

ВЛИЯНИЕ ВАРЬИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ НА ХАРАКТЕР РАСЧЕТНЫХ КРИВЫХ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ С АТЕРМИЧЕСКИМ МЕХАНИЗМОМ НЕУПРУГОСТИ

Андронов И.Н., Богданов Н.П., Северова Н.А., Кейн Е.И., Суровцев Е.Л., Чащин Н.В

Ухтинский государственный технический университет (г. Ухта)

E-mail: ivan@uvti.sever.ru

Показано, что характер атермического деформирования материала в изотермических условиях в лабораторном базисе предопределяется соотношением величин структурных параметров τ_0 (предел текучести в локальном базисе) и A_a (обратная величина коэффициента деформационного упрочнения в локальном базисе).

Хорошо известно, что процесс деформирования материалов предопределяется развитием деформаций на нескольких структурных уровнях [1-3]. На каждом из них существует свой набор параметров, контролирующей, в конечном итоге, процессы деформации на всех структурных уровнях, включая и макро. Вполне естественно, что варьирование значений параметров на одном из уровней приведет к изменению характера деформирования материала и на макроуровне. Однако практически осуществить такой эксперимент невозможно силу ряда обстоятельств. Во-первых, из-за методических сложностей определения основных параметров на микро- и мезо- уровнях. Во вторых, из-за чрезвычайной сложности и неоднозначности в зависимостях основных параметров от типа материалов, технологии их изготовления, вида механической и термической обработки и др. Однако упомянутые эксперименты легко осуществить методами компьютерного моделирования, опираясь на структурно-аналитическую теорию прочности [1]. Названная теория позволяет изучать влияние изменения структурно-механических параметров на процесс реализации макродеформации.

Целью настоящей работы являлось исследование закономерностей влияния основных структурно-феноменологических параметров на характер изотермического деформирования материала с атермическим механизмом неупругости.

Зависимость скорости пластического сдвига в локальном базисе $\dot{\beta}_{31}^a$ от напряжения представляли, согласно [1], в виде следующего уравнения

$$\dot{\beta}_{31}^a = A_a (\dot{\tau}'_{31} - \dot{\tau}^s_{31} \text{sign } \tau'_{31}) H(\tau'_{31} \text{sign } \tau'_{31} - \tau^s) H(\dot{\tau}'_{31} \text{sign } \tau'_{31} - \dot{\tau}_0), \quad (1)$$

где τ_0 – предел текучести в локальном базисе; τ^s – напряжение течения в локальном базисе; A_a – постоянная, имеющая смысл величины, обратной коэффициенту деформационно-

го упрочнения при сдвиге (модулю пластичности $g = A_a^{-1}$); $H(X)$ – функция Хевисайда $\{H(X) = 1$ при $X \geq 0$, $H(X) = 0$ при $X < 0\}$. Для нахождения $\dot{\tau}^S$ использовали следующую простую зависимость:

$$\dot{\tau}^S = A_a^{-1} \dot{\beta}_{31}^a \operatorname{sign} \beta_{31}^a \quad (2)$$

Скорости макро- и микродеформаций и напряжений связывали следующим образом:

$$\dot{\epsilon}_{ik} = \int_{\{\omega\}} f(\omega) \alpha_{i3} \alpha_{k1} \dot{\beta}_{31}^a d^3 \omega \quad (3)$$

$$\dot{\sigma}_{ik} = \alpha_{i3} \alpha_{k1} \dot{\tau}_{31}; \quad \dot{\tau}_{31} = \alpha_{3i} \alpha_{1k} \dot{\sigma}_{pq} \quad (4)$$

