

УДК 539.375

DOI: 10.15372/PMTF202315316

ВЛИЯНИЕ ТИПА ПЛОСКОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ТОНКОГО УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО АДГЕЗИОННОГО СЛОЯ НА ЗНАЧЕНИЕ J -ИНТЕГРАЛА

В. Э. Богачева, В. В. Глаголев, Л. В. Глаголев, А. А. Маркин

Тульский государственный университет, Тула, Россия

E-mails: v.boga4eva2014@yandex.ru, vadim@tsu.tula.ru, len4ic92@gmail.com,

markin-nikram@yandex.ru

Рассматривается деформация идеально упругопластического адгезионного слоя образца в виде упругой двухконсольной балки. С учетом всех диагональных компонент тензора напряжений в слое найдены значения J -интеграла для ряда адгезивов. Показано, что при использовании упругопластической модели деформирования слоя тип плоской задачи может оказывать существенное влияние на значение J -интеграла. Показано, что при нормальном отрыве в зоне необратимых деформаций адгезива в плоском напряженном состоянии возможно наличие сжимающих напряжений.

Ключевые слова: адгезив, упругопластическое деформирование, линейный параметр, J -интеграл

Введение. Для нахождения критических значений J -интегралов адгезионных слоев используется формула податливости Ирвина [1, 2]. При этом в качестве образца выбирается двухконсольная балка (ДКБ-образец), в которой часть консолей соединены адгезивом, а зона разрыва связей представляется в виде трещиноподобного дефекта (рис. 1). Предполагается, что внешняя силовая нагрузка F равномерно распределена по торцам консолей с интенсивностью $Q = F/b$. Считаем, что рассматриваемая нагрузка приводит к однородному распределению векторов напряжений $P = F/(hb)$ на левых торцах консолей.

При изучении линейно-упругой модели поведения консолей 1 и 2 без учета толщины слоя δ_0 , пренебрежимо малой по сравнению с высотой консолей h в плоскости x_1Ox_2 , получаем модель распространения трещины в виде математического разреза при жестком сцеплении консолей с адгезионным слоем. В этом случае J -интеграл зависит от коэффициента интенсивности напряжений. Поскольку коэффициент интенсивности не зависит от типа плоской задачи, значение J -интеграла в случае плоского деформирования отличается от его значения в случае плоского напряженного состояния на величину $1 - \nu^2$, где ν — коэффициент Пуассона поврежденного тела. В образце (см. рис. 1) на поверхностях $x_3 = 0$ и $x_3 = -b$ реализуется состояние, близкое к плоскому напряженному, а во внутренних сечениях образца, близких к его середине $x_3 = -b/2$, состояние соответствует плоской деформации при достаточно большой ширине b . Получаемое в результате эксперимента значение J -интеграла ассоциируется с потоком упругой энергии в вершину трещины в условиях плоской деформации, так как деформация консолей рассматривается в рамках

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 23-21-00017).

