4. *Дьяконов Е. Г., Столяров Н. Н.* О реализации эффективных итерационных методов для разностных статических задач теории пластин и оболочек//Численные методы решения задач теории упругости и пластичности: Материалы V Всесоюз. конф. Новосибирск, 1978. Ч. II. С. 55—75.

5. *Дьяконов Е. Г., Столяров Н. Н.* Расчет на прочность труб переменной толщины на основе теории пологих оболочек//Численные методы механики сплошной среды. Новосибирск, 1978. Т. 9. № 6. С. 47—62.

6. *Дьяконов Е. Г., Столяров Н. Н.* О решении нелинейных статических задач теории пластин и оболочек//Численные методы механики сплошной среды. Новосибирск, 1979. Т. 10. № 5. С. 39—62.

7. *Столяров Н. Н., Неронов Л. В.* Большие прогибы упругопластических неоднородных пластин и пологих оболочек переменной жесткости//Тр. семинара по теории оболочек. Казань: КФТИ КФ АН СССР, 1977. Вып. 9. С. 48—56.

8. *Столяров Н. Н., Неронов Л. В.* Упругопластический изгиб гибких пологих оболочек переменной кривизны и жесткости//Прикладная теория упругости: Межвуз. науч. сб. Саратов: Сарат. политехн. ин-т, 1980. С. 20—27.

9. *Столяров Н. Н.* Несимметричные задачи упругопластического изгиба пологих оболочек и пластин переменной жесткости//Прочность и устойчивость оболочек: Тр. семинара. Казань: КФТИ КФ АН СССР, 1980. Вып. 13. С. 47—58.

10. *Столяров Н. Н., Тарасов А. П.* Единообразное представление и аппроксимация экспериментальных данных по связи напряжений и деформаций на двухзвенных траекториях//Прочность и надежность конструкций: Межвуз. сб. науч. тр. Куйбышев, 1981. С. 111—127.

11. *Столяров Н. Н., Васин Р. А.* Исследование прочности пластин и оболочек на основе метода СН—ЭВМ//Повышение долговечности и надежности машин и приборов: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. Куйбышев, 1981. С. 348—349.

12. *Столяров Н. Н., Пестровский Г. М.* Устойчивость и большие прогибы длинных упругопластических панелей переменной жесткости и кривизны//Прикл. механ. Киев, 1980. Т. XVI. Вып. 3. С. 56—59.

13. *Столяров Н. Н., Рябов А. А.* Устойчивость и закритическое поведение прямоугольных пластин переменной толщины//Исследования по теории оболочек: Тр. семинара. Вып. 15. Казань: КФТИ КФАН СССР, 1982. С. 135—145.

14. *Корнишин М. С., Столяров Н. Н.* Об одном алгоритме расчета пластин и оболочек, близких к равнопрочным//Труды семинара по теории оболочек. Казань: КФТИ АН СССР, 1975. Вып. 6. С. 187—195.

15. *Корнишин М. С., Александров М. А., Столяров Н. Н.* К расчету близких к равнопрочным гибких пластин и пологих оболочек численным методом//Численные методы решения задач теории упругости и пластичности: Материалы IV Всесоюз. конф. Новосибирск: СО АН СССР, 1976. Ч. II. С. 69—76.

16. *Столяров Н. Н., Пестровский Г. М.* Об одном алгоритме решения задач оптимизации пластин и оболочек//Исследования по теории оболочек: Тр. семинара. Вып. 15. Казань: КФТИ КФ АН СССР, 1982. С. 127—134.

17. *Петров В. В.* Метод последовательных нагружений в нелинейной теории пластин и оболочек. Саратов: Сарат. ун-т, 1975. 173 с.

18. *Стриклин, Хейслер, Реземанн.* Оценка процедур для анализа геометрически нелинейных конструкций с нелинейным поведением материала//Ракет. техн. и космонавтика. 1973. № 3. С. 63—72.

19. *Wachspress E. L.* Iterative solution of elliptic diffusion equations of reactor physics. New York, 1966. P. 31—42.