где $\omega = (\varphi, \theta, \psi)$ – совокупность углов Эйлера, задающих ориентацию локального базиса; $\{\omega\}$ – множество всех имеющихся ориентаций; $\dot{\sigma}_{ik}$ – скорость изменения напряжений в локальном базисе; α_{ij} – направляющие косинусы, связывающие локальный и лабораторный базисы; $f(\omega)$ – функция распределения локальных базисов по ориентациям, такая что

$$f(\omega) d^3 \omega = \frac{1}{8\pi^2} \sin \theta \sin \psi d\theta d\psi \quad (5)$$

Во всех случаях интенсивность сдвиговой деформации в лабораторном базисе возрастала при $0 < t \leq \frac{T}{2}$ и убывала по линейному закону при $\frac{T}{2} < t \leq T$, изменяясь согласно выражению:

$$S = \dot{S}t \cdot H\left(t - \frac{T}{2}\right) + \dot{S} \left[\frac{T}{2} - \left(t - \frac{T}{2}\right) \right] \cdot \left[1 - H\left(\frac{T}{2} - t\right) \right] \cdot H(T - t); \quad (6)$$

где $\dot{S} = 10$ МПа · с⁻¹, $50 \leq T \leq 100$ с.

Использовали три модельных режима нагружения. 1 – кручение (чистый сдвиг)

$\sigma_{13} = S$; 2 – совместное кручение с растяжением $\sigma_{13} = \frac{S}{\sqrt{2}}$, $\sigma_{11} = \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot S$; 3 – растяжение

$\sigma_{11} = \sqrt{3} \cdot S$. Расчеты выполняли при варьировании значений параметров τ_0 , A_a .

Основные результаты компьютерного моделирования представлены на рис. 1÷3.

Рис. 1 показывает, что для всех режимов нагружения увеличение параметра A_a приводит

к уменьшению величины деформационного упрочнения $\frac{dS}{d\Gamma}$. Увеличение параметра τ_0 ,

как и следовало ожидать, дает заметное повышение $S - \Gamma$ диаграмм (рис. 2) Данный результат достаточно очевиден и свидетельствует о том, что с ростом величины предела текучести в локальном базисе τ_0 и коэффициента деформационного упрочнения A_a^{-1} ,

сопротивление деформированию увеличивается, что приводит к уменьшению интенсивности сдвиговой деформации Γ .

О последнем достаточно наглядно свидетельствует поверхность в пространстве A_a , τ_0 , Γ , представленная на рис 3. Таким образом, располагая значениями параметров A_a , τ_0 и видом поверхности (рис. 3) можно определить характер макроскопических зависимостей в лабораторном базисе S от Γ .

