

УДК 539. 4. 011

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕОРИЙ ДЕФОРМАЦИИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ

А.И.Айнабеков, Ж.Б.Умурзахова, Н.К.Алтаев
ЮКГУ им.М.Ауезова, г.Шымкент

На рисунке 1 показана характерная кривая зависимости деформации ε от напряжения σ , обычно получаемая при экспериментальных исследованиях. Здесь точка A соответствует наибольшему напряжению, для которого справедлив закон Гука

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}, \quad (1)$$

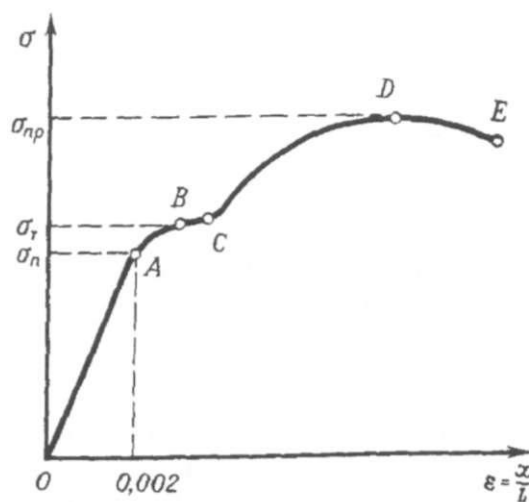


Рисунок 1 – Зависимость относительной деформации от напряжения

где E — коэффициент, который зависит от материала деформируемого тела. Точка В соответствует пределу текучести, т.е. напряжению σ_T , при котором образец удлиняется без роста нагрузки. Точка D соответствует пределу прочности, т.е. напряжению $\sigma_{пр}$, при котором на нити образуются шейка. Точка E соответствует точке разрыва.

Разумеется, для того, чтобы понять природу процессов, которые происходят на каждом участке этой кривой, на базе возможностей более строгих микроскопических теорий теоретической физики, должна быть раскрыта физическая природа константы E , которая имеет смысл сопротивления деформации и текучести твердого тела под напряжением. Однако, как известно, ученые встретились с огромными трудностями при попытках решения таких задач, и поэтому в работах некоторых авторов [1-4] был развит новый подход к изучению и разработке описательной теории деформации и кинетики разрушения твердых тел, которая далее стала общеизвестной под названием «эмпирическая теория долговечности».

На рисунке 2 изображены результаты экспериментальных исследований, полученные для зависимости долговечности τ от напряжения σ для различных твердых тел при комнатной температуре.