УДК 539.4

В. П. РАДЧЕНКО, Е. В. ПАНФЕРОВА

СТРУКТУРНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛОВ В ОДНООСНОМ СЛУЧАЕ

С позиций механики микронеоднородных сред при помощи математической структурной модели описана диаграмма упругопластического деформирования, включая участок неустойчивого деформирования. Проанализирована кинетика полей микронапряжений, соответствующих различным характерным точкам диаграммы. Выполнена экспериментальная проверка предложенной методики. Наблюдается хорошее соответствие расчетных и экспериментальных данных.

Хорошо известно, что многие промышленные и природные поликристаллические материалы даже малого объема с точки зрения механики микронеоднородных сред представляют сложную статически неопределимую систему случайно ориентируемых кристаллических зерен. Общепризнанным является факт временного влияния процессов неупругого деформирования и накопления рассредоточенных по объему материала микроповреждений, которые обуславливают ряд нелинейных эффектов, описать которые с феноменологических позиций довольно трудно. Поэтому в теории ползучести и пластичности наряду с феноменологическими теориями, устанавливающими связь между макроскопическими свойствами материала, возникает необходимость в рассмотрении математических моделей микромеханизма деформирования и разрушения материала с целью более полного описания его поведения при термомеханических воздействиях. Это дает представление о том, каким образом формируются макроскопические характеристики материала, и позволяет более обоснованно выбрать подходящий вариант феноменологической теории. Для этой цели используют структурные математические модели среды, учитывающие неравномерность развития необратимых деформаций и представляющие собой совокупность некоторых гипотетических локальных элементов, наделенных свойствами упругости, пластичности и ползучести. Основные принципы построения таких математических моделей, отражающих важнейшие закономерности упругопластического деформирования и ползучести, даны, например, в работах [1, 2].

Целью настоящей работы является попытка развития такого подхода для описания процесса упругопластического одноосного деформирования и разрушения металлов, включая описание стадии неустойчивого (закритического) деформирования. Для решения поставленной задачи используется структурная модель, предложенная в работе [3].

Поликристаллический материал моделируется системой хаотически ориентируемых однородных стержней одинаковой длины, работающих на растяжение-сжатие. Каждый локальный элемент этой системы (стержень) наделяется простейшими деформационными свойствами: линейной упругостью и идеальной пластичностью, которые, по-видимому, являются основными микромеханизмами упругопластической деформации [4—6]. В таком случае задача одноосного деформирования образца сводится к изучению поведения стержневой конструкции (рис. 1), а деформация элементарного стержня представится в виде [3]

$$\varepsilon_i = e_i + e^P_i. \qquad (1)$$

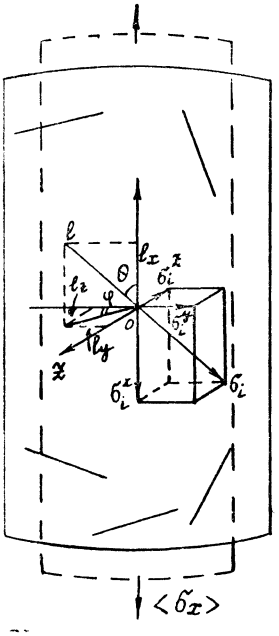


Рис. 1. Схематическое изображение структурной модели при одноосном растяжении

Здесь $e_i=\sigma_i/E_м$ — упругая деформация ($E_м$ — микромодуль Юнга); e_i^P — пластическая деформация, где i — номер стержня; σ_i — микронапряжение в элементарном стержне.

Ориентация стержня задается углами Θ и φ (см. рис. 1), где Θ—угол

между стержнем и осью OX, φ — угол между проекцией стержня на плоскость OYZ и ось OY $(0 \leqslant \Theta \leqslant \frac{\pi}{2}\ ;\ 0 \leqslant \varphi \leqslant 2\pi)$.