© Богачева В. Э., Глаголев В. В., Глаголев Л. В., Маркин А. А., 2023

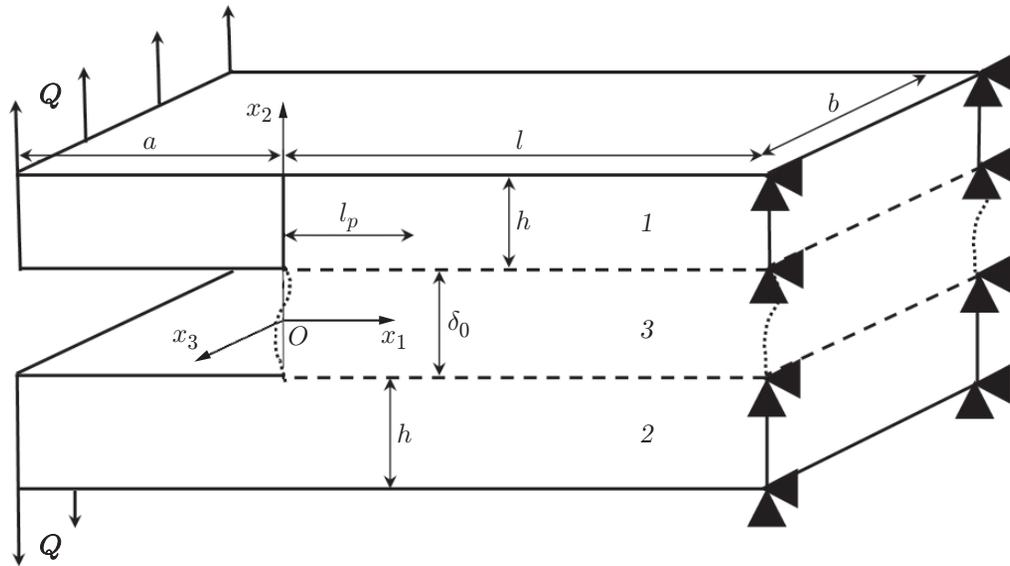


Рис. 1. Схема нагружения ДКБ-образца:
1 — консоль 1, 2 — консоль 2, 3 — слой адгезива

балочной теории и коэффициент Пуассона полагается равным нулю. Заметим, что погрешность измерений в эксперименте для сжимаемых материалов соответствует погрешности, вносимой величиной $1 - \nu^2$.

Адгезионные слои могут деформироваться пластически [3]. Поскольку пределы текучести адгезивов значительно меньше пределов текучести сопрягаемых с ними материалов, исследование влияния локальных областей диссипации в пределах адгезионного слоя на J -интеграл является актуальной задачей.

В механике разрушения широко используется модель Леонова — Панасюка — Дагдейла [4, 5]. В этом случае при растяжении пластин с трещиной в виде математического разреза на продолжении трещины реализуется напряженное состояние с одной положительной компонентой тензора напряжений в направлении отрыва, равной пределу текучести материала. Существование тонких зон необратимых деформаций наблюдалось в эксперименте в случае состояния материала, близкого к плоскому напряженному. Данное представление используется в различных моделях, описывающих зоны предразрушения. В тонкой зоне пластического деформирования отсутствует жесткое сцепление поврежденного материала до достижения точки, в которой он переходит в упругое состояние. В зависимости от суммарного коэффициента интенсивности в этой точке возможно как конечное [4–6], так и сингулярное [7–10] напряженное состояние. В работе [11] при описании зоны предразрушения были исследованы конечное и сингулярное напряженные состояния при положительном и нулевом суммарном коэффициенте интенсивности напряжений.

При решении задачи о нормальном отрыве адгезива будем предполагать, что напряженно-деформированное состояние адгезионного слоя описывается соотношениями для средних по его толщине характеристик [12, 13]. При этом учитываются напряжения как в направлении отрыва, так и в ортогональных ему направлениях. Толщина слоя рассматривается в качестве линейного параметра, при стремлении которого к нулю получается значение J -интеграла для упругого материала [14]. При использовании линейно-упругой модели поведения адгезионного слоя и консолей коэффициент Пуассона адгезионного слоя, модуль упругости которого значительно меньше модуля упругости сопрягаемого материала, не влияет на значение J -интеграла [15]. Таким образом, в рассматриваемой плоской

задаче для консолей образца значение J -интеграла не зависит от ее типа. Данное значение будем называть эталонным.

В работе [16] проанализировано конечно-элементное решение задачи о предельном состоянии адгезионного слоя в ДКБ-образце в случае плоского деформированного состояния при упругопластическом поведении материала слоя. Показано, что, несмотря на наличие зон пластичности в предельно тонких адгезионных упругопластических слоях, значение J -интеграла практически совпадает с полученным в расчете при обратимых деформациях и соответствует результату расчета с использованием коэффициента интенсивности напряжений. Это объясняется увеличением гидростатического напряжения, обусловленным увеличением всех диагональных компонент тензора напряжений в слое. Заметим, что в случае плоского напряженного состояния слоя компонента тензора напряжения, действующая в направлении оси Ox_3 (см. рис. 1), в процессе деформирования остается постоянной и принимает нулевое значение.

В данной работе при заданной предельной внешней нагрузке строится решение упругопластической задачи для предельно тонких, но имеющих конечную толщину слоев адгезива в плоском напряженном состоянии. Полученное решение сравнивается с критическими значениями J -интеграла, вычисленными для модели трещины в виде математического разреза через коэффициент интенсивности напряжений. На основе данного решения можно определить значения J -интеграла с учетом диссипации энергии при уменьшении линейного параметра для адгезионных слоев с различными упругопластическими свойствами.

