

**Пересыпкин К.В., Течкина Д.С.**

**РАЗРАБОТКА ВОЛОКНИСТОГО КОМПОЗИЦИОННОГО  
МАТЕРИАЛА С УПРАВЛЯЕМЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ  
ТЕМПЕРАТУРНОГО РАСШИРЕНИЯ**

Проектирование размеростабильных конструкций за последние годы стало широко востребовано в условиях современной промышленности. К таким конструкциям относятся корпуса высокоточных оптических систем – телескопов и фотоаппаратов, платформы и несущие конструкции для их размещения, крупногабаритные космические антенны.

Во всех этих случаях основным требованием, определяющим работоспособность конструкции, является сохранение заданных размеров и требуемых положений элементов. Размеры конструкций могут претерпевать изменения из-за различных факторов: пластические деформации, возникающие на этапах транспортировки и выведения КА в космос; деформации, вызванные изменением температуры конструкции КА; колебания на участке орбитального полета, вызванные как манёврами КА, так и работой бортовых приборов КА. К серьезным изменениям могут привести изменения характеристик окружающей среды: температуры, влажности, радиации и прочих факторов космического пространства.

В данной работе рассматривается проблема размеростабильности с точки зрения температурных деформаций. Для размеростабильных конструкций требуются материалы со значением коэффициента линейного температурного расширения (КЛТР) близким к нулю.

Относительно низким значение КЛТР обладает углепластик, кроме того он имеет высокие прочностные и жесткостные свойства материала. Однонаправленные КМ имеют разные значения характеристик материала по волокну и поперек. Благодаря этой особенности и большому разнообразию видов волокон КМ, комбинируя их, углы армирования, количество материала, можно варьировать КЛТР в широком диапазоне и даже приблизить его значению к нулю.

Рассматривается материал – углепластик с двумя направлениями волокон под углом  $\pm\beta$  относительно первого (продольного) направления силового элемента (рис. 1).

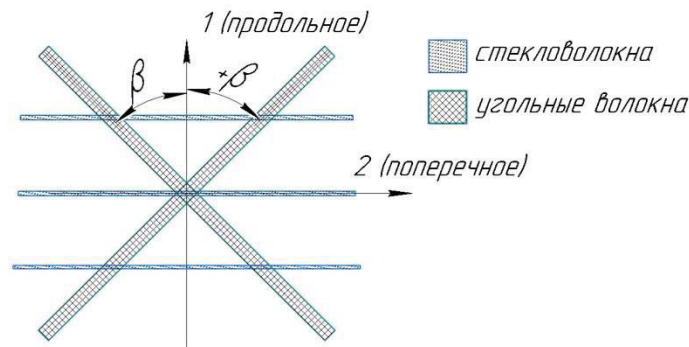


Рис. 1. Предполагаемая укладка волокон для материала с управляемым КЛТР

Изменение линейного размера по первому направлению при повышении температуры будет обусловлено удлинением угольных волокон согласно значению КТЛР. Кроме того, изменения размеров в первом направлении может быть вызвано изменением угла наклона угольных волокон  $\beta$ .

Поворот угольных волокон можно реализовать, положив во втором направлении волокна с большим значением КЛТР, например, стекловолокно. При нагреве стекловолокно удлиняется. Для реализации в пластике соответствующей этому деформации угольным волокнам придется повернуться, изменив угол  $\beta$  (рис. 2). Это и приведет к уменьшению продольного размера.

