

трещин жесткость образца полностью не восстанавливается. Это приводит к "притиранию" берегов трещин.

В заключение можно отметить, что незначительное усложнение методики усталостных испытаний даже при использовании ударного оборудования позволяет получить дополнительную качественную и количественную информацию о процессе усталостного разрушения.

ДК БЗ9.431.3:533.59:629.7.018.04

Н.И.Гадалин, А.Г.Саноян

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ВАКУУМА

Длительное разрушение конструкционных материалов можно рассматривать как результат последовательного накопления повреждений на атомном уровне. В этой связи скорость разрушения материалов будет определяться кинетикой физико-химических процессов, протекающих в материале в процессе срока службы.

Предположим, что начальному состоянию объекта соответствует значение технического параметра S_0 , величина которого обусловлена структурой и химическим составом объекта. В качестве S_0 могут быть выбраны механические, электрические, теплофизические и другие параметры. В процессе срока службы значение параметра S будет изменяться от S_0 тем больше, чем выше интенсивность протекающих в объекте элементарных атомных процессов, таких как диффузия, перемещение и скопление дислокаций, химические процессы и другие явления.

Введем в рассмотрение понятие обобщенной глубины α протекающих элементарных атомных процессов, вызывающих старение объекта по параметру S . Таким образом, параметр S может быть представлен в виде

$$S = \varphi(\alpha). \quad (I)$$

Очевидно, что при $t = 0$ имеет место $\alpha = 0$, а $\varphi(\alpha) = S_0$.

В подавляющем большинстве практических случаев представляют интерес закономерности малых отклонений параметра S , что позволяет разложить выражение (1) в степенной ряд по малому параметру α и ограничиться первым приближением:

$$S = S_0 + A\alpha. \quad (2)$$

Для величины α можно написать

$$\alpha = C \cdot t, \quad (3)$$

где C - константа, характеризующая скорость изменения α .
Константа C в форме Аррениуса /1/ выражается так:

$$C = C_0 \exp\left(-\frac{W}{kT}\right), \quad (4)$$

где W - энергия активации разрушения; k - постоянная Больцмана
 T - абсолютная температура.

Тогда выражение (2) с учетом (3) можно привести к виду

$$\frac{S - S_0}{S_0} = \frac{\Delta S}{S_0} = B \cdot t \cdot \exp\left(-\frac{W}{kT}\right), \quad (5)$$

где $B = \frac{C_0 A}{S_0}$.

Для учета влияния интенсивности возмущающих факторов на срок службы объекта будем рассматривать в согласии с методологией равновесной термодинамики энергию активации W в виде функции

$$W = W_0 - \sum_i Q_i g_i, \quad (6)$$

где W_0 - начальная энергия активации; Q_i и g_i - соответственно обобщенные силы и координаты возмущающих факторов.

В частности, полагая $Q_1 = \sigma$ и $g_1 = \gamma$ (σ - напряжение, γ - чувствительность к нагрузке), приходим к известному выражению для энергии активации $W = W_0 - \gamma \sigma$, рассмотренному в работе /2/.

Целесообразность формализованного подхода, выраженного в форме (6), состоит в том, что становится возможным рассматривать такие абстрактные (в смысле энергетического эквивалента) возмущающие факторы, как давление, уровни радиации и т.д., наделив их согласно (6) смыслом "обобщенных" сил и координат.

В рассматриваемом конкретном случае следует положить $Q_2 = p$.

$\psi_a = \beta$, где p - давление окружающей среды, а β - чувствительность объекта к возмущающему параметру p . Таким образом, выражение (5) представляется в виде

$$\frac{\Delta S}{S_0} = B \cdot t \cdot \exp\left(-\frac{W_0 - \gamma G - \beta p}{kT}\right), \quad (7)$$

учитывающем совокупное влияние двух возмущающих факторов (G и p).

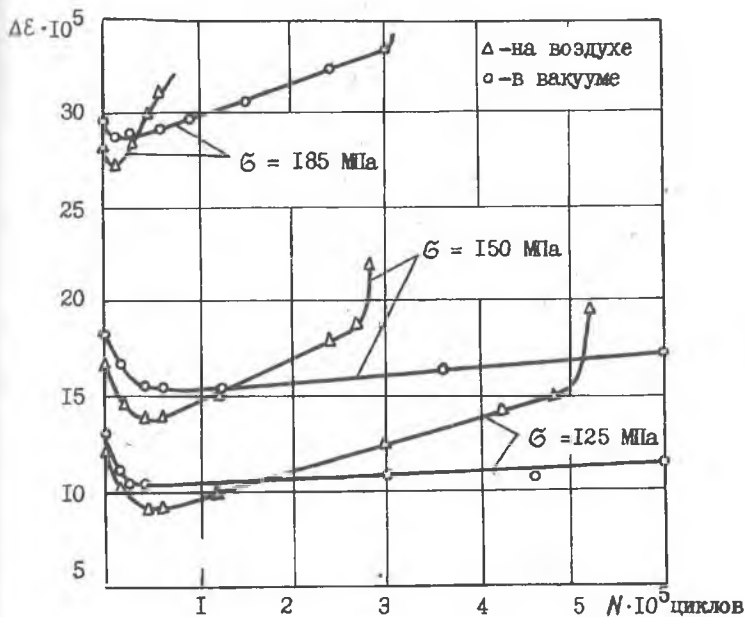


Рис. I

Параметры B, W_0, γ и β являются индивидуальными характеристиками объекта и определяются на основании экспериментальных исследований. В частности, проводя однотипные испытания так, чтобы уровень старения $\frac{\Delta S}{S_0}$ объекта испытаний в вакууме и на воздухе был одинаков, введенный в настоящей работе параметр определяется из выражения

$$\beta = \frac{kT \cdot \ln \frac{t_g}{t_a}}{P_a - P_g}, \quad (8)$$

где t_g и t_a - соответственно время эксплуатации в вакууме и на воздухе, приводящие к одинаковым $\frac{\Delta S}{S_0}$, а P_g и P_a - соответственно давление в вакууме и нормальных условиях. Знание величины β , характерной для объекта, позволяет прогнозировать срок службы его в вакууме по результатам испытаний в нормальных условиях:

$$t_g = t_a \cdot \exp \frac{\beta(P_a - P_g)}{kT}. \quad (9)$$

В настоящей работе в качестве параметра S рассматривалась величина неупругой деформации (ширина петли гистерезиса) $\Delta \varepsilon$, определяемая согласно /3/. Характер поведения величины $\Delta \varepsilon$ в зависимости от числа циклов для материала ДІ6АТ в течение срока службы представлен на рис. 1. На основании экспериментальных данных и выражения (8) определена чувствительность β материала ДІ6АТ, которая составила $4,0 \cdot 10^{-7}$ эв/Па.

Обнаружено постоянство величины β для данного материала, что позволяет считать ее в качестве характеристики материала, определяющей чувствительность последнего к условиям эксплуатации в вакууме.

Л и т е р а т у р а

1. Меламедов Н.М. Физические основы надежности. - М.: Энергия, 1970. - 152 с.
2. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.И. Кинетическая природа прочности твердых тел. - М.: Наука, 1974. - 560 с.
3. Гадалин Н.И., Мехеда В.А., Тарасов Ю.Л., Тимшин В.Т. Влияние вакуума на деформационные характеристики сплава ДІ6АТ. - В кн.: Вопросы прочности и долговечности элементов авиационных конструкций. Межвузовский сборник, вып. 4, 1978, с.110-114.