1. Постановка задачи. Рассмотрим сечение образца, показанного на рис. 1, плоскостью x_1Ox_2 . Считаем, что консоли 1 и 2 имеют одинаковые геометрические и механические характеристики. Область возможного пластического деформирования слоя имеет длину l_p , а консоли деформируются упруго. Рассматривается поведение консолей в состоянии плоской деформации. Предполагаем, что $h \ll l$ и условие жесткой заделки правого торца не оказывает влияния на распределение напряжений в вершине трещиноподобного дефекта.

Модуль интенсивности критической нагрузки для слоя нулевой толщины при жестком сцеплении консолей 1 и 2 на участке длиной l вычисляется по формуле [17]

$$Q_c = \sqrt{\frac{G_{Ic} h E}{12(1 - \nu^2)}} \left(\frac{a}{h} \left(1 + 0,673 \frac{h}{a} \right) \right)^{-1}, \quad (1)$$

где E — модуль упругости консоли; ν — коэффициент Пуассона консоли; h — высота консоли; a — длина трещины; G_{Ic} — критическое значение J -интеграла при нагружении по моде I в состоянии плоской деформации.

Критическую распределенную нагрузку на левом торце консоли определим в виде $P = Q_c/h$. Поскольку при линейно-упругом поведении слоя адгезива малой, но конечной толщины [15] значение J -интеграла для любого типа плоской задачи определяется деформацией консолей ДКБ-образца, найденную распределенную нагрузку будем использовать при учете упругопластических свойств адгезива в плоском напряженном состоянии.

В силу симметрии образца и внешней нагрузки решение задачи строим для консоли 1, используя вариационное уравнение [13, 16]

$$\int_{S_1} \sigma : \delta \varepsilon ds + \int_l \bar{\sigma}_{22} \delta u_2^+ dx_1 + 0,5 \delta_0 \int_l \bar{\sigma}_{11} \frac{\partial \delta u_1^+}{\partial x_1} dx_1 = \int_{L_1} \mathbf{P} \cdot \delta \mathbf{u} dl, \quad (2)$$

где \mathbf{u} — векторное поле перемещений консоли 1; σ, ε — тензоры напряжений и деформаций; S_1 — площадь сечения консоли 1 плоскостью x_1Ox_2 ; L_1 — контур, ограничивающий площадь S_1 ; $\bar{\sigma}, \bar{\varepsilon}$ — тензоры средних напряжений и деформаций слоя; u_1^+, u_2^+ — компоненты вектора перемещений верхней границы слоя длиной l ; \mathbf{P} — внешняя нагрузка.

Рассматривается случай жесткого сцепления консоли 1 и слоя. Средние деформации слоя определяются через его граничные перемещения следующим образом:

$$\bar{\varepsilon}_{11}(x_1) = \frac{du_1^+(x_1)}{dx_1}, \quad \bar{\varepsilon}_{22}(x_1) = \frac{2u_2^+(x_1)}{\delta_0}. \quad (3)$$

В уравнении (2) учтено, что в слое средние касательные напряжения равны нулю. Материал консоли 1 считаем линейно-упругим, а материал адгезионного слоя рассматриваем в рамках деформационной теории пластичности [18]. Условием пластичности считаем достижение критического значения интенсивности касательных напряжений. Поведение материала слоя на стадии упругопластического деформирования рассматриваем при постоянном значении интенсивности напряжений:

$$T_p = \sqrt{(\bar{\sigma}_{11} - \bar{\sigma}_{22})^2 + (\bar{\sigma}_{22})^2 + (\bar{\sigma}_{11})^2} / \sqrt{6} = \text{const}. \quad (4)$$

Значение постоянной в (4) определяет предел текучести по интенсивности напряжений. Соответствующий предел текучести может быть определен через предел текучести при одноосном растяжении $T_p = \sigma_0 / \sqrt{3}$, где σ_0 — предел текучести материала слоя при одноосном растяжении, в случае когда имеет место только одно главное напряжение. Задача, включающая уравнение (2), определяющие соотношения и граничные условия, является замкнутой. Для ее решения используем метод конечных элементов с квадратичной аппроксимацией смещений в сочетании с методом упругих решений Ильюшина [18]. Постановка и метод решения этой задачи приведены в работе [19].