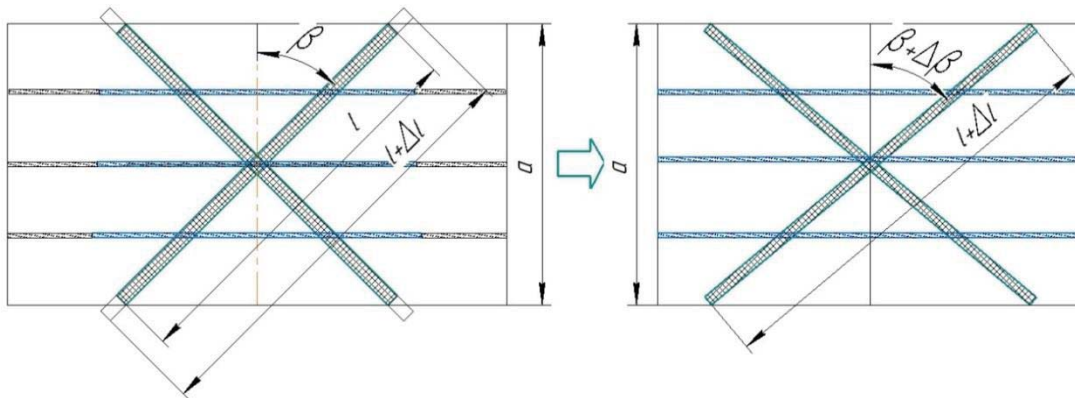


Рис. 2. Поворот угольных волокон при удлинении стекловолокон

Уменьшить значение КЛТР можно в случае, когда изменение продольного размера материала из-за температурных деформаций угольных волокон и из-за их поворота будут разнонаправленными и скомпенсируют друг друга. Зная требования по температурным деформациям, возможно спроектировать материал с необходимым значением КЛТР.

«Управлять» значением КЛТР возможно, варьируя углы армирования углепластика и соотношение количества углеволокна и стекловолокна. Кроме того, стекловолокно имеет разброс значения КЛТР в зависимости от марки. Это может являться еще одним параметром, позволяющим изменять результирующий КЛТР композиционного материала.

В данной работе в качестве материалов использовались углепластик из угольного жгута ВМН-4 и эпоксидной смолы ЭД-20, стеклопластик из волокон Е-стекло и той же смолы. Упругие свойства материалов были определены по правилу смеси (табл. 1). КЛТР углепластика принят равным  $0,5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{C^\circ}$ , что укладывается в диапазон КЛТР для углепластиков [1]. Из [1] взят КЛТР для стеклопластика.

Создание расчетных моделей материала осуществлялось с использованием широко применяемого метода конечных элементов на базе пакета прикладных программ NASTRAN.

Таблица 1 – Свойства полученных материалов

Тип пластика	$E_1$ , МПа	$E_2 = E_3$ , МПа	$\mu_{12}$	$G_{12} = G_{31}$ , МПа	$G_{23}$ , МПа	$\rho \cdot 10^9$ , $\frac{m}{mm^3}$	$\alpha \cdot 10^6, \frac{1}{C^\circ}$
Углепластик	163600	10000	0,3	7365	3846	1,546	0,5
Стеклопластик	45700	10000	0,3	6613	3846	2,044	5

Подберем параметры материала для того, чтобы получить КЛТР в продольном направлении равный нулю. На рисунке 3 показана зависимость КЛТР материала с долей толщины стеклопластика 33% от угла армирования углеволокном  $\beta$ . Минимальное значение КЛТР в продольном направлении, равное  $0,5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{C^\circ}$ , наблюдается при  $\beta = 27,5^\circ$ .

