



САМАРСКИЙ  
ПОЛИТЕХ  
Опорный университет

Материалы  
**X Всероссийской  
конференции  
по механике  
деформируемого  
твёрдого тела**

**Том 1**

**Самара 2017**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство научных организаций  
Российский национальный комитет по теоретической и прикладной механике  
Научный совет РАН по механике деформируемого твердого тела  
Институт проблем механики имени А. Ю. Ишлинского РАН  
Самарский государственный технический университет

**Материалы**  
**X Всероссийской конференции**  
**по механике деформируемого твердого тела**  
(18–22 сентября 2017 г., Самара, Россия)  
Том 1

Под редакцией Н. Ф. Морозова,  
А. В. Манжирова, В. П. Радченко

**С а м а р а**  
Самарский государственный технический университет  
2017

УДК 669.14

## **Об упругопластическом деформировании материала с учетом эффектов старения**

**Н. С. Адигамов, С. Н. Верзунов, Е. И. Дьяченко**

Кыргызско-Российский Славянский университет,  
Естественно-технический факультет,  
Кыргызская Республика, 720000, Бишкек, проспект Чуй, 6.

### **Аннотация**

В работе предложены уравнения теории пластичности со старением, основываясь на опытных данных по упругопластическому деформированию стальных образцов.

**Ключевые слова:** напряжения, деформации, старение материала, упрочнение, экспериментальные исследования, сложное нагружение, фазовые переходы, диссипативные структуры.

Упругопластическое деформирование материала с учетом эффектов старения материалов являлось предметом ряда исследований [1–4]. Основные особенности реакций, происходящих в процессе распада при старении сплавов, изучены в металловедении и описаны в [5]. Несмотря на сложность и актуальность проблемы, пока известно мало работ, содержащих попытки учета изменений состава и свойств нестабильных сплавов. Рассмотрение простого случая, приведенного в [1, 4], позволяет дать качественное описание сложных изменений свойств нестабильных сплавов. Для скалярного параметра, учитывающего процессы старения, записано кинетическое уравнение [4]. В настоящей работе обсуждаются результаты обширных экспериментальных исследований [6, 7] на сложное нагружение стальных трубчатых образцов с позиции самоорганизации диссипативных структур. Удалось установить, во-первых, закономерные явления, связанные с влиянием фактора времени в зависимости от пути нагружения, во-вторых, образование определенной пространственно-временной самоорганизации, в-третьих, при изломах траектории нагружения выявляются переходы между различными типами диссипативных структур [8]. Здесь удачной схематизацией явления пластичности может служить аналог состояний полной и неполной пластичности, как и в модели идеально-пластического тела Хаара Кармана и Христиановича Шемякина [9].

### **Образец для цитирования**

Адигамов Н. С., Верзунов С. Н., Дьяченко Е. И. Об упругопластическом деформировании материала с учетом эффектов старения / *Материалы X Всероссийской конференции по механике деформируемого твердого тела* (18–22 сентября 2017 г., Самара, Россия). Т. 1. Самара: СамГТУ, 2017. С. 24–26.

### **Сведения об авторах**

*Николай Сабирович Адигамов*; доктор физико-математических наук, доцент; профессор; каф. механики; e-mail: [nikadigamov@mail.ru](mailto:nikadigamov@mail.ru)

*Сергей Николаевич Верзунов* ✉ кандидат технических наук; старший преподаватель; каф. информационных и вычислительных технологий; e-mail: [verzunov@hotmail.com](mailto:verzunov@hotmail.com)

*Евгений Игоревич Дьяченко*; студент; каф. механики; e-mail: [Diachenko1995@mail.ru](mailto:Diachenko1995@mail.ru)



Рассмотрим опыты на кручение тонкостенных образцов из нестабильных материалов с учетом эффектов старения [2]. При введении в рассмотрение поверхности текучести в процессе знакопеременного нагружения и старения обнаруживается, что центры последующих поверхностей текучести смещаются в начало координат, а предельная поверхность текучести занимает положение, отличное от начального лишь изотропным расширением. Это позволяет ввести в рассмотрение один скалярный параметр упрочнения (разупрочнения) при формулировке уравнений математической теории пластичности со старением. Следуя [9], полагаем, что вначале тело находится в упругом состоянии, причем главные напряжения  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  подчинены неравенствам  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ . Гипотеза типа Кармана предполагает, что волокна материала, ориентированные вдоль второго главного направления, деформируются упруго, тогда как пластическая деформация связана с образованием линий скольжения в плоскости главных направлений, отвечающих напряжениям  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$ . Введем в рассмотрение уравнение поверхности типа Треска—Сен-Венана:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \phi(\lambda), \quad (1)$$