Значение J -интеграла определяем по средним характеристикам напряженно-деформированного состояния слоя согласно формуле [16]

$$J = \delta_0 \left[\bar{\sigma}_{11} \bar{\varepsilon}_{11} \Big|_{x_1=0} + 0,5(\bar{\sigma}_{22} \bar{\varepsilon}_{22} - \bar{\sigma}_{11} \bar{\varepsilon}_{11}) \Big|_{x_1=l_p} - \int_0^{l_p} \left(\bar{\sigma}_{22} \frac{\partial \bar{\varepsilon}_{22}}{\partial x_1} - \frac{\partial \bar{\sigma}_{11}}{\partial x_1} \bar{\varepsilon}_{11} \right) dx_1 \right], \quad (5)$$

где l_p — длина области пластического деформирования. В предположении равенства нулю осевых напряжений в слое из (3)–(5) при $\delta_0 \rightarrow 0$ получаем классическое выражение для J -интеграла в модели Леонова — Панасюка — Дагдейла $J = 2\sigma_0 u_2^+ \Big|_{x_1=0}$. Заметим, что в данной модели критическое перемещение, по сути, является критериальной характеристикой, обусловленной конечностью поля напряжений вследствие обращения в нуль суммы внешних и внутренних коэффициентов интенсивности напряжений. В рассматриваемом подходе перемещение в вершине трещиноподобного дефекта является следствием деформации адгезионного слоя конечной толщины δ_0 . Рассматривая деформацию [20] и J -интеграл при критической внешней нагрузке в качестве прочностной характеристики материала, можно определить значение линейного параметра, соответствующего рассматриваемому масштабному уровню.

2. Результаты решения. Следуя работе [3], рассмотрим ДКБ-образец с консолью из стали марки С45Е с модулем упругости $E = 200$ ГПа, коэффициентом Пуассона $\nu = 0,25$ и адгезионными слоями, характеристики которых приведены в табл. 1 (σ_c — предел прочности; ε_c — предельная деформация). Предельные характеристики напряженно-деформированного состояния приведены для случая одноосного растяжения. Геометрические характеристики образца [3] имели следующие значения: $a = 0,055$ м, $h = 0,0127$ м, $l = 0,245$ м.

На рис. 2,а приведено распределение напряжений в слое адгезива Araldite AV138 для расчетной нагрузки (1) при различных значениях толщины слоя.

На рис. 2,б показаны аналогичные распределения напряжения в слое адгезива Sikaforce 7752 при указанных выше значениях линейного параметра. На рис. 2 выделены области

Таблица 1

Механические характеристики адгезивов

Адгезив	E , ГПа	ν	σ_0 , МПа	σ_c , МПа	ε_c , %	G_{1c} , Н/м
Araldite AV138	4,90	0,35	36,49	39,45	1,21	200
Araldite 2015	1,85	0,33	12,63	21,63	4,77	430
Sikaforce 7752	0,49	0,30	3,24	11,48	19,18	2360