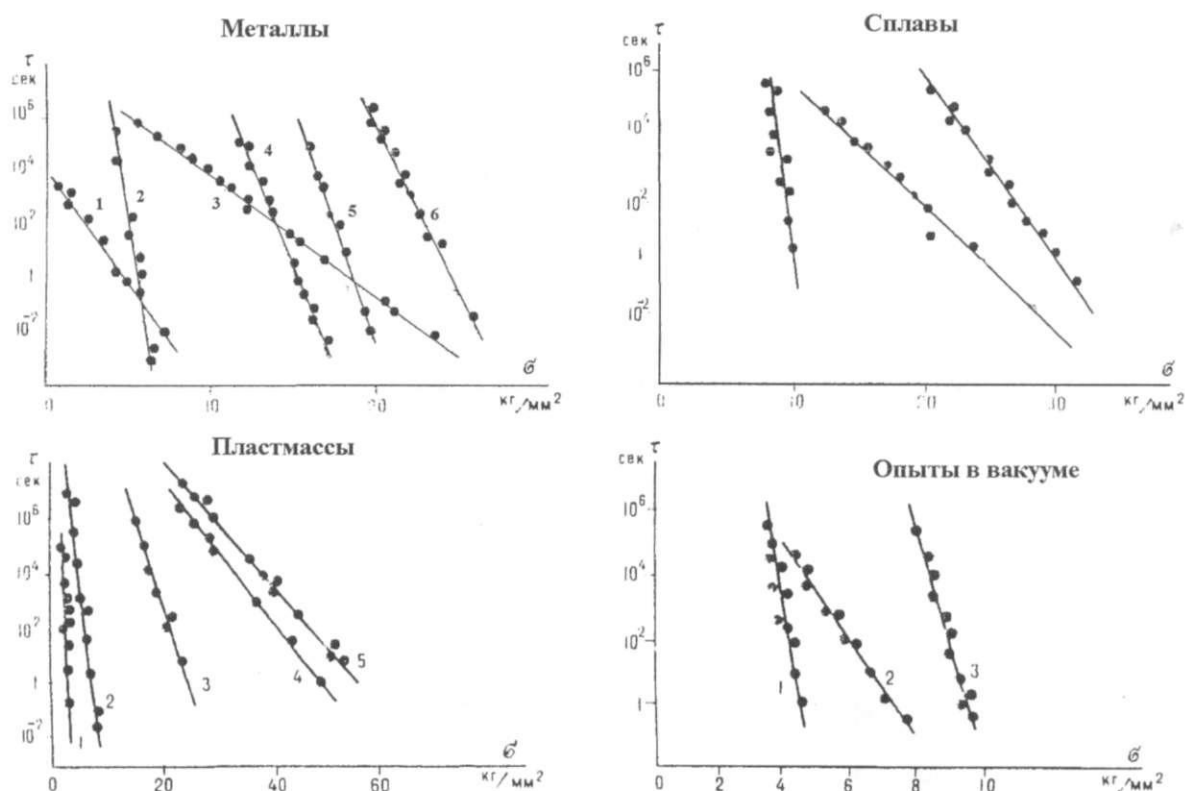


Рисунок 2 - Зависимость долговечности τ от напряжения σ для различных твердых тел при комнатной температуре

На основе анализа таких данных в [4] были сделаны выводы, что для любого материала прочность зависит от времени, и что предел прочности не является константой твердого тела. Авторами этой работы было показано, что, будучи нагруженным даже малой нагрузкой, по сравнению с принятым пределом прочности, тело в конце концов разорвется. Только при малой нагрузке время ожидания разрушения велико, а при большой — разрыв происходит за короткое время.

Таким образом, показанная на рисунке 2 линейная зависимость может быть записана в виде

$$\tau = A \exp(-\alpha \sigma) \quad (2)$$

Это уравнение показывает, что прочность на разрыв или, что то же самое, разрывное напряжение σ и время τ , которое необходимо, чтобы наступил разрыв, однозначно связаны между собой. Чем меньше растягивающее напряжение, созданное нагрузкой, тем больше требуется времени для распада тела на части. И наоборот, при повышении нагрузки время разрушения сокращается.

На рисунке 3 приведены данные эксперимента, проведенные с целью выяснения роли температуры на долговечность τ . Как видим, было выяснено, что имеется линейная зависимость между τ и σ при любой температуре (как выше, так и ниже комнатной температуры). Температура меняет лишь наклон прямых, которые становятся пологими при высокой температуре и более крутыми при низкой. Было выяснено, что при экстраполяции прямые сходятся в одной точке-полюсе.

