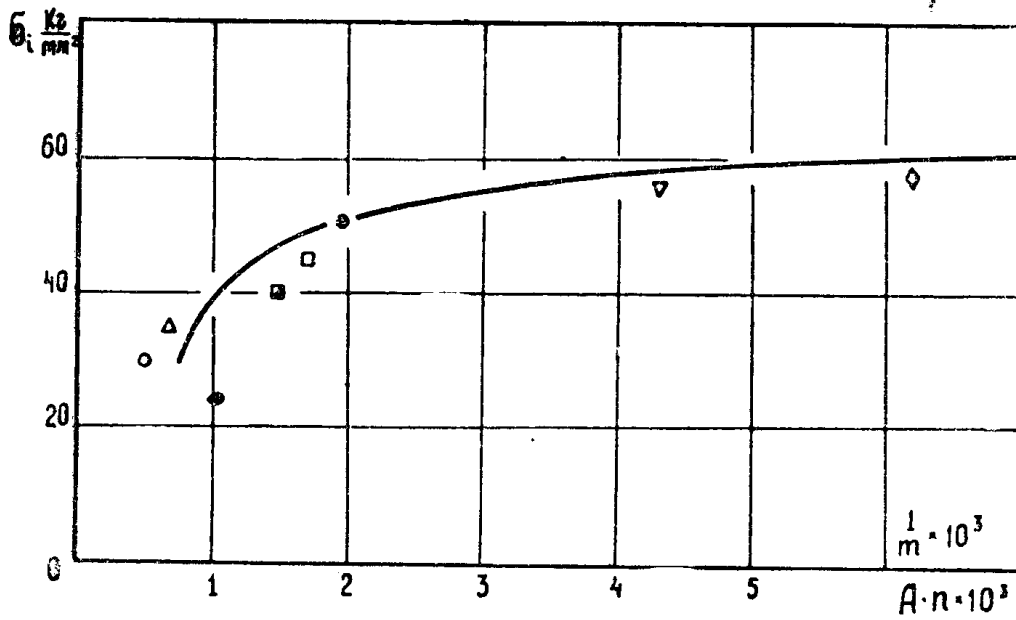


Рис. 3.

достаточно для исключения временных явлений в сталях при комнатных температурах.

Вряд ли можно дать объяснение для такого прироста с позиций деформационных теорий и теорий течения с изотропным упрочнением. С позиций трансляционного упрочнения можно предполагать, что отмеченный прирост является следствием дополнительной трансляции поверхности текучести в период прямого «нейтрального» нагружения с существенным изменением пластического состояния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Дошинский, В. И. Максак. Пластическая деформация стали при сложном нагружении с постоянной интенсивностью напряжений. Инж. журнал Механика твердого тела № 3, изд. АН СССР, 1966.

2. А. М. Жуков. Некоторые особенности кривой нейтрального напряжения. Изв. АН СССР, ОТН № 8, 1958.

3. А. А. Ильюшин, В. С. Ленский. Сопротивление материалов, гос. изд. мат. литературы, Москва, 1959.