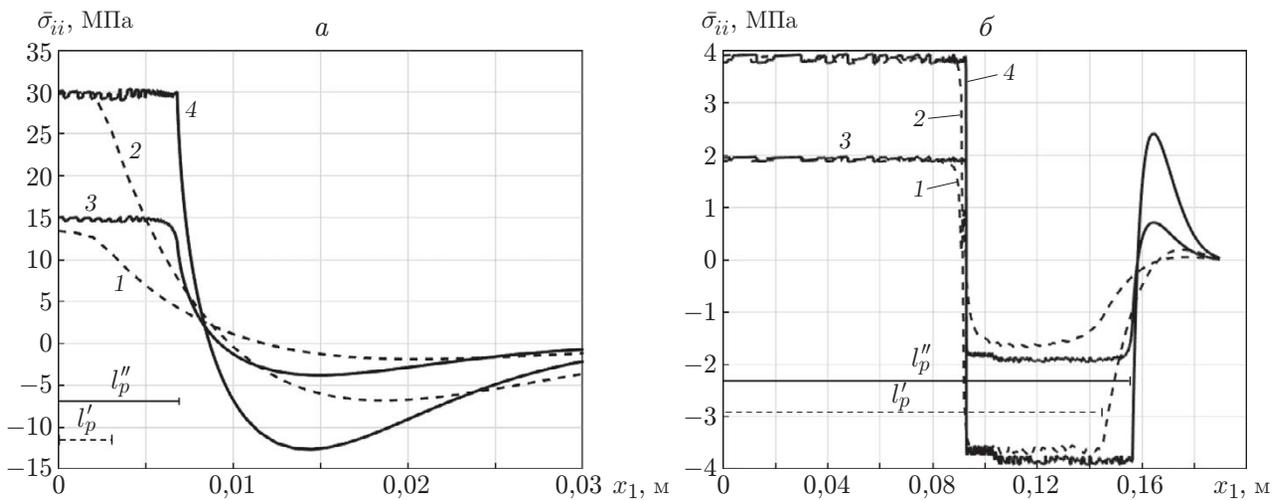


Рис. 2. Распределения напряжений $\bar{\sigma}_{11}$ (1, 3) и $\bar{\sigma}_{22}$ (2, 4) в слое адгезивов Araldite AV138 (а) и Sikaforce 7752 (б):

1, 2 — $\delta_0 = 10^{-3}$ м, 3, 4 — $\delta_0 = 10^{-5}$ м; l_p — длина пластического слоя (l_p' — при $\delta_0 = 10^{-3}$ м, l_p'' — при $\delta_0 = 10^{-5}$ м)

пластических деформаций при рассмотренных значениях линейного параметра δ_0 . Длина l_p' соответствует значению $\delta_0 = 10^{-3}$ м, а длина l_p'' — значению $\delta_0 = 10^{-5}$ м.

На рис. 2,а видно, что при рассматриваемых значениях линейного параметра в зоне пластических деформаций имеют место только растягивающие напряжения. Для адгезива Sikaforce 7752 (см. рис. 2,б) в области пластических деформаций образуется область сжимающих напряжений. При этом в силу наличия напряжения $\bar{\sigma}_{11}$ в слое напряжение $\bar{\sigma}_{22}$ в концевой зоне слоя может быть как меньше (см. рис. 2,а), так и больше (см. рис. 2,б) значения предела текучести при одноосном растяжении (см. табл. 1). Это обусловлено двух осным напряженным состоянием слоя. Заметим, что между областями сжимающих и растягивающих напряжений отсутствует промежуточная область обратимых деформаций, имеющая место в случае плоской деформации [16].

Представим длину пластической области в виде суммы двух слагаемых: $l_p = l_1 + l_2$, где l_1 — длина области с растягивающими напряжениями; l_2 — длина области со сжимающими напряжениями. Вклад сжимающих напряжений в величину J -интеграла (5) обозначим следующим образом:

$$I^- = -\delta_0 \int_{l_1}^{l_p} \left(\bar{\sigma}_{22} \frac{\partial \bar{\varepsilon}_{22}}{\partial x_1} - \frac{\partial \bar{\sigma}_{11}}{\partial x_1} \bar{\varepsilon}_{11} \right) dx_1.$$

Таблица 2

Критические параметры адгезива Araldite AV138

δ_0 , м	l_1 , м	l_2 , м	l_p , м	J , Н/м	I^- , Н/м	$\bar{\varepsilon}_{22} _{x_1=0}$
10^{-3}	0,003	0	0,003	221	0	0,01
10^{-4}	0,006	0	0,006	220	0	0,08
10^{-5}	0,007	0	0,007	220	0	0,75
10^{-6}	0,007	0	0,007	221	0	7,47

Таблица 3

Критические параметры адгезива Araldite 2015

δ_0 , м	l_1 , м	l_2 , м	l_p , м	J , Н/м	I^- , Н/м	$\bar{\varepsilon}_{22} _{x_1=0}$
10^{-3}	0,009	0	0,009	482	0	0,03
10^{-4}	0,014	0	0,014	472	0	0,28
10^{-5}	0,016	0,002	0,018	474	1,15	2,73
10^{-6}	0,016	0,004	0,020	473	-0,07	27,42