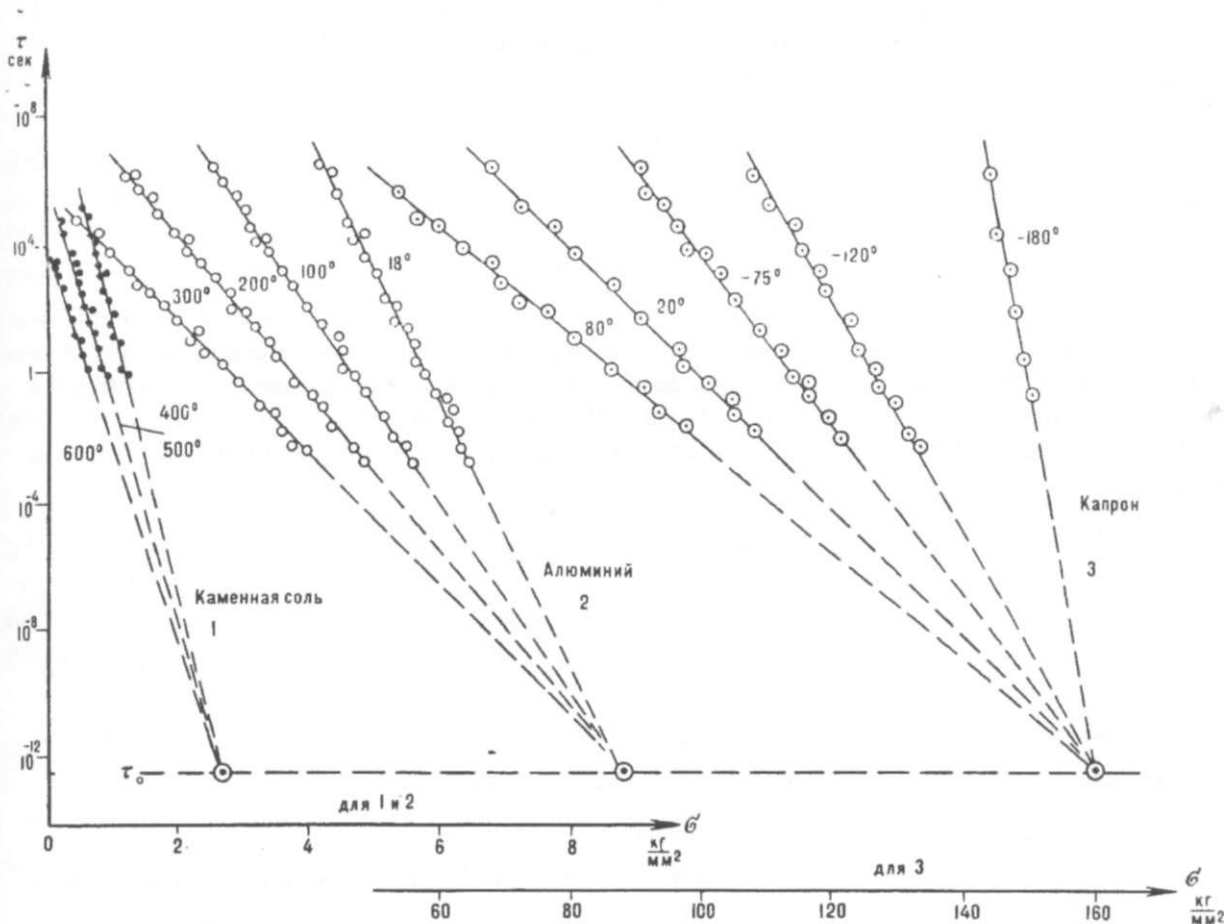


Рисунок 3 - Зависимость долговечности τ от напряжения σ при различных температурах

На основе анализа этих результатов авторами работ [1-3] было установлено, что связь между величинами τ , σ и T хорошо подчиняется кинетическому уравнению вида

$$\tau = \tau_0 \exp \frac{U(\sigma)}{kT}, \quad (3)$$

в котором τ_0 -долговечность в полюсе, $U(\sigma)$ - энергия активации разрушения, k - постоянная Больцмана. Также было выяснено, что проверка этого уравнения дает хорошее согласие с опытом, если полагать, что $U(\sigma)$ уменьшается с ростом растягивающего напряжения, т.е.

$$U(\sigma) = U_0 - \gamma \sigma, \quad (4)$$

где U_0 - энергия активации разрушения в начальном ненагруженном состоянии; γ - коэффициент, определяющий наклон прямых на графике.

Подставляя зависимость $U(\sigma)$ в уравнение (3), была получена следующая формула

$$\tau = \tau_0 \exp \frac{U_0 - \gamma \sigma}{kT}, \quad (5)$$

которая определяет зависимость долговечности тела под нагрузкой от напряжения и температуры.

Заметим, основные соотношения эмпирической теории долговечности (2)-(5) также, как основное соотношение эмпирической теории деформации (1), были получены на основе анализа опытных данных. Поэтому вопрос о том, какие из этих соотношений являются более близкими к истине, будет оставаться не совсем выясненным до тех пор, пока на базе возможностей более строгих результатов теоретической физики не будет раскрыт физический смысл входящих в эти соотношения констант. Имея цель решить эту часть задачи, мы обратили внимание на тот факт, что между основным соотношением теории деформации (1) и основными соотношениями теории текучести электронной жидкости

$$I = \frac{\Delta U}{R} \quad (6)$$

и обычной жидкости

$$Q = \frac{\pi R^4}{8\mu l} \Delta P$$

имеется глубокая аналогия. Если деформация ϵ и напряжение σ являются аналогами текучести I , Q и разности потенциала ΔU , и перепада давления ΔP , то модуль упругости E является аналогом констант эмпирического сопротивления R и вязкости μ .

В работах [5, 6] для того, чтобы интерпретировать физическую природу констант R и μ , за основу было принято предположение о том, что

$$R \approx n_{\phi}^0 \quad (7)$$

$$\mu \approx n_{\phi}^0, \quad (8)$$

где n_{ϕ}^0 - есть концентрация фононов, и далее возможностью статистической механики Гиббса было предложено, как рассчитать это n_{ϕ}^0 . Здесь же мы, имея цель интерпретировать физическую природу модуля упругости E , будем исходить из предположения, что

$$E \approx n_{(N-1)M/M}, \quad (9)$$

где $n_{(N-1)M/M}$ - есть концентрация комплексов, которые образуются при столкновении комплексов с концентрацией $n_{(N-1)M}$ и мицелл с концентрацией n_M . При этом предполагается, что комплекс с концентрацией $n_{(N-1)M/M}$ образуется в результате постепенного укрепления

