

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ АРМИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СