

УДК 624.078.43

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ КЛЕЕВЫХ
СОЕДИНЕНИЙ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ
СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ**

С.И. Корягин, доктор технических наук, профессор

С.В. Буйлов, кандидат физико-математических наук, доцент

Е.С. Минкова, кандидат технических наук, доцент

С.И. Пелевин, кандидат технических наук, доцент

*Балтийский Федеральный университет им. И.Канта, Россия,
г. Калининград*

В статье приведены исследования трещиностойкости клеевых соединений на образце «пузырь под давлением». Получена диаграмма объем-давление и определен размер зоны отслаивания покрытия от подложки.

Ключевые слова: трещиностойкость, статическое нагружение, клеевой соединение, армированное полимерное покрытие, прочность.

Исследование трещиностойкости клеевых соединений выполнялось на образце «пузырь под давлением» [1].

Образец (рис.1) содержит подложку 1 с отверстием 2, установленное на подложке 1 перекрывающее отверстие 2, разделительную прокладку 4 и нанесенное на подложку 1 со стороны разделительной прокладки 3 армированное полимерное покрытие 4. Разделительная прокладка 3 выполнена из антиадгезионного, по отношению к армированному полимерному покрытию 4, материала, например, целлофана.

Образец позволяет повысить точность определения прочности сцепления армированного полимерного покрытия с подложкой путем учета напряженного состояния покрытия при его отслаивании за счет выполнения разделительной прокладки из антиадгезионного, по

отношению к покрытию материала. Нагружение осуществляется жидкостью.

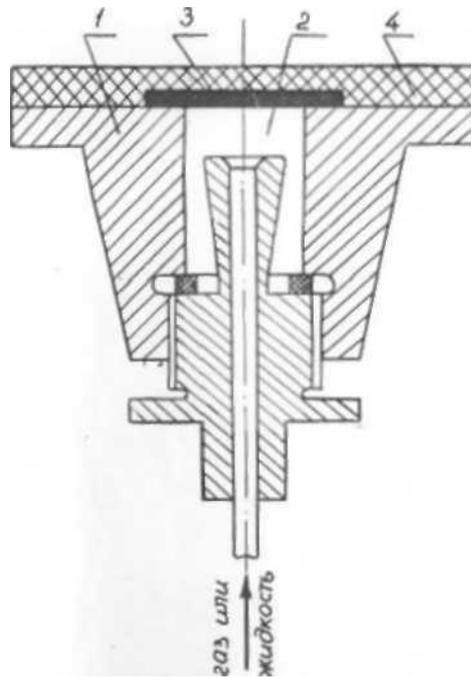


Рис. 1. Конструктивная схема образца для определения прочности сцепления полимерных покрытий с подложкой

В этом случае объем поступившей жидкости определяли по зависимости:

$$V=P \cdot C, \quad (1)$$

где P - давление жидкости; C - величина, характеризующая податливость образца. Затем увеличивали давление жидкости до частичного отслаивания армированного полимерного покрытия и находили величину удельной энергии, затраченной на разрушение:

$$G=\frac{1}{2} \cdot P \cdot \frac{dC}{dA}, \quad (2)$$

где A - площадь трещины.

С учетом выражения (1), получаем:

$$G=\frac{1}{2} \left(P \frac{dV}{dA} - V \frac{dP}{dA} \right), \quad (3)$$

а с учетом конечности величин имеем:

$$G=\frac{1}{2} \left(P \frac{\Delta V}{\Delta A} - V \frac{\Delta P}{\Delta A} \right), \quad (4)$$

где ΔV , ΔP - изменение объема и давления жидкости при увеличении площади трещины (A) на величину ΔA ; V , P - объем и давление жидкости в момент отслаивания покрытия от подложки.

В случае скачкообразного продвижения межслойной трещины величиной ΔV можно пренебречь и, следовательно имеем:

$$G = -\frac{1}{2} \cdot V \frac{\Delta P}{\Delta A}. \quad (5)$$

Данный подход позволяет определить по диаграмме разрушения упругую энергию образца и произведенную работу за определенный промежуток отслаивания покрытия от подложки.

В случае стабильного продвижения межслойной трещины величину G определяли из выражения (3).

Величины G_C и G_A определяли, согласно выражениям, приведенным в работе [2]:

$$G_C = \frac{4P^2 R}{[P^2 + (P + \Delta P)^2](2R + \Delta R)} G; \quad (6)$$

$$G_A = \frac{4(P + \Delta P)^2 (R + \Delta R)}{[P^2 + (P + \Delta P)^2](2R + \Delta R)} G, \quad (7)$$

где R -радиус зоны отслаивания; G - определяли по выражению (3).

Объем поданной в образец жидкости определяли из выражения:

$$v = \alpha * h * d^2 / 8, \quad (8)$$

где α - угол поворота штока поршня; h - шаг резьбы штока поршня; d -диаметр поршня.

В процессе испытаний получали диаграмму объем-давление и определяли размер зоны отслаивания покрытия от подложки. Характер роста межслойных трещин аналогичен характеру роста трещин при нормальном отрыве, то есть клеевой композиции «Спрут-5М-3»- устойчивый, а для композиции «Спрут-Плюс»- скачкообразный *. Для образцов «пузырь под давлением» трещина отслеживала рельеф армирующего материала (стеклоткани) и проходила вблизи поверхности раздела фаз.

Достоверность полученных результатов испытания трещиностойкости клеевых соединений на образце проверяли на консольных балках по методике приведенной в работе [3]. Там же показано, что для консольных образцов при $\tau < 0$ трещина отклоняется к армирующему материалу, а при $\tau > 0$ - к поверхности подложки. На рис. 2 и 3 приведены результаты испытаний клеевых соединений при кратковременном статическом нагружении. Из рис. 2 и 3 видно, что величина G_I примерно в шесть раз меньше величины G_{II} . Механизм вязкости разрушения клеевого соединения можно объяснить тем, что трещина распространяется в том случае, когда плотность энергии деформации в области вершины трещины становится слишком большой. При исследовании поведения трещин, расположенных по границе раздела, клеевая композиция-подложка, наблюдалось распространение трещины на границе раздела при низкой скорости, а при ускорении трещины ее траектория отклонялась в клеевую композицию.

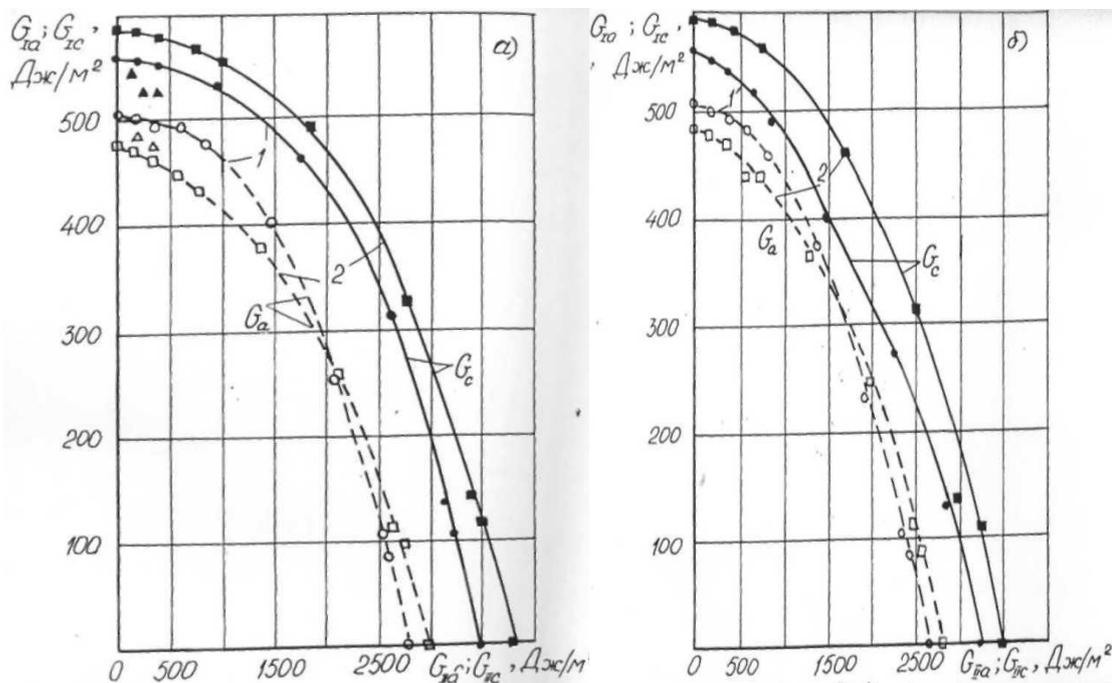


Рис. 2. Диаграммы предельного состояния при $\tau < 0$ (а), при $\tau > 0$ (б). Клеевая композиция Спрут-Плюс. Армирующий материал:

1 – стеклоткань Т-11-ГВС-9; 2 – стекловолокно; Δ - образец «пузырь под давлением»; \blacktriangle – консольный образец