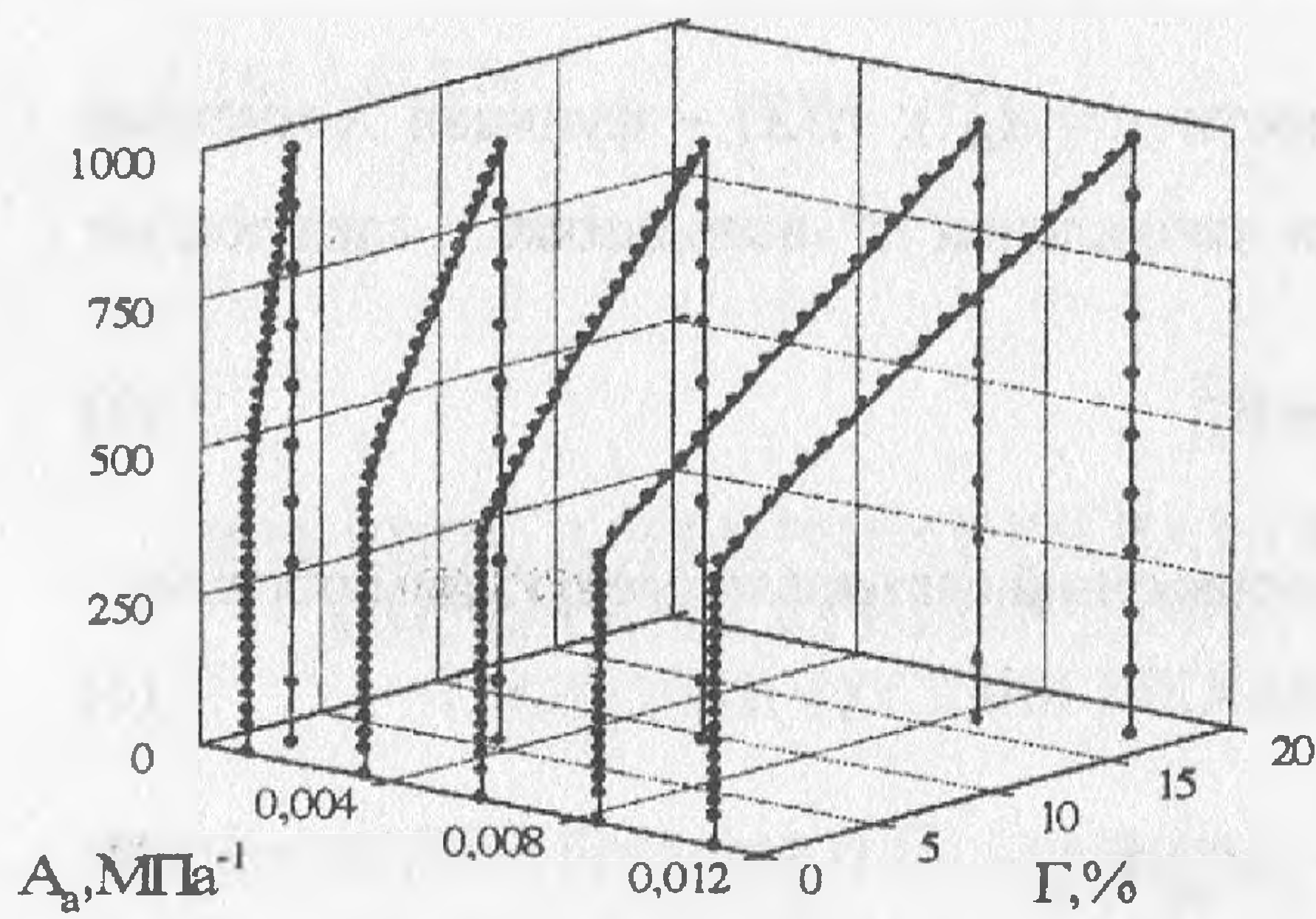


Рис. 1. Кривые нагрузки и разгрузки в координатах $S - \Gamma$ модельного материала при постоянном значении феноменологического параметра $\tau_0 = 400 \text{ МПа}$.

