

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Каримбаев Т.Д
ФАУ ЦИАМ им. Баранова

На основе построенных законов распределения предела прочности и нагрузки разработан метод определения необходимого запаса прочности $k_r(\epsilon_b)$ для заданной величины вероятности разрушения $p(\epsilon_b)$.

Применение композиционных материалов (КМ) в технике из года в год расширяется. Такие качества углепластиков как удельная прочность, жесткость, коррозионная стойкость и другие являются базовыми для их возрастающего использования. Однако имеется ряд свойств [1,2] полимерных КМ (ПКМ), которые формируют мотивы предосторожности при создании длительно используемых изделий конструкционного назначения. Наиболее важным среди них является чувствительность ПКМ к повреждениям. Для получивших эксплуатационное повреждение ПКМ характерно то, что поврежденная деталь возвращается к исходному состоянию: на её поверхности не видны какие-либо следы повреждения. Результатом повреждения являются внутренние повреждения, которые могут стать причиной непредусмотренных явлений. Проекты изделий с неопределенностями в виде повреждений покрываются запасами прочности, величины которых регламентированы нормативными документами. Нормированные значения запасов прочности являются обобщенными параметрами инженерного опыта проектирования, прочностной доводки и эксплуатации прототипов. Принятые нормы безопасности, как правило, неизменные в течение длительного времени, неукоснительно выполняются при создании новых изделий. Со временем они становятся консервативными, появляются конфликтные ситуации, особенно при разработке, изготовлении и эксплуатации изделий с применением новых технических решений, новых технологий, новых материалов, новой базы доказательных испытаний. При разработке, изготовлении и эксплуатации изделий с применением новых технических решений часто имеет место ситуация, в которой практически отсутствует опыт создания и эксплуатационной наработки прототипов. Неблагоприятные условия в сочетании с возможностями неточностей в постановках задачи, ограниченностью исходных данных для проведения расчетов, несовершенством методики проектирования требуют использования больших значений запасов прочности для обеспечения надежности. Однако большие значения запасов прочности могут привести к тому, что преимущества использования новых технических решений становятся не очевидными (спорными). В связи с этим предлагается задаться требуемым уровнем технического риска и в этих условиях провести разработку изделия. Количественным выражением заданного уровня технического риска является вероятность $p(\epsilon_b)$ исчерпания несущей способности. В работе разработан аналитический метод определения необходимого уровня регламентированного запаса прочности $k_r(\epsilon_b)$ для заданной величины вероятности разрушения $p(\epsilon_b)$. Для его определения используется вероятностный закон распределения запаса прочности k . Закон распределения запаса прочности k определяется как распределение отношения минимальной прочности σ_{bmin} к максимальной величине действующих напряжений σ_{max} ($k = \sigma_{bmin} / \sigma_{max}$) и определяется из равенства [3,4]

$$g(k) = \frac{dG(k)}{dk} = - \int_{s_{max}}^{\infty} f(k s_{max}, s_{max}) ds_{max} + \int_{-\infty}^{s_{max}} f(k s_{max}, s_{max}) ds_{max} \quad (1)$$

Здесь $G(k)$ – интегральная функция, $g(k)$ – плотность распределения вероятности запасов прочности; $f(\sigma_{min}, \sigma_{max})$ – совместная плотность распределения минимальных значений пределов прочности и максимальных значений эксплуатационных напряжений. В подавляющем большинстве инженерных приложений пределы прочности материала и рабочие напряжения

являются независимыми случайными величинами. В этом случае $f(\sigma_{\min, S_{\max}}) = f_{\sigma}(\sigma_{\min}) \cdot f_s(S_{\max})$, где $f_{\sigma}(\sigma_{\min})$ и $f_s(S_{\max})$ – законы распределения минимальных значений предела прочности и максимальных значений напряжений. В работе законы распределения минимальной прочности $f_{\sigma}(\sigma_{\min})$ и максимальных напряжений $f_s(S_{\max})$ сформированы на основе виртуальных испытаний, выполненных с учетом неопределенностей различного типа. Неопределенности X_p^i , X_p^{ij} в законах распределения минимальной прочности σ_{bmin} связаны с естественным разбросом прочностных характеристик материала, технологическими дефектами, влиянием внешних факторов, эксплуатационными повреждениями и др.. Неопределенности Z_p^{ij} в законах распределения максимальных напряжений σ_{\max} связаны с естественным разбросом действующих нагрузок, с рассеянием упругих характеристик материала, отклонениями (допусками) в граничных условиях, ограниченностью расчетных моделей и методов, уровнем наших знаний. Зависимости компонентов прочности $\sigma_i(X_p^i)$, $\tau_{ij}(X_p^{ij})$ и компонентов тензора напряжений $s_{ij}(Z_p^{ij})$ от неопределенностей, обозначенных нижним индексом p , смоделированы соотношениями