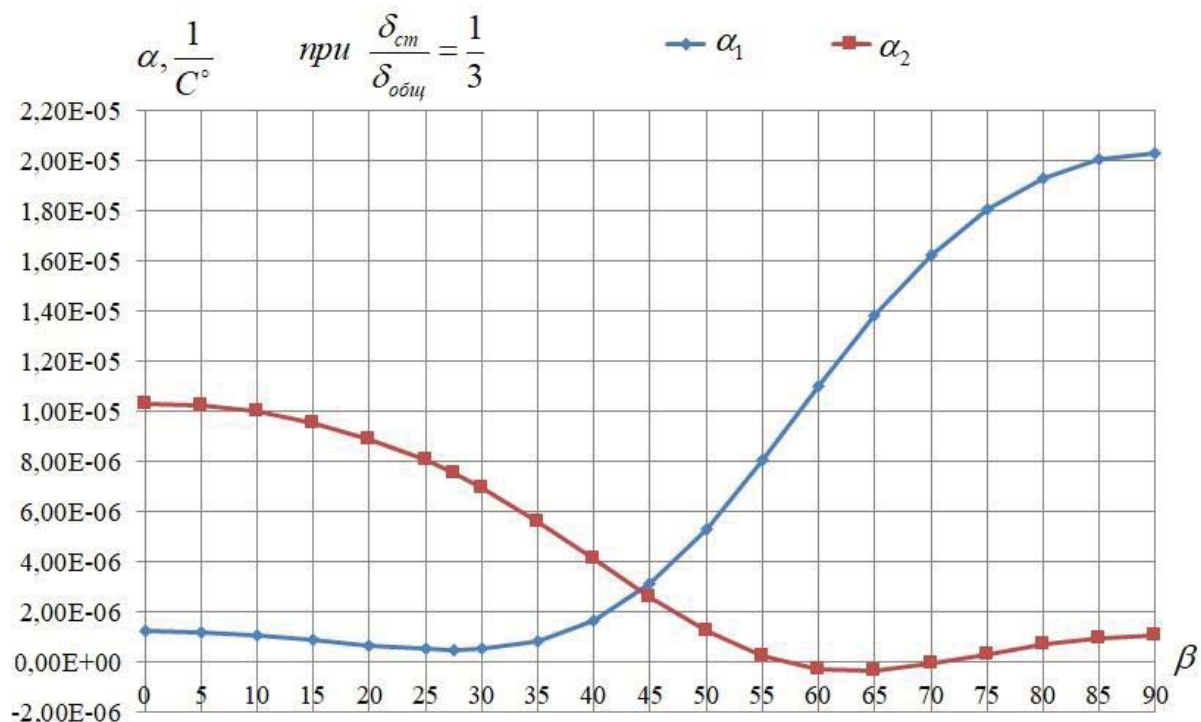


Рис. 3. Зависимости КЛТР от угла ориентации угольных волокон

На рисунке 4 показана зависимость КЛТР для материала с наилучшим углом  $\beta$  из рисунка 3 от доли толщины стеклопластика. При доле толщины стеклопластика 25% наблюдается нулевое значение КЛТР в продольном направлении.