Обозначим через $\sigma = \sigma(\Theta, \varphi)$ — напряжение, возникающее в стержне (микронапряжение); $\varepsilon = \varepsilon(\Theta, \varphi)$ — деформацию стержня (микродеформацию); $<\sigma_x>$, $<\sigma_y>$, $<\sigma_z>$ — приложенные к образцу макронапряжения; $<\varepsilon_x>$, $<\varepsilon_y>$, $<\varepsilon_z>$ — продольную и поперечные макродеформации образца соответственно.

В [3] были получены уравнения равновесия

$$<\sigma_x> = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \cos^2\Theta \sin\Theta d\Theta \int_0^{2\pi} \sigma(\Theta, \varphi) d\varphi; \tag{2}$$

$$\int_0^{\pi/2} \sin^3\Theta d\Theta \int_0^{2\pi} \sigma(\Theta, \varphi) |\cos^2\varphi| d\varphi = 0;$$

$$\int_0^{\pi/2} \sin^3\Theta d\Theta \int_0^{2\pi} \sigma(\Theta, \varphi) |\sin^2\varphi| d\varphi = 0 \tag{3}$$

и уравнения совместности деформации

$$\varepsilon(\Theta, \varphi) = <\varepsilon_x> \cos^2\Theta + <\varepsilon_y> \sin^2\Theta, \tag{4}$$

где $<\varepsilon_x>$, $<\varepsilon_y>$ — макродеформации образца ($<\varepsilon_y> = <\varepsilon_z>$ в силу симметрии задачи).

Для установления связи между микро- и макродеформацией введена гипотеза однородности деформации по объему в виде

$$<\varepsilon_x> = \varepsilon(0, \varphi);$$

$$<\varepsilon_y> = <\varepsilon_z> = \varepsilon\left(\frac{\pi}{2}, 0\right) = \varepsilon\left(\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right). \tag{5}$$

Используя предел пропорциональности $\sigma_{пр}$ на диаграмме упругопластического деформирования в [3], получили зависимость для $\sigma_{тм} = 3\sigma_{пр}$ и установили связь между макромодулем $<E>$ и микромодулем: $3E_м = <E>$.

Рассмотрим кинетику деформирования и разрушения металлов на основании структурной модели (2) — (5), представленную на рис. 2, *а—е*, которые соответствуют различным возрастающим значениям e^P.

а. Диаграмма микронапряжений соответствует упругому состоянию, когда $|\sigma(\Theta)| < \sigma_{тм} \left(0 \leqslant \Theta \leqslant \frac{\pi}{2}\right)$.

б. В этом случае часть стержней при $0 \leqslant \Theta \leqslant \alpha_1$ достигла предела текучести: $\sigma(\Theta) = \sigma_{тм}$. Таким образом, имеем две зоны: упругопластического растяжения $(0 \leqslant \Theta \leqslant \alpha_1)$ и упругого состояния $(\alpha_1 \leqslant \Theta \leqslant \pi/2)$.

в. Этот случай соответствует состоянию, когда микронапряжение сжатия в локальном элементе при $\Theta = \frac{\pi}{2}$ достигло микропредела текучести сжатия, то есть $\sigma(\pi/2) = -\sigma_{тм}$. Здесь наряду с зоной упругопластического растяжения появилась зона упругопластического сжатия.

г. По мере увеличения e^P в процессе упругопластического деформирования происходит развитие упругопластических зон растяжения $\sigma(\Theta) = \sigma_{тм}$ $(0 \leqslant \Theta \leqslant \alpha_1)$ и сжатия $\sigma(\Theta) = -\sigma_{тм}$ $(\alpha_2 \leqslant \Theta \leqslant \pi/2)$.