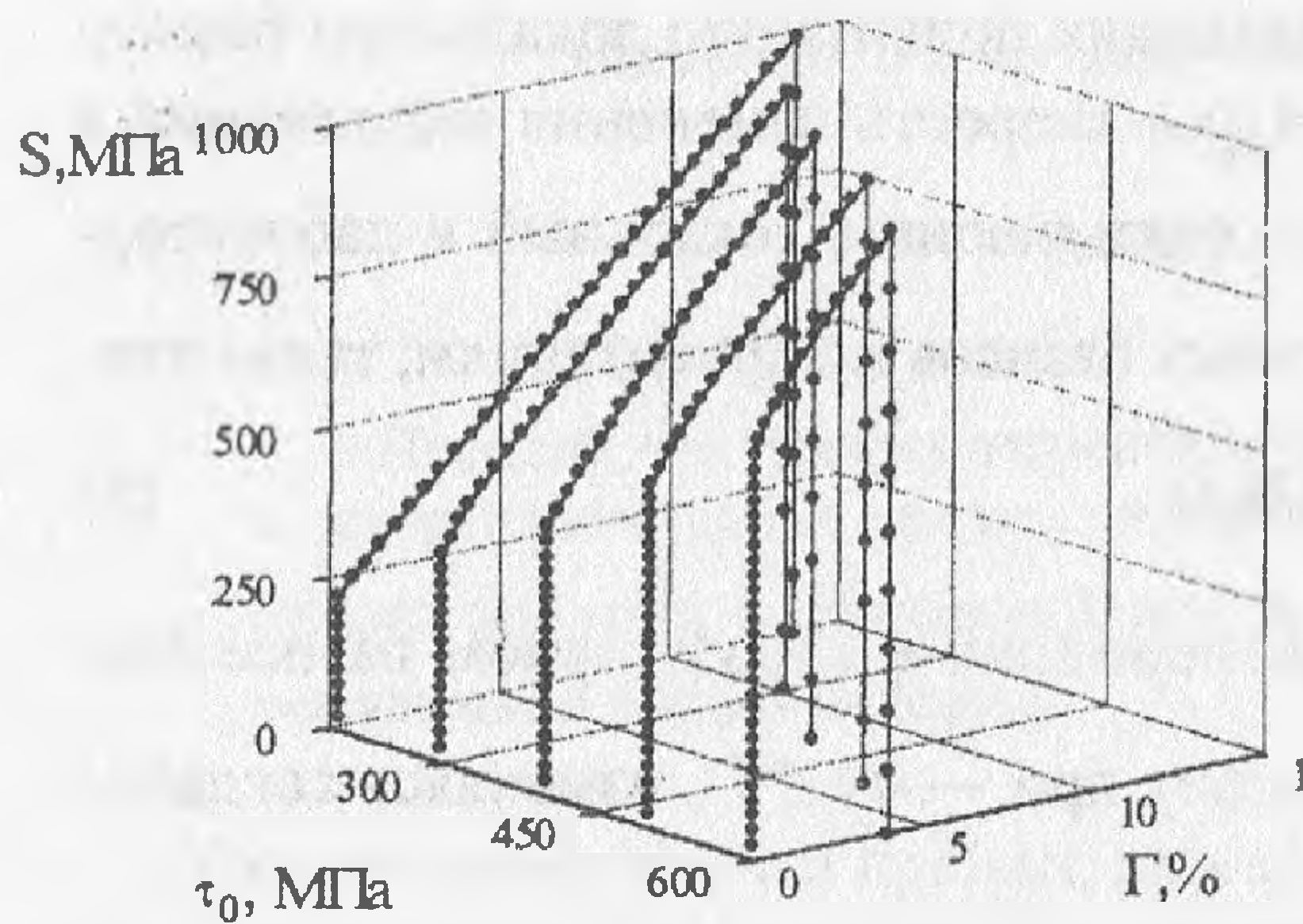


Рис. 2. Кривые нагрузки и разгрузки в координатах $S - \Gamma$ модельного материала при постоянном значении феноменологического параметра $A_a = 0.005 \text{ МПа}^{-1}$.

