

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КРИВОЙ
НЕЙТРАЛЬНОГО НАГРУЖЕНИЯ****А. М. КОРЕНЕВА, Г. А. ДОЩИНСКИЙ**

(Представлена научным семинаром кафедры сопротивления материалов)

Нейтральное нагружение осуществляется в том случае, когда

$$\frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}} \dot{\sigma}_{ij} = 0. \quad f = 0,$$

где $\dot{\sigma}_{ij}$ — тензор скоростей изменения напряжений.

σ_{ij} — тензор напряжений,

f — функция нагружения, т. е. когда путь нагружения идет по касательной к поверхности нагружения [1]. Функция f в девятимерном пространстве напряжений определяет поверхность, которая называется поверхностью нагружения или граничной поверхностью. Эта поверхность отделяет область напряженных состояний, которые в элементе тела могут вызвать лишь изменение упругих деформаций от области пластических деформаций.

В пространстве главных напряжений при плоском напряженном состоянии этой поверхности соответствует некоторая кривая — кривая нейтрального нагружения. В целях изучения формы кривой нейтрального нагружения проведен ряд экспериментов, описанных в работах Марина и Ху [2—4], Жукова [5], Талыпова [6, 7] и др. Появился также ряд гипотез об изменении формы поверхности нейтрального нагружения в процессе деформации, предполагающих расширение предельной поверхности или ее трансляцию. Особенности упрочнения материалов, наблюдаемые в экспериментах, нередко не согласуются с предложенными схемами изменения указанной поверхности. Установление действительной формы граничной поверхности и закона ее изменения возможно лишь на основе широких экспериментов, поставленных в различных условиях. Настоящее исследование является некоторым дополнением в этом отношении.

Опыты проведены на трубчатых образцах из меди диаметром 34,8 мм, толщиной стенки 1,5 мм, с длиной рабочей части 130 мм. Образцы были предварительно отождены. Испытания проводились на машине для сложного нагружения ZMDU-30. В процессе эксперимента с помощью механических тензометров определялись окружная и осевая деформации. Для проверки свойств изотропии по 2 образца были испытаны на растяжение в продольном и поперечном направлениях. Кривые расходились на 3—5%, что позволило сделать заключение о достаточной степени изотропии.

Методика экспериментов состояла в том, что каждый образец деформировался внутренним давлением и осевой силой до опреде-

ленного значения интенсивности напряжений при отношении $\frac{\sigma_{\theta}}{\sigma_z} = 1$, а затем полностью разгружался. После предварительного нагружения и разгрузки производилось повторное нагружение, причем каждый образец нагружался по своему прямолинейному пути в первом квадрате плоскости $(\sigma_{\theta}, \sigma_z)$.

Первые четыре образца (1, 2, 3, 4) были нагружены до интенсивности напряжений $\sigma_i = 1000 \text{ кг/см}^2$, полностью разгружены, повторное нагружение осуществлялось при отношениях

напряжений $\frac{\sigma_z}{\sigma_{\theta}} = 0,5; 0,6; 0,7; 0,8$

соответственно. Пятый и шестой образцы первоначально были нагружены до интенсивностей 1250; 1450 кг/см^2 , повторное нагружение осуществлялось по лучам при отношении напряжений $\frac{\sigma_{\theta}}{\sigma_z} = 0,3; 0$. На рис. 1 приведены

кривые зависимостей $\sigma_i - e_i$ повторных нагружений и исходная диаграмма растяжения материала $\sigma_i = \Phi(e_i)$. По кривым $\sigma_i - e_i$ повторного нагружения определялся условный предел текучести σ_{is} , как напряжение при остаточной деформации $e_{is} = 0,172 \%$, что соответствует допуску 0,2 % при растяжении. Для каждого значения σ_{is} находились соответствующие значения σ_{θ} и σ_z по построенным для каждого отношения напряжений графикам $\sigma_{\theta}, \sigma_z - \sigma_i$. На рис. 2 построены кривые нейтрального нагружения в относительных координатах $\frac{\sigma_{\theta}}{\sigma_{is}}, \frac{\sigma_z}{\sigma_{is}}$ и $\frac{S_1}{\sigma_{is}}, \frac{S_2}{\sigma_{is}}$.

σ_{is} — конечное значение интенсивности напряжений. Пунктирная линия на этой фигуре представляет эллипс Губера—Мизеса, проведенный через конечную точку первого нагружения

в координатах $\frac{\sigma_{\theta}}{\sigma_{is}}, \frac{\sigma_z}{\sigma_{is}}$ и перестроенный в окружность в координатах

$$\frac{S_1}{\sigma_{is}} - \frac{S_2}{\sigma_{is}}; S_1 = \frac{\sqrt{2}}{3} \left(\sigma_z - \frac{1}{2} \sigma_{\theta} \right), S_2 = \frac{\sigma_{\theta}}{\sqrt{2}}.$$

Кружок с крестиком обозначает конечную точку первого нагружения.