$$\sigma_i(X) = A^i + \sum B_p^i X_p^i + \sum \sum C_{pq}^i X_p^i X_q^i, \tau_{ij}(X) = A^{ij} + \sum B_p^{ij} X_p^{ij} + \sum \sum C_{pq}^{ij} X_p^{ij} X_q^{ij}$$

$$s_{ij}(Z) = F^{ij} + \sum G_p^{ij} Z_p^{ij} + \sum \sum H_{pq}^{ij} Z_p^{ij} Z_q^{ij}$$

Разработаны способы определения коэффициентов A^i, \dots, H_{pq}^{ij} и законов распределения прочности и напряжений из результатов испытаний. На рис. а приведены распределения напряжений $s_{11}(Z)$ и прочности при различных значениях математического ожидания прочности $\sigma_1(X)$ при растяжении. На рис. б приведены распределения запасов прочности k , определенные в соответствии с (1). В принятых условиях они являются нормальными. На рис. в приведены расчетные значения запасов прочности по их средним значениям и вероятностям разрушения 0.1 и 0.01. Расчетные запасы прочности достаточны, даже для наименьшего математического ожидания прочности.

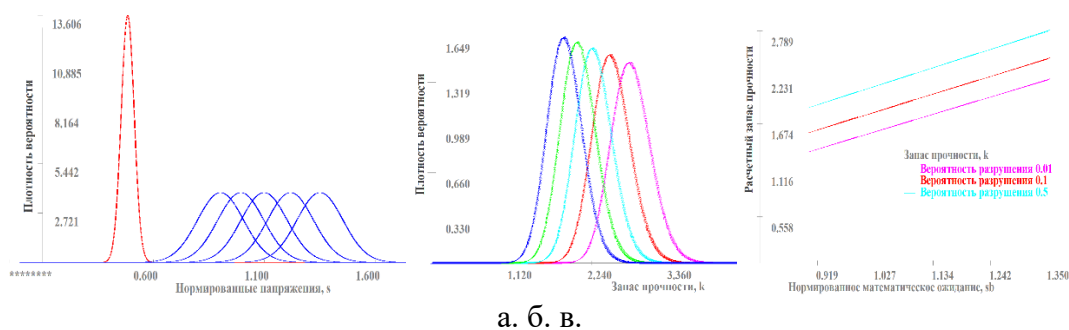


Рис. 1 – Расчетные значения запасов прочности по их средним значениям и вероятностям разрушения 0.1 и 0.01

Список литературы:

1. Ch. C. Chamis – Probabilistic vibration assessment of composite engine fan blades – AIAA-96-1357-CP, p 366-376.
2. X.Luo, G.V. Srinivasan, W.K. Tredway – Reliability Prediction of Monolithic Structural Ceramics with Uncertainties – Proceeding of GT-2007. ASME Turbo Expo 2007, Power for Land, Sea and Air May 14-17, 2007, Monreal Canada, p.7.
3. Karimbaev T. D. – The Statistical Nature of the Standardized Value of the Strength Margins – Proceeding of The Third International Symposium on «Brittle Matrix Composites», 17-19 September 1991, Warsaw – Poland.
4. Karimbaev T. D. – Probability Nature of a Strength Margin – Proceeding of The Fourth International Conference «Ceramic – Ceramic Composites» 18-20 November 1997, Mons, Belgium

Информация об авторах:

Каримбаев Т. Д. – д-р техн. наук, профессор. Область интересов: Конструкционная прочность композиционных и керамических материалов.

AN ANALYTICAL DESCRIPTION OF THE DAMAGE INFLUENCE ON THE COMPOSITE PRODUCTS PERFORMANCE

T.D. Karimbaev
CIAM, Moscow, Russia

Probability laws of distribution of strength reserves according to known probabilities of the minimum strength of the material and maximum load are analytically defined. The influences of uncertainties affecting the distribution parameters of the probability of minimum strength as well as maximum stresses have been investigated. The uncertainties of strength limits are associated with the natural scattering of mechanical properties of the material, technological defects, operational damages, external factors, etc. Uncertainties of stresses are caused by the scattering and limitations of the initial data, inaccuracies of the calculation models and other.