

ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ АДГЕЗИОННОЙ СВЯЗИ КЛЕЕВ И КОМПАУНДОВ С ГРАНИТОМ, БЕТОНОМ И СТАЛЯМИ

Установлено, что между характеристическими температурами T_i и T_b температурно-временная зависимость прочности адгезионной связи клеев и компаундов с гранитом, бетоном и сталями описывается уравнением Журкова. При $T < T_i$ прочность не зависит от температуры, временная зависимость прочности описывается квантовым аналогом уравнения Журкова. Найдено эмпирическое выражение, описывающее температурно-временную зависимость прочности при $T > T_b$. Эти результаты позволили предложить способ прогнозирования долговечности адгезионных соединений при любой температуре по результатам измерения прочности в интервале $T_i < T < T_b$.

It was established that the connection between the adhesion strength of glues and compounds with granites, betons and steels is described by Zurkov's equation inside temperature range T_i and T_b were T_i and T_b are characteristics temperatures. At $T < T_i$ the adhesion strength does not dependence of temperature, and time dependence is described by quantum analog of Zurkov's equation. It was found an empirical equation describes temperature-time dependence above $T > T_b$. These results permits us to predict of time to fracture of adhesion joints using the results of measuring of strength at any temperature between $T_i < T < T_b$.

Прочность σ является одной из важнейших характеристик адгезионных соединений. Известно, что для металлов, кристаллов, полимеров и т.д. она связана с температурой T и временем до разрушения (долговечностью) τ уравнением Журкова [3, 4]:

$$\sigma = \frac{U_0}{\gamma} - \frac{kT}{\gamma} \ln \frac{\tau}{\tau_0}, \quad (1)$$

где $\tau_0 \approx 10^{-13}$ с; U_0 – энергия активации; γ – активационный объем разрушения; k – константа Больцмана.

Литература, в которой бы анализировалась справедливость этого уравнения для адгезионных соединений клеев и компаундов с металлами и горными породами, весьма скудна и противоречива [1, 2]. Отмечается, что часто встречаются значительные отклонения от него в области нормальных и высоких температур, причем природа отклонений не выяснена. Долговечность адгезионных соединений при отрицательных температурах не изучалась.

Результаты исследований температурных зависимостей прочности адгезионных связей со сталью 45 (рис.1), гранитом и бетоном (качественный характер зависимостей одинаков) ряда клеев и компаундов показали, что температурную кривую можно разбить на три участка:

- до достижения характеристической температуры T_i прочность не зависит от температуры;

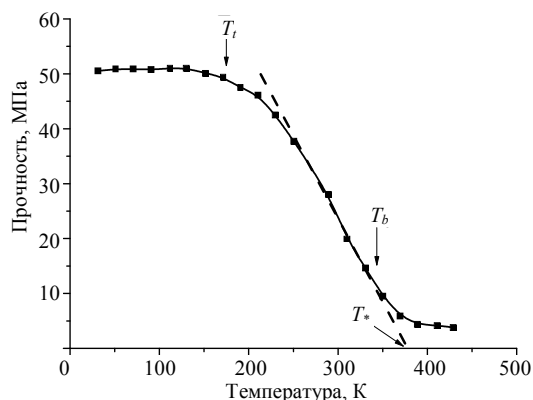


Рис. 1. Температурная зависимость прочности адгезионной связи клея К-300 со сталью 45

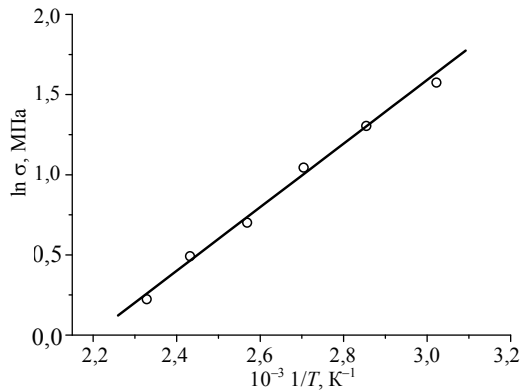


Рис.2. Зависимость $\ln \sigma$ от $1/T$ для адгезионной связи клея К-300 со сталью 45

- между двумя характеристическими температурами T_i и T_b прочность уменьшается пропорционально температуре;

- при $T > T_b$ наклон температурной зависимости прочности постепенно уменьшается при повышении температуры.

Рассмотрим вначале область температур между T_i и T_b . При постоянной скорости нагружения уравнение (1) можно переписать в виде

$$\sigma_f(T) \approx \frac{U_0}{\gamma} - \frac{kT}{\gamma} \ln \frac{0,1t_f}{\tau_0}, \quad (2)$$

где t_f – время до разрушения. Вычисления при помощи этого уравнения показали, что $U_0 = 115 \pm 10$ кДж/моль, а $\gamma = 1,7 \div 2,8$ нм³.

Отклонения уравнения Журкова в области низких температур ($T < T_i$) обусловлены изменением механизма разрыва межатомных связей. Если при высоких температурах межатомные связи разрываются под влиянием тепловых флуктуаций, то при низких – за счет туннельных переходов. В этом случае уравнение (1) приобретает вид

$$\sigma \approx \frac{U_0}{\gamma} - \frac{kF_q}{\gamma} \ln \frac{\tau}{\tau_0}, \quad (3)$$

где $F_q \approx \text{const}$ – квантовая функция. Видно, что в этом случае прочность не зависит от температуры, но зависит от времени.

Рассмотрим теперь область температур $T > T_b \approx T_g$, где T_g – температура стеклования. Известно, что при температурах выше T_g предразрывная деформация растет и величина γ непрерывно уменьшается, что приводит к уменьшению наклона температурной зависимости прочности, наблюдаемому в эксперименте. Эмпирическое уравнение, описывающее зависимость прочности от температуры при $T > T_b$, имеет вид

$$\ln \sigma \approx \ln \sigma(T_g) - \frac{3kT_g}{U_0} \ln \frac{\tau}{\tau_0} + 3 \frac{T_g}{T}, \quad (4)$$

где $\sigma(T_g)$ – прочность при температуре стеклования.

На рис.2 показана зависимость $\ln \sigma$ от $1/T$ для адгезионной связи клея К-300 со сталью 45. В согласии с (4), тангенс угла наклона прямой равен $3T_g$ и не зависит от времени до разрушения.

Эти результаты позволили предложить следующий метод прогнозирования прочности адгезионных соединений. Сначала измеряется прочность при температуре в интервале $T_i < T < T_b$. По табличному значению U_0 и формуле (2) вычисляется γ , затем прочность при T_i и T_b по формуле (1). Получив F_q из (3), можно рассчитать долговечность при любой температуре.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берлин А.А. Основы адгезии полимеров / А.А.Берлин, В.Е.Басин. М.: Химия, 1969.
2. Зимон А.Д. Адгезия пленок и покрытий. М.: Химия, 1977.
3. Петров В.А. Физические основы прогнозирования долговечности конструкционных материалов / В.А.Петров, А.Я.Башкарев, В.И.Веттегрень. СПб: Политехника, 1993.
4. Регель В.Р. Кинетическая природа прочности твердых тел / В.Р.Регель, А.И.Слущер, Э.Е.Томашевский. М.: Наука, 1974.