Результаты этого эксперимента приводят к следующему заключению. Кривая нейтрального нагружения касается внутри эллипса Губера—Мизеса, что указывает на то, что нагружение, производимое вдоль эллипса Губера—Мизеса, вызовет появление пластических деформаций. Симметрия предварительного нагружения, равноправность напряжений

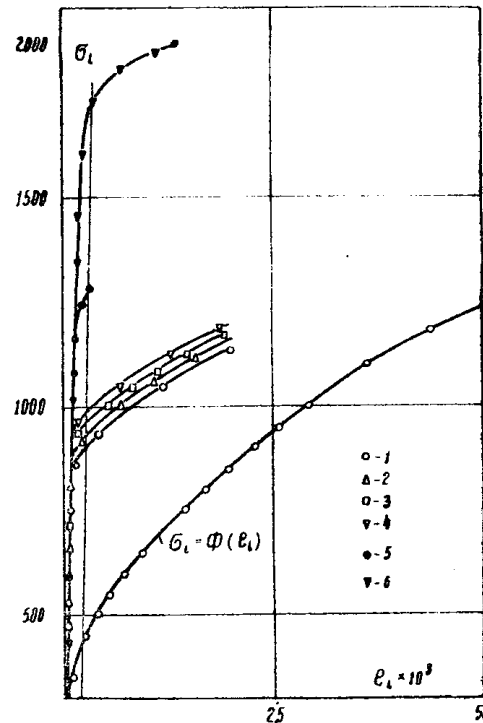


Рис. 1

σ_θ и σ_z и изотропия материала позволяют предполагать и симметричное изменение кривой нейтрального нагружения в этих условиях. С увеличением степени пластической деформации граница текучести расширяется

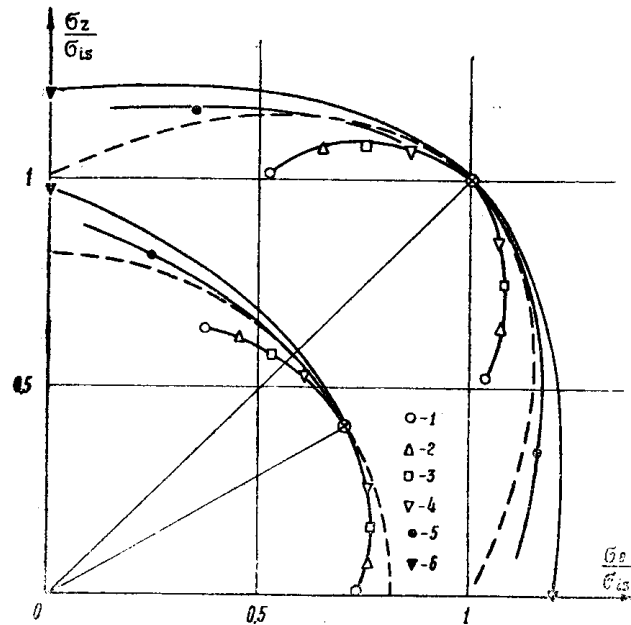


Рис. 2

и в рамках условия пластичности Губера-Мизеса, оказывается смещенной в направлении предварительного нагружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. М. Нахди. Соотношения между напряжениями и деформациями в пластичности и термопластичности. Сб. Механика, ИЛ, № 1 (71), 87—122(1962). Изд. иностр. литературы.
2. Marin I., Hu L. W. Biaxial plastic stress-strain relations of mild steel for variable stress ratios. Trans. ASME, v. 78, No 3, 1956.
3. Marin I., Hu L. W. On the validity of assumptions made in theories of plastic flow for metals. Trans. ASME, v. 75, No 6, 1953.
4. Hu L. W., Marin I. Anisotropic loading functions for combined stress in the plastic range. J. Appl. Mech. v. 22, No 1, 1955.
5. А. М. Жуков. Некоторые особенности кривой нейтрального нагружения. Изв. АН СССР, отд. техн. наук, № 8, 1958.
6. Г. Б. Талыпов. Границы текучести и разрушения малоуглеродистой стали в случае простого и сложного нагружения. Влияние старения, Изв. АН СССР, ОТН. Механика и машиностроение, № 6, 1961.
7. Г. Б. Талыпов. Влияние предварительной пластической деформации на границе текучести и разрушения меди. Исследование по упругости и пластичности. Сб. 4, 1965. Изд. Ленинградского университета.