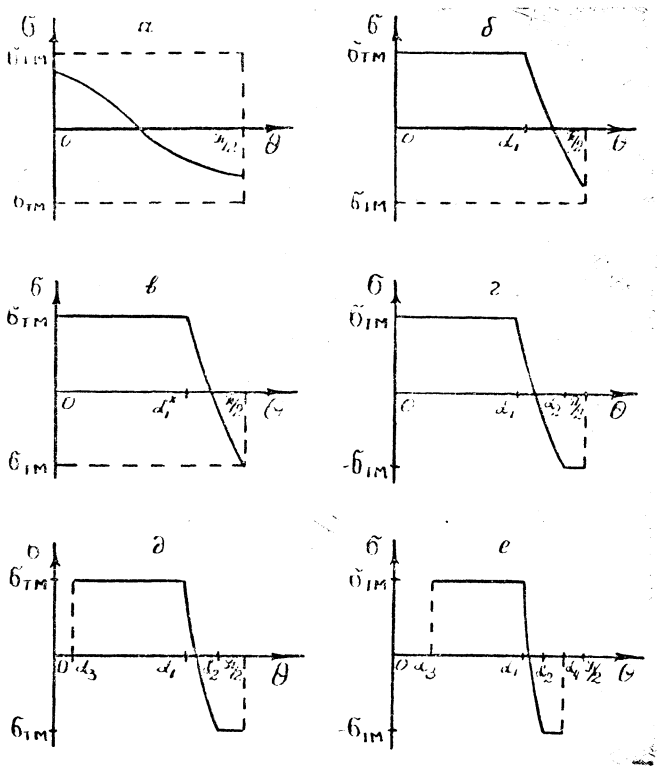


Рис. 2. Диаграммы упругопластического деформирования материала

д. Этот случай соответствует состоянию материала, когда одни наиболее нагруженные (растянутые) локальные элементы при $0 \leqslant \Theta \leqslant \alpha_3$ уже разрушились, другие — упругопластически растянуты ($\alpha_3 \leqslant \Theta \leqslant \alpha_1$), третьи ($\alpha_1 \leqslant \Theta \leqslant \alpha_2$) — находятся в упругом состоянии, а оставшиеся локальные элементы при $\alpha_2 \leqslant \Theta \leqslant \frac{\pi}{2}$ — упругопластически сжаты. В качестве критерия разрушения локального элемента использовался деформационный критерий разрушения, т. е. считалось, что каждый локальный элемент разрушался при выполнении условия $e^P(\Theta) = e^*_P$, где e^*_P соответствует точке локального экстремума на диаграмме упругопластического деформирования образца (рис. 3).

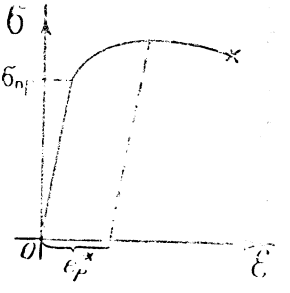


Рис. 3. Диаграмма упругопластического деформирования образца

е. Эта схема иллюстрирует дальнейший ход процесса микроразрушения образца, когда начинают разрушаться пластически сжатые стержни при достижении пластической деформацией в локальном элементе значений $e^P(\Theta) = -e^*_P$.

Опишем математически каждую из схем, представленных на рис. 2.

Для случая *а* система уравнений получается из уравнений (2)—(5) и закона Гука и имеет вид

$$\begin{cases} \sigma(\Theta) = 3\langle\sigma_x\rangle(\cos^2\Theta - \frac{1}{4}\sin^2\Theta); \\ \varepsilon(\Theta) = \sigma(\Theta)/E_м. \end{cases} \quad (6)$$

Рассмотрим состояние образца в случае *б*, для которого микронапряжения $\sigma(\Theta) = \sigma_{тм}$ $(0 \leqslant \Theta \leqslant \alpha_1)$ и $\sigma(\Theta)$ удовлетворяют упругому распределению при $\alpha_1 \leqslant \Theta \leqslant \pi/2$.