Таблица 4

Критические параметры адгезива Sikaforce 7752

δ_0 , м	l_1 , м	l_2 , м	l_p , м	J , Н/м	I^- , Н/м	$\bar{\varepsilon}_{22} _{x_1=0}$
10^{-3}	0,092	0,053	0,145	9300	-19,90	2,3
10^{-4}	0,093	0,061	0,154	8911	-1,50	23,1
10^{-5}	0,093	0,063	0,156	8922	3,70	231,2
10^{-6}	0,094	0,063	0,157	8931	0,08	2325,7

В табл. 2–4 приведены результаты расчета критических параметров адгезионных слоев с механическими характеристиками, представленными в табл. 1, под действием нагрузки (1).

Для адгезионных слоев Araldite AV138 и Araldite 2015 результаты расчета критического значения J -интеграла (см. табл. 2, 3) различаются на величину порядка 10 % эталонного значения (см. табл. 1). Использование модели упругого деформирования адгезива Araldite AV138 [16] приводит к различию значений J -интеграла на 5 %. В данном случае можно вычислить значение J -интеграла без учета упругопластических характеристик адгезива.

Наиболее существенное отличие от эталонного значения при расчете J -интеграла наблюдается для смолы Sikaforce 7752 (см. табл. 4). В работе [16] в случае упругопластического деформирования образца с учетом плоской деформации слоя смолы Sikaforce 7752 значение J -интеграла при $\delta_0 = 10^{-6}$ м составило 2417 Н/м, что соответствует решению задачи в случае упругого поведения адгезива (смолы). Данный результат обусловлен увеличением гидростатической составляющей тензора напряжений в случае учета всех диагональных компонент в слое для рассматриваемого типа плоской задачи при упругопластическом поведении адгезива. В случае плоского напряженного состояния слоя при его упругопластическом деформировании гидростатическое давление постоянно, что приводит к существенному увеличению длины зоны пластической деформации по сравнению с длиной этой зоны в условиях плоской деформации [16]. Для условий плоской деформации слоя при стремлении его толщины к нулю длина зоны пластичности практически равна нулю, а в случае плоского напряженного состояния (см. табл. 4) соизмерима с длиной области сопряжения консолей. В работе [3] при обработке экспериментальных данных

рассматриваемого ДКБ-образца методом СВВМ (compliance-based beam method) расчетное значение потока упругой энергии составило $G_{Ic} = 4508$ Н/м, что практически в два раза больше значения, приведенного в табл. 1, и в два раза меньше по сравнению с расчетным значением, указанным в табл. 4, при минимальном значении $\delta_0 = 10^{-6}$ м. Таким образом, при выраженных пластических свойствах адгезива размер b экспериментального образца (см. рис. 1) может оказывать существенное влияние на распределение значений J -интегралов по сечениям образца плоскостями $x_3 = x \in [0; -b]$, если считать, что в среднем сечении состояние близко к плоскому деформированному, а в крайних — к плоскому напряженному.

Из табл. 2–4 следует, что при значении линейного параметра $\delta_0 \leq 10^{-4}$ м наблюдаются стабилизация значений J -интеграла и увеличение деформаций в вершине трещиноподобного дефекта. Результаты сравнения значений критических деформаций, приведенных в табл. 1, показывают, что предельные значения линейного параметра находятся в диапазоне $\delta_0 = 10^{-3} \div 10^{-4}$ м.

Несмотря на наличие сжимающих напряжений на пластическом участке деформирования адгезива, согласно данным табл. 3, 4 их учет не является принципиальным при вычислении значения J -интеграла.