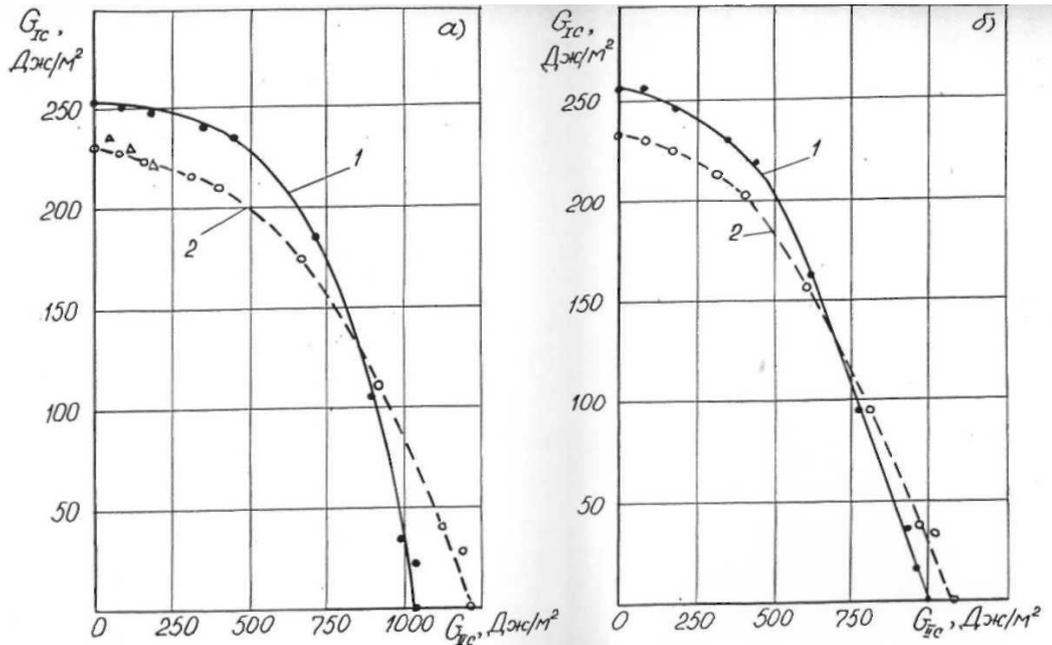


Рис. 3. Диаграммы предельного состояния при $\tau < 0$ (а), при $\tau > 0$ (б). Клеевая композиция Спрут-5М-3. Армирующий материал:

1 – стеклоткань Т-11-ГВС-9; 2 – стекловолокно; Δ - образец «пузырь под давлением»; \blacktriangle – консольный образец

Объясняется это тем, что при низких скоростях трещины энергии адгезии меньше энергии когезии и трещина следует вдоль границы раздела, то есть по пути минимального сопротивления, а при высоких скоростях трещины энергии адгезии больше энергии когезии и поэтому трещина распространяется в клеевую композицию. Аналогичное наблюдение скоростной зависимости разрушения клеевых соединений по границе фаз полимер-металл сделано в работе [2]. Необходимо также отметить, что нами в качестве рабочей гипотезы предложены приемлемые экспериментальные методики для количественной оценки адгезионной и когезионной энергии диссипации в клеевых соединениях. Таким образом, величины G_{Ic} и G_{Ia} являются важными прочностными характеристиками и их следует учитывать наряду с показателями стандартных испытаний клеевых соединений в конструкторских расчетах.

Литература

1. А.с. №974226 СССР. Образец для определения прочности сцепления полимерных покрытий с подложкой / С.В.Буйлов, С.И.Корягин//Б.и.-1982-№42
2. Корягин С.И. Несущая способность композиционных материалов.- Калининград:ГИПП «Янтарный сказ», 1996.-901 с.
3. Корягин С.И., Буйлов С.В. Оценка трещиностойкости армированного полимерного покрытия, нанесенного на металлический элемент/Заводская лаборатория.-2006.-№10.

Дослідження тріщиностійкості клейового з'єднання при короткочасному статичному навантаженні. С.І. Корягін, С.В. Белов, Е.С. Мінкова, С.І. Пелевін

У статті наведено дослідження тріщиностійкості клейових з'єднань на зразку "міхур під тиском". Отримано діаграма обсяг-тиск і визначений розмір зони відшаровування покриття від підкладки.

Research crack adhesive bond at short-term static load. S.I. Koryagin, S.V. Belov, E.S. Minkova, S.I. Pelevin

The paper presents the study of fracture toughness of adhesive joints on the "bubble pressure" sample. We obtain a pressure-volume diagram and determined the amount of peeling of the coating from the substrate zone