Из уравнения совместности при $\Theta = \alpha_1$ имеем

$$\varepsilon(\alpha_1) = \langle\varepsilon_x\rangle\cos^2\alpha_1 + \langle\varepsilon_y\rangle\sin^2\alpha_1.$$

С использованием закона Гука последнее равенство принимает вид

$$\frac{\sigma_{тм}}{E} = \langle\varepsilon_x\rangle\cos^2\alpha_1 + \frac{\sigma(\frac{\pi}{2}, 0)}{E}\sin^2\alpha_1,$$

откуда

$$\langle\varepsilon_x\rangle = \frac{1}{\cos^2\alpha_1 \cdot E}(\sigma_{тм} - \sigma(\pi/2, 0)\sin^2\alpha_1). \quad (7)$$

Подставляя (7) в (4) и используя закон Гука, получим

$$\sigma(\Theta) = \frac{\sigma_{тм} - \sigma(\pi/2, 0)\sin^2\alpha_1}{\cos^2\alpha_1}\cos^2\Theta + \sigma(\frac{\pi}{2}, 0)\sin^2\Theta. \quad (8)$$

Учитывая распределение $\sigma(\Theta)$ для данного случая и (8), уравнения равновесия приводятся к виду

$$\begin{cases} \langle\sigma_x\rangle = 2\left[\int_0^{\alpha_1} \sigma_{тм}\cos^2\Theta\sin\Theta d\Theta + \int_{\alpha_1}^{\pi/2} \frac{\sigma_{тм} - \sigma(\pi/2, 0)\sin^2\alpha_1}{\cos^2\alpha_1} \times \right. \\ \left. \times \cos^4\Theta\sin\Theta d\Theta + \int_{\alpha_1}^{\pi/2} \sigma(\frac{\pi}{2}, 0)\cos^2\Theta\sin^3\Theta d\Theta\right]; \\ \int_0^{\alpha_1} \sigma_{тм}\sin^3\Theta d\Theta + \int_{\alpha_1}^{\pi/2} \frac{\sigma_{тм} - \sigma(\pi/2, 0)\sin^2\alpha_1}{\cos^2\alpha_1}\cos^2\Theta\sin^3\Theta d\Theta + \\ + \int_{\alpha_1}^{\pi/2} \sigma(\frac{\pi}{2}, 0)\sin^5\Theta d\Theta = 0. \end{cases} \quad (9)$$

После интегрирования (9) получаем систему уравнений

$$\begin{cases} \langle\sigma_x\rangle = \frac{2}{15}[5\sigma_{тм} - 2\cos^3\alpha_1(\sigma_{тм} - \sigma(\frac{\pi}{2}, 0))]; \\ 5\sigma_{тм} - 5\cos\alpha_1(\sigma_{тм} - \sigma(\frac{\pi}{2}, 0)) + \cos^3\alpha_1(\sigma_{тм} - \sigma(\frac{\pi}{2}, 0)) = 0. \end{cases} \quad (10)$$

Неизвестными в (10) являются $\langle\sigma_x\rangle$, α_1, $\sigma(\frac{\pi}{2}, 0)$, т. е. три неизвестных, а уравнений — два. Однако в процессе упругопластического нагружения при феноменологическом подходе известна скорость нагружения $\langle\varepsilon_x\rangle$ (в некоторых случаях — скорость $\langle\sigma_x\rangle$), поэтому одну из величин в (10) можно задавать и решать (10) относительно двух других. Задавая, например, α_1, из первого уравнения (10) определяется $\sigma(\frac{\pi}{2}, 0)$ и далее из второго — $\langle\ _x\rangle$.

Рассмотрим состояние, соответствующее схеме на рис. 2, *в*. Здесь $\sigma(\Theta) = \sigma_{тм}$ $(0 \leqslant \Theta \leqslant \alpha^*_1)$, $\sigma(\Theta) = -\sigma_{тм}$ $(\Theta = -\frac{\pi}{2})$ и $\sigma(\Theta)$ соответствует

упругому состоянию при $\alpha^*_1 \leqslant \Theta \leqslant \frac{\pi}{2}$. Аналогично предыдущему случаю из уравнений равновесия и уравнения совместности при $\Theta = \alpha^*_1$ получим систему уравнений

$$\begin{cases} <\sigma_x> = \frac{2\sigma_{тм}}{15}[5 - 4\cos^3\alpha_1^*]; \\ 5 + 2\cos^3\alpha_1^* - 10\cos\alpha_1^* = 0; \\ <\varepsilon_x> = \frac{\sigma_{тм}}{E \cdot \cos^2\alpha_1}(1 + \sin^2\alpha_1^*). \end{cases} \tag{11}$$