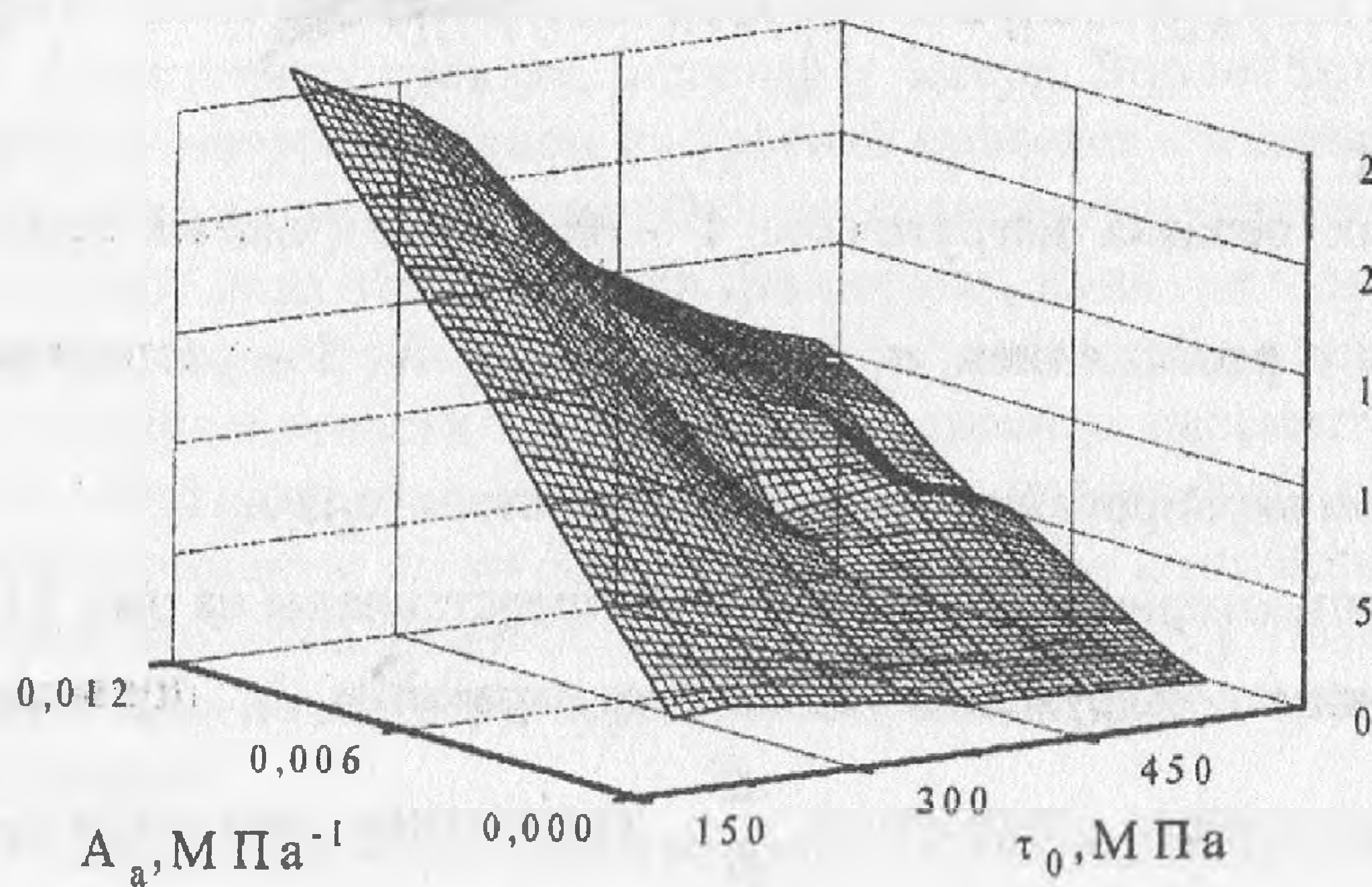


Рис. 3. Поверхность равной интенсивности напряжений в пространстве параметров Γ , A_a , τ_0 при $S = 1000 \text{ МПа}$.

Список литературы

1. Лихачев В.А., Малинин В.Г. Структурно - аналитическая теория прочности. Изд. Санкт-Петербург. 1993. 471 с.
2. Лихачев В.А. Материалы с эффектом памяти формы и их компьютерное конструирование// Изв. вузов. Физика: Компьютерное конструирование материалов. Тематический выпуск, Под ред. Акад. В.Е. Панина. 1995. № 11. С. 86 – 105
3. Малинин В.Г. Основы структурно – аналитической теории физической мезомеханики материалов// Научные труды I Международного семинара: “Актуальные проблемы прочности” имени В.А. Лихачева и XXXIII семинара “Актуальные проблемы прочности” Новгород, 15-18 октября, 1997. Т. 1, Ч. 1. С. 19 – 25.