

Р. Е. Виноградов**, *А. А. Борисов*, *А. В. Шалин

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
г. Москва

**R_vinogradov@mail.ru*

НОВЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКОВОЙ МАТРИЦЫ И АРМИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ НИКЕЛИДА ТИТАНА

Исследован композиционный материал (КМ) из углепластиковой матрицы и армирующих элементов в виде проволоки из никелида титана. В работе приведены циклические и статические испытания материала на трехточечный изгиб, в результате которых была выявлена зависимость роста показателей упругой деформации и усталостной долговечности от объемной доли армирующего элемента при одинаковой жесткости образцов. Показана возможность применения данного композиционного материала для производства ортопедических держателей стопы.

Ключевые слова: никелид титана, композиционный материал, углепластик, механические свойства, механические испытания, титановые сплавы, эффект памяти формы.

R. E. Vinogradov, A. A. Borisov, A. V. Shalin

NEW COMPOSITE MATERIAL FROM THE CARBON FIBER MATRIX AND THE REINFORCING ELEMENTS FROM NIKELID OF THE TITAN

The investigated composite material (KM) of a carbon matrix and reinforcing elements in the form of wires of Nickel titanium. The paper presents the cyclic and static testing of material on a three-point bending, in which was revealed the dependence of the growth rates of elastic strain and fatigue life from the volume fraction of the reinforcing element with the same rigidity of the samples. The possibility of using this composite material for manufacturing orthopedic foot holders.

Keywords: titanium nickelide, composite material, carbon fiber, mechanical properties, mechanical testing, rigidity, shape memory effect.

В настоящее время все большее применение в различных областях промышленности и медицины находят материалы, обладающие особыми физико-механическими свойствами. Таким образом, композитные материалы могут послужить основой для исследований и разработки материалов, обладающих необходимыми свойствами. Уже созданы различные КМ с разными свойствами: электрическими, магнитными и др.

[1]. В них матрица КМ обеспечивает конструкционную прочность, а армирующий элемент отвечает за физические и механические свойства. Кроме того, создаются КМ, обладающие эффектом памяти формы и сверхупругости [2]. В этих КМ в качестве армирующего элемента применяется никелид титана [3] в виде волокна или проволоки. Этот сплав способен восстанавливать свою форму при нагреве (эффект памяти формы) или разгрузке (сверхупругость). Чтобы никелид титана мог в полной мере реализовать свои функциональные свойства, матрица должна обладать достаточной деформируемостью, которую могут обеспечить полимерные материалы.

К изделиям в медицинской промышленности предъявляются специальные требования по жесткости, величине упругой деформации и надежности (циклической долговечности). Достаточно часто эти требования противоречат друг другу, и тогда возникает необходимость в их общей оптимизации. К примеру, для стоподержателей из углепластика повышение прочности и долговечности за счет увеличения числа слоев углеволокна и критических размеров изделий приводит к возрастанию жесткости и снижению упругой деформации, что приводит к нарушению упругого деформирования при ходьбе. И армирование проволокой из никелида титана должно решать эти проблемы: повышать циклическую долговечность конструкции и сохранять необходимую жесткость и упругую деформацию.

В данном исследовании в качестве армирующего элемента использовалась проволока сплава марки ТН1(55,7%Ni) диаметром 1 и 2,3 мм. Последним этапом термической обработки проволоки было теплое волочение при 500 °С, в результате которого была сформирована деформационная структура с большим количеством дефектов, что обеспечивало проявление сверхупругих свойств. Для изготовления образцов использовали препреги, которые состоят из углепластиковых волокон, пропитанных полимерными связующими. Образцы КМ изготавливали в виде пластин 200 × 25 мм (рис. 1) с различной толщиной, которая зависела от наличия армирующих элементов и количества слоев углеволокна. Изготовление происходило на гипсовом позитиве с низкой влажностью (порядка 7 %), покрытом пленкой ПВХ. 2 слоя были из плетеной углеткани, после чего от 6 до 9 слоев направленной углеткани, и для последних 2 слоев вновь использовалась плетенная углеткань. Позитив устанавливается в вакуумную печь, где поддерживается с отрицательное давление в 1 атм, температура в печи увеличивается со скоростью 3 град. в минуту, пока не достигнет 120 град, после чего происходит выдержка в течение 2-х часов, после чего печь охлаждается со скоростью 3 град. в минуту.