Заключение. Рассмотрено упругопластическое деформирование упругими консолями адгезива в виде тонкого слоя с однородными по толщине напряжениями. Использование толщины слоя в качестве линейного параметра позволяет рассматривать предельно тонкие слои с реальными механическими свойствами. Тип плоской задачи о деформировании адгезионного слоя, состояние которого определяется диагональными компонентами тензора напряжений, необходимо учитывать при вычислении критического значения J -интеграла в случае выраженных пластических свойств адгезива. При нормальном отрыве в условиях плоского напряженного состояния в зоне пластического деформирования слоя возможно образование областей сжимающих напряжений, учет которых не оказывает существенного влияния на значение J -интеграла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Irwin G. R., Kies J. A. Critical energy rate analysis of fracture strength // Welding J. Res. Suppl. 1954. V. 33. P. 193–198.
2. Пестриков В. М. Механика разрушения: Курс лекций / В. М. Пестриков, Е. М. Морозов. СПб.: Центр образоват. программ “Профессия”, 2012.
3. Lopes R. M., Campilho R. D. S. G., da Silva F. J. G., Faneco T. M. S. Comparative evaluation of the Double-Cantilever Beam and Tapered Double-Cantilever Beam tests for estimation of the tensile fracture toughness of adhesive joints // Intern. J. Adhes. Adhes. 2016. V. 67. P. 103–111.
4. Dugdale D. S. Yielding of steel sheets containing slits // J. Mech. Phys. Solids. 1960. V. 8, N 2. P. 100–104.
5. Леонов М. Я., Панасюк В. В. Развитие мельчайших трещин в твердом теле // Прикл. механика. 1959. Т. 5, № 4. С. 391–401.
6. Баренблатт Г. И. Математическая теория равновесных трещин, образующихся при хрупком разрушении // ПМТФ. 1961. № 4. С. 3–56.
7. Rose L. R. F. Crack reinforcement by distributed springs // J. Mech. Phys. Solids. 1987. V. 35. P. 383–405.
8. Budiansky B., Amazigo J. C., Evans A. G. Small-scale crack bridging and the fracture toughness of particulate-reinforced ceramics // J. Mech. Phys. Solids. 1988. V. 36. P. 167–187.

9. **Кадиев Р. И., Мирсалимов В. М.** Торможение трещины со связями между берегами с помощью наведенного термоупругого поля напряжений // ПМТФ. 2005. Т. 46, № 1. С. 133–143.
10. **Гольдштейн Р. В., Перельмутер М. Н.** Моделирование трещиностойкости композиционных материалов // Вычисл. механика сплош. сред. 2009. Т. 2, № 2. С. 22–39.
11. **Кургузов В. Д., Корнев В. М.** Построение диаграмм квазихрупкого и квазивязкого разрушения материалов на основе необходимых и достаточных критериев // ПМТФ. 2013. Т. 54, № 1. С. 179–194.
12. **Макклинтон Ф.** Пластические аспекты разрушения // Разрушение. Т. 3. М.: Мир, 1975. С. 67–262.
13. **Glagolev V. V., Markin A. A.** Fracture models for solid bodies, based on a linear scale parameter // Intern. J. Solids Structures. 2019. V. 158. P. 141–149.
14. **Berto F., Glagolev V. V., Markin A. A.** Relationship between J_c and the dissipation energy in the adhesive layer of a layered composite // Intern. J. Fracture. 2020. V. 224, N 2. P. 277–284.
15. **Богачева В. Э., Глаголев В. В., Глаголев Л. В., Маркин А. А.** О влиянии механических характеристик тонкого адгезионного слоя на прочность композита. Ч. 1. Упругое деформирование // Вестн. Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Механика. 2022. № 3. С. 116–124.
16. **Богачева В. Э., Глаголев В. В., Глаголев Л. В., Маркин А. А.** Влияние пластических свойств тонкого адгезионного слоя на распределение зон пластичности и значения J -интеграла в состоянии плоской деформации // Механика композиц. материалов и конструкций. 2023. Т. 29, № 1. С. 115–131.
17. **Andrews M. G., Massabo R.** The effects of shear and near tip deformations on energy release rate and mode mixity of edge-cracked orthotropic layers // Engng Fracture Mech. 2007. V. 74. P. 2700–2720.
18. **Ильюшин А. А.** Пластичность. Ч. 1. Упругопластические деформации. М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1948.
19. **Глаголев В. В., Глаголев Л. В., Маркин А. А.** Определение напряженно-деформированного состояния упругопластических тел с боковым трещиноподобным дефектом с использованием модели с линейным размером // ПМТФ. 2018. Т. 59, № 6. С. 143–154.
20. **Махутов Н. А.** Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность. М.: Машиностроение, 1981.

*Поступила в редакцию 29/V 2023 г.,
после доработки — 9/VI 2023 г.
Принята к публикации 26/VI 2023 г.*