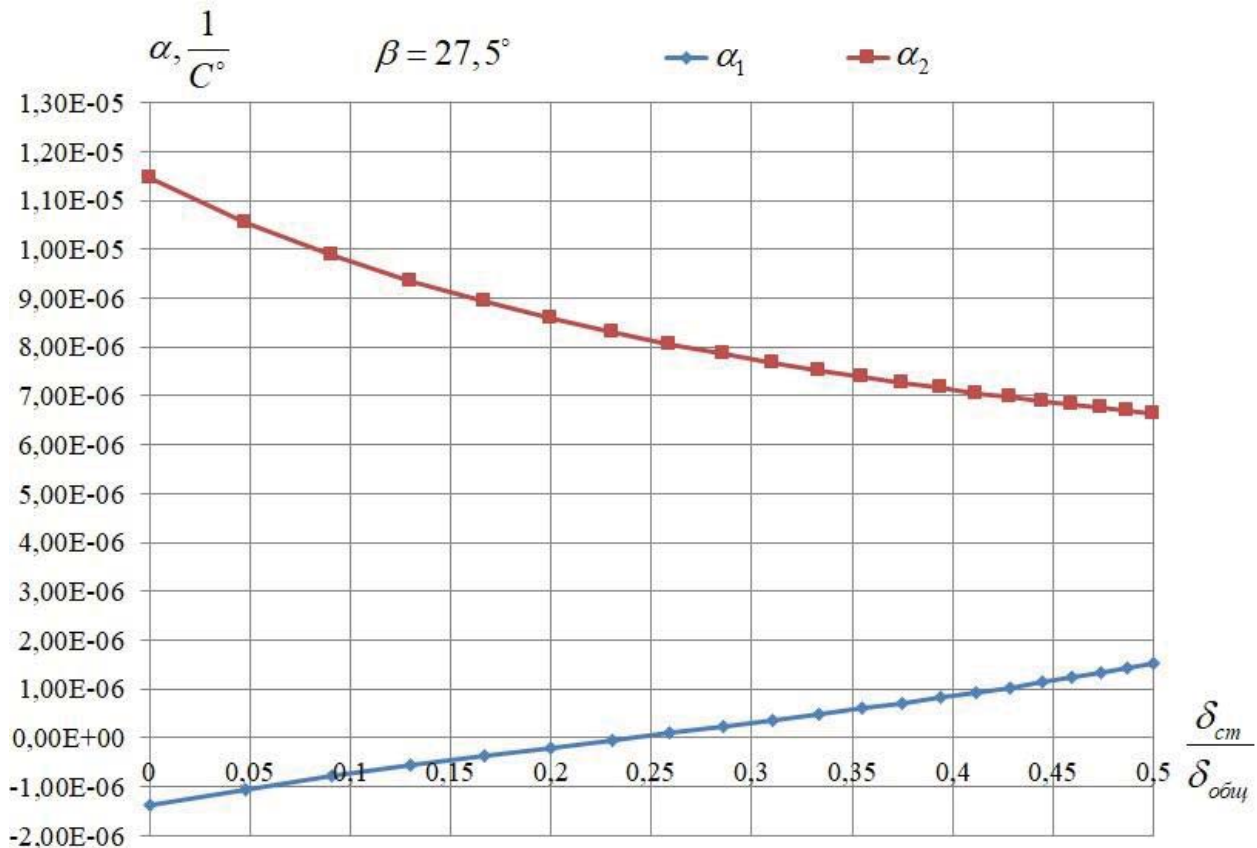


Рис. 4. Зависимость КЛТР от относительного количества стеклопластика  $\frac{\delta_{ст}}{\delta_{общ}}$

Заметим, что согласно рисунку 4 можно сделать материал с заданным отрицательным КЛТР. Это дает возможность скомпенсировать положительные температурные деформации частей конструкций из других материалов отрицательными деформациями рассматриваемого материала. Например, при проектировании реальных конструкций может требоваться материал с отрицательным значением КЛТР. Например, композитный стержень в виде трубки с продольным направлением вдоль оси стержня с металлическими законцовками (рис. 5). Тогда деформация стержневого элемента конструкции будет определяться КЛТР в продольном направлении. Большой поперечный КЛТР приведет к увеличению диаметра трубчатого стержня при нагреве, не изменяя его длины. Для стабильности размеров стержневой конструкции важна именно длина

стержней. Таким образом, большой КЛТР по поперечному направлению трубчатого стержня не влияет на размеростабильность материала конструкции.

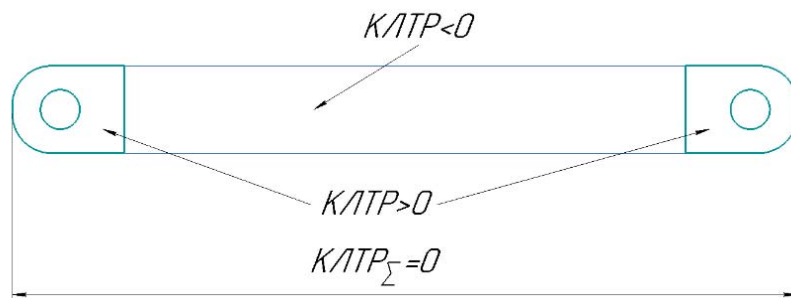


Рис. 5. Композитный стержень с металлическими законцовками

### Библиографический список

1. Справочник по композиционным материалам, под ред. Дж. Любина, пер. с англ., кн. 1-2. М., 1988.