бимицеллярного, тримицеллярного и т.д. комплексов, концентрации которых могут быть вычислены согласно соотношениям:

$$n_{M/M} = \exp \frac{\Delta G_{\mu/\mu}}{kT} n_M n_M, \quad (10)$$

$$n_{2M/M} = \exp \frac{\Delta G_{2M/M}}{kT} n_{2M} n_M, \quad (11)$$

.....

$$n_{(N-1)M/M} = \exp \frac{\Delta G_{(N-1)M/M}}{kT} n_{(N-1)M} n_M \quad (12)$$

где $\Delta G_{M/M}$, $\Delta G_{2M/M}$, ..., $\Delta G_{(N-1)M/M}$ - есть свободная энергия взаимодействия. Таким образом, из (9) и (12) получаем

$$E_{(N-1)\mu/\mu} = \exp \frac{\Delta G_{(N-1)\mu/\mu}}{kT} n_{(N-1)\mu} n_\mu \quad (13)$$

Согласно этому уравнению, прочность кристалла тем больше, чем больше число контактов между частицами, образующими этот кристалл, а также чем больше энергия их взаимодействия. При повышении температуры прочность уменьшается.

Таким образом, из (1) и (13) получаем:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{\exp \frac{\Delta G_{(N-1)\mu/\mu}}{kT} n_{(N-1)\mu} n_\mu} \quad (14)$$

Как видим, между этим уравнением теории деформации и соотношением эмпирической теории долговечности (5) имеется определенное сходство. Если в рамках возможности (5) долговечность τ определена через величины энергии активации U_0 , температуры T и напряжения σ , то в рамках возможности (14) деформация ε определена через энергию активации $\Delta G_{(N-1)M/M}$, температуру T и напряжение σ . Поэтому для того, чтобы выяснить, какая из этих теорий является более близкой к пути истине, имеет смысл их сравнить с одинаковой позиции.

Вначале рассмотрим случай, когда образец не подвергается нагружению. В этом случае $\sigma=0$, поэтому согласно (5) имеем:

$$\tau = \tau_0 \exp \frac{U_0}{kT}.$$

То есть получается, что даже при отсутствии нагрузки твердое тело может существовать лишь ограниченное время. Разумеется, такой результат не согласуется с экспериментом. Если бы это было так, то за долгую историю существования твердых тел они должны были бы спонтанно разрушаться.

При $\sigma=0$ из (14) следует результат, согласно которого $\varepsilon=0$, что и согласуется с опытом.

Теперь рассмотрим случай, когда к образцу приложено такое внешнее напряжение σ_k , что

$$U_0 - \gamma\sigma = 0.$$

Тогда $\sigma_k = \frac{U_0}{\gamma}$ и долговечность $\tau = \tau_0$, т.е. оказываются одинаковыми для любых темпера-

тур. Как на это было указано и автором работ [7], нереальность подобной ситуации для образцов, имеющих конечные размеры, очевидна.

Из (14) следует, что при повышении температуры величина деформации также увеличивается.

Литература

- 1 Журков С.Н., Нарзуллаев Б.Н. // ЖТФ.- 1953.-Т.23.- №10.-С.1677-1689.
- 2 Журков С.Н., Абасов С.А. // Высокомол. соед.- 1961.-Т.3.- №3.-С.441-455.
- 3 Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел.-М.: Наука, 1974.- 560с.
- 4 Журков С.Н. Физическая основа прочности //В сб. «Наука и человечество».-М.: Знание, 1973.-С.177-195.
- 5 Алтаев Н.К. Статистическая теория проводимости и сверхпроводимости //В кн. «Универсальный метод раскрытия скрытых истин».- Шымкент, 2005.-С.56-66.

- 6 Алтаев Н.К. Статистическая теория текучести и сверхтекучести // В кн. «Универсальный метод раскрытия скрытых истин».- Шымкент, 2005.-С.66-78.
- 7 Перепечко И.Н. Введение в физику полимеров.- М.: Химия, 1978.

Қорытынды

Қатты денелердің мықтылығының себебін түсіндіру мақсатымен дамытылған жаңа теория тендеулері мен С.Н. Журков теориясының негізгі тендеулері салыстырыла зерттелді.

Summary

It was performed the comparative analysis of the basic equations of the S.N.Zhurkov's theory and the new one developed with the purpose of finding out the reasons of solid bodies' durability.