где  $\phi = \phi(\lambda)$  — функция, зависящая от параметра  $\lambda$ . Объёмная деформация прямо пропорциональна среднему нормальному напряжению

$$\epsilon_0 = \frac{\sigma_0}{3K}, \quad (2)$$

где  $K$  — объёмный модуль упругости. Промежуточное главное напряжение не влияет на состояние текучести (1) и связано с соответствующими деформациями по закону Гука (гипотеза Т. Кармана):

$$\epsilon_2 = \frac{1}{E}[\sigma_2 - \nu(\sigma_1 + \sigma_3)]. \quad (3)$$

В [1] были описаны эффекты прогнозирования монотонного и немонотонного изменения механических характеристик конструкционных материалов в процессе старения. В силу малости количества выделяющейся фазы при распаде твердого раствора ограничимся в условии текучести (1) линейным приближением для функции  $\phi(\lambda)$  [1]:

$$\phi(\lambda) = \sigma_T^0 + \sigma'_T \cdot \lambda, \quad (4)$$

где  $\sigma_T^0$  — начальный предел текучести материала без старения, а  $\sigma'_T$  — значение предела текучести в некоторый момент процесса старения. Окончательные выражения для  $\lambda$  можно представить в виде [1]:

$$\lambda(\alpha, z) = \frac{\alpha + 1}{\alpha - 1} e^{-z} - \frac{2}{\alpha - 1} e^{-\alpha z} - 1, \quad (5)$$

где введены обозначения:  $\alpha = \frac{K_2}{K_1}$ ;  $z = K_1 \cdot t$ ;  $t$  — время;  $K_1, K_2$  — константы скоростей реакций при старении. Будем считать, что направление тензоров напряжений и деформаций совпадёт и в пластическом состоянии. Соотношения (1)–(5) описывают состояние «неполной» пластичности материала с учетом эффектов старения. По терминологии Т. Кармана состояние «полной»

пластичности реализуется, когда  $\sigma_2 = \sigma_3$ , либо  $\sigma_1 = \sigma_2$ . Предполагаемый выше подход описывает поведение нестабильных сплавов, по крайней мере, качественно.

### Библиографический список

1. Арутюнян Р. А., Вакуленко А. А. К теории пластичности нестабильных сплавов / *Труды 3-го болгарского конгресса по механике*. Варна, 1977. С. 280–285.
2. Арутюнян Р. А., Адигамов Н. С., Чебанов В. М. О закономерностях упрочнения стареющей пластической среды // *Докл. АН СССР*, 1987. Т. 294, № 2. С. 307–309.
3. Арутюнян Р. А. *Проблема деформационного старения и длительного разрушения в механике материалов*. СПб.: СПб. ун-т, 2004. 252 с.
4. Адигамов Н. С., Аманбаев Г. М. К теории идеальной пластичности с учетом процессов старения / *Материалы 4-й международной научной конференции*. М., 2005. С. 22–25.
5. *Старение сплавов* / ред. М. И. Захарова. М.: Металургиздат, 1962. 492 с.
6. Аннин Б. Д., Жигалкин В. М. *Поведение материалов в условиях сложного нагружения*. Новосибирск: СО РАН, 1992. 342 с.
7. Адигамов Н.С. *Процессы необратимого деформирования и резервы прочности материалов*: Автор. дисс. ... доктора наук. Бишкек, 2004. 29 с.
8. Адигамов Н. С., Рудаев Я. И. О фазовых переходах при сложном нагружении / *Межд. конф. посвящ. 80-летию А. Н. Тюреходжаева*. Алматы, 2014. С. 184–188.
9. Христианович С. А., Шемякин Е. И. О плоской деформации пластического материала при сложном нагружении // *Изв. АН СССР. МТТ*, 1969. № 5. С. 138–149.

## On the elastoplastic deformation of a material with regard to aging effects

*N. S. Adigamov, S. N. Verzunov, E. I. Dyachenko*

Kyrgyz Russian Slavic University,  
Naturally Engineering Faculty,  
6, prospekt Chui, Bishkek, 720000, Kyrgyz Republic.

### Abstract

The paper proposes equations of the theory of plasticity with aging, based on experimental data on elastoplastic deformation of steel samples.

**Keywords:** stresses, deformations, material aging, hardening, experimental studies, complex loading, phase transitions, dissipative structures.

### Please cite this article in press as:

Adigamov N. S., Verzunov S. N., Dyachenko E. I. On the elastoplastic deformation of a material with regard to aging effects, In: *Proceedings of the Tenth Russian Conference on Solid Mechanics* (September, 18–22, 2017, Samara, Russian Federation), Vol. 1, Samara State Technical Univ., Samara, 2017, pp. 24–26 (In Russian).

### Authors' Details:

*Nikolai S. Adigamov*; Dr. Phys. & Math. Sci., Associate Professor; Professor; Dep. of Mechanics; e-mail: [nikadigamov@mail.ru](mailto:nikadigamov@mail.ru)

*Sergei N. Verzunov* ✉ Cand. Tech. Sci.; Assistant Professor; Dep. of Information and Computing Technologies; e-mail: [verzunov@hotmail.com](mailto:verzunov@hotmail.com)

*Evgeniy I. Dyachenko*; Student; Dep. of Mechanics; e-mail: [Diachenko1995@mail.ru](mailto:Diachenko1995@mail.ru)