Из второго уравнения системы (11) можно определить значение угла α^*_1, что позволяет найти $<\sigma_x>$ и $<\varepsilon_x>$. В частности, распределение поля микронапряжений в упругой области $\alpha^*_1 \leqslant \Theta \leqslant \pi/2$ имеет вид

$$\sigma(\Theta) = \frac{\sigma_{тм}(1 + \sin^2\alpha_1^*)}{\cos^2\alpha_1^*}\cos^2\Theta - \sigma_{тм}\sin^2\Theta. \tag{12}$$

Аналогично можно получить математические модели для остальных случаев. Для схемы, соответствующей рис. 2, *г*, имеем систему

$$\begin{cases} <\varepsilon_x> = -\frac{\sigma_{тм}}{E}\frac{\sin^2\alpha_1 + \sin^2\alpha_2}{\cos^2\alpha_2 - \cos^2\alpha_1}; \\ <\varepsilon_y> = \frac{\sigma_{тм}}{E}\frac{\cos^2\alpha_1 + \cos^2\alpha_2}{\cos^2\alpha_2 - \cos^2\alpha_1}; \\ <\sigma_x> = \frac{2\sigma_{тм}}{15(\cos^2\alpha_2 - \cos^2\alpha_1)}[5(\cos^2\alpha_2 - \cos^2\alpha_1) - \\ -4(\cos^5\alpha_2 - \cos^5\alpha_1)]; \\ 2\sigma_{тм}[2(\cos^5\alpha_2 - \cos^5\alpha_1) - 10(\cos^3\alpha_2 - \cos^3\alpha_1) + \\ +5(\cos^2\alpha_2 - \cos^2\alpha_1)]/15(\cos^2\alpha_2 - \cos^2\alpha_1) = 0. \end{cases} \tag{13}$$

Для схемы, представленной на рис. 2, *д*, система имеет вид

$$\begin{cases} <\sigma_x> = \frac{2\sigma_{тм}}{15(\cos^2\alpha_2 - \cos^2\alpha_1)}[5\cos^3\alpha_3(\cos^2\alpha_2 - \cos^2\alpha_1) - \\ -4(\cos^5\alpha_2 - \cos^5\alpha_1)]; \\ \sigma_{тм}[4(\cos^5\alpha_2 - \cos^5\alpha_1) - 20(\cos^3\alpha_2 - \cos^3\alpha_1) - 5(\cos^2\alpha_2 - \\ -\cos^2\alpha_1)\cdot(\cos^3\alpha_3 - 3\cos\alpha_3)]/15(\cos^2\alpha_2 - \cos^2\alpha_1) = 0; \\ <\varepsilon_x> = -\frac{\sigma_{тм}}{E}\frac{\sin^2\alpha_1 + \sin^2\alpha_2}{\cos^2\alpha_2 - \cos^2\alpha_1}; \\ <\varepsilon_y> = \frac{\sigma_{тм}}{E}\frac{\cos^2\alpha_1 + \cos^2\alpha_2}{\cos^2\alpha_2 - \cos^2\alpha_1}; \\ e^*_P = <\varepsilon_x>\cos^2\alpha_3 + <\varepsilon_y>\sin^2\alpha_3, \end{cases} \tag{14}$$