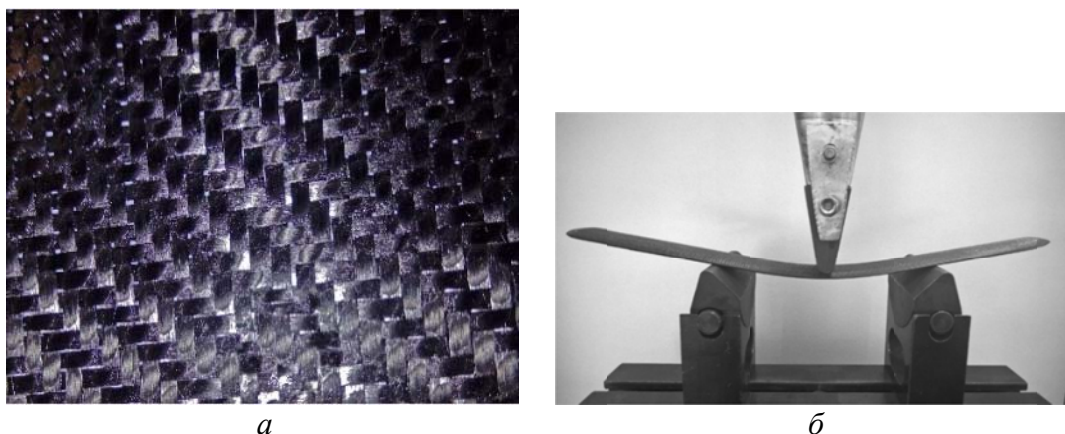


Рис 1. Полимерные слои углеволоконной матрицы, используемые для КМ в настоящей работе (а), и образец, закрепленный в захватах для испытаний на изгиб (б)

На первом этапе, образцы, которые имели одинаковое число слоев углеволокна и различное количество армирующих элементов из никелида титана, подвергались испытаниям на изгиб до разрушения. Армированные образцы выдерживали более высокие нагрузки и не распадались на отдельные части, сохраняя целостность срединных слоев, в отличие от образцов без армирования, которые достаточно быстро разрушались после достижения максимальной нагрузки.

Увеличение количества слоев увеличивает жесткость образца. Наличие армирующего элемента в виде проволоки из никелида титана приводит к значительному изменению жесткости КМ, которая не подчиняется закону аддитивности жесткости входящих компонентов: три армирующих элемента из никелида титана (без углеволоконной матрицы) имеют жесткость при изгибе 10 Н/мм, а исходная матрица, состоящая из 12 слоев углеволокна – 163 Н/мм. В то время, как такой образец имел жесткость 311 Н/мм – максимальную среди различных по количеству слоев и армирующих элементов образцов. Было показано, что уменьшение диаметра проволоки с 2,3 до 1 мм практически не изменяет механическое поведение КМ. Хотя при использовании проволоки меньшего диаметра было замечено некоторое увеличение упругого прогиба–деформации, которая исчезает после разгрузки, что, вероятно, связано с увеличением адгезионной прочности из-за увеличения удельной поверхности проволоки.

На следующем этапе проводились усталостные испытания, в которых образцы с 9 слоями углеволокна и образцы с 6 слоями и 2 армирующими элементами из никелида титана подвергались циклическому нагружению с постоянной составляющей прогиба, равной 3 мм и амплитудой ± 1 мм. Во время испытаний максимальное усилие в цикле нагружения составляло приблизительно 1000 Н и сохранялось для обоих видов образцов до 10^5 циклов. При повторном испытании на образцах без армирования появлялись трещины, интенсивный рост

которых вызывал снижение максимальной нагрузки в цикле. Образцы, армированные никелидом титана, были сняты с испытаний без видимых признаков усталостного разрушения.

Полученные закономерности механического поведения КМ с армирующими элементами из никелида титана были учтены при разработке технологии изготовления опытного образца стоподержателя, в конструкции которого использовался КМ, состоящий из 6 слоев углеволокна и двух проволочных армирующих элементов из сплава на основе сплава никелида титана диаметром 2,3 мм. Применение данного материала позволило обеспечить необходимые конструкции свойства – сочетание жесткости и упругой деформации.



Рис 2. Опытный образец стоподержателя из КМ

Исследования выполнены в рамках проектной части государственного задания вузам № 11.2372.2017/ПЧ с использованием оборудования ресурсного центра коллективного пользования «Авиационно-космические материалы и технологии» МАИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абузин Ю. А. Функциональные металлические композиционные материалы и технологии в машиностроении / Ю. А. Абузин // Арматуростроение. 2010. № 6 (69). Р. 52–54.
2. Разработка композиционных материалов никелид-титана – полимер с эффектом запоминания формы / М. Ю. Коллеров [и др.] // сб. «Научные труды МАТИ» им К. Э. Циолковского. Москва : ЛАТМЭС, 1999. В. 2 т. С. 42–46.
3. Сплавы с эффектом памяти формы / К. Ооцука [и др.]. ред. Фунакубо Х., пер. с японск. Москва : Металлургия, 1990. 224 с.