а схемы на рис. 2, *е*:

$$\begin{cases} e^*_P = <\varepsilon_x>\cos^2\alpha_3 + <\varepsilon_y>\sin^2\alpha_3; \\ \frac{\sigma_{тм}}{E} = <\varepsilon_x>\cos^2\alpha_1 + <\varepsilon_y>\sin^2\alpha_1; \\ -\frac{\sigma_{тм}}{E} = <\varepsilon_x>\cos^2\alpha_2 + <\varepsilon_y>\sin^2\alpha_2; \\ -e^*_P = <\varepsilon_x>\cos^2\alpha_4 + <\varepsilon_y>\sin^2\alpha_4; \end{cases}$$

$$\begin{cases} \langle\sigma_x\rangle = \dfrac{2\sigma_{тм}}{15(\cos^2\alpha_2 - \cos^2\alpha_1)}\,[5(\cos^3\alpha_4+\cos^3\alpha_3)\ (\cos^2\alpha_2 - \\ -\cos^2\alpha_1) - 4(\cos^5\alpha_2 - \cos^5\alpha_1)]; \\ \sigma_{тм}\,[4(\cos^5\alpha_2 - \cos^5\alpha_1) - 20(\cos^3\alpha_2 - \cos^3\alpha_1) - \\ -5(\cos^2\alpha_2 - \cos^2\alpha_1)\ (\cos^3\alpha_3+\cos^3\alpha_4) + \\ +15(\cos^2\alpha_2 - \cos^2\alpha_1)\ (\cos\alpha_3+\cos\alpha_4)]/15(\cos^2\alpha_2 - \cos^2\alpha_1) = 0. \end{cases} \quad (15)$$

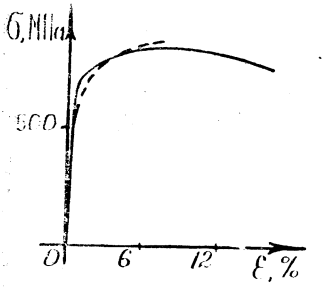


Рис. 4. Кривые мгновенного деформирования для сплава ЭИ698 при Т = = 750°С:
———— — экспериментальные данные; — — — — — расчетные данные

Следует отметить, что исходной информацией для определения всех параметров предложенной структурной модели являются предел пропорциональности $\sigma_{пр}$, макромодуль Юнга $\langle E\rangle$ и величина пластической деформации, соответствующая точке экстремума диаграммы упругопластического деформирования. В качестве иллюстрации на рис. 4 приведена расчетная диаграмма упругопластического деформирования (пунктирная линия) для сплава ЭИ698 при Т=750°С. Как видно, наблюдается хорошее соответствие расчетных и экспериментальных (сплошная линия) данных.

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Предложенная модель позволяет с позиций статики расчетным путем прогнозировать диаграмму упругопластического деформирования металлов, включая участок неустойчивого деформирования.

2. Показано, что участок неустойчивого деформирования связан с появлением и развитием зон микроразрушения локальных элементов, что с феноменологических позиций соответствует интенсивному накоплению поврежденности, уменьшению истинной площади поперечного сечения образца (пластическому разрыхлению материала), резкому увеличению значения истинного напряжения и одновременно уменьшению номинального напряжения при увеличении значения e_p.

3. Предложенная модель может быть использована в качестве математического моделирующего комплекса процесса упругопластического деформирования, накопления поврежденности и разрушения металлов с целью построения адекватных феноменологических моделей указанных процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Новожилов В. В., Кадашевич Ю. И.* Микронапряжение в конструкционных материалах. Л.: Машиностроение (Ленинград. отд-ние), 1990. 223 с.

2. *Гохфельд Д. А., Садаков О. С.* Пластичность и ползучесть элементов конструкций при повторном нагружении. М.: Машиностроение, 1984. 256 с.

3. *Радченко В. П., Кузьмин С. В.* Обоснование уравнений ползучести материалов с помощью структурной модели стержневого типа. Теоретико-экспериментальный метод исследования ползучести в конструкциях: Сб. науч. тр. Куйбышев: КПтИ, 1984. 196 с.

4. *Розенберг В. М.* Основы жаропрочности металлических материалов. М.: Металлургия, 1973. 328 с.

5. *Weng G. J.* Aplisically consistent method for the predictions of creep behavior of metals//Trans. ASME. J. Appl. Mech. 1979. № 4. P. 800—804.

6. *Besseling J. F.* Plasticity and creep theory in engineering mechanics//Top. Appl. Continuum. Mech. Wien—New-York, 1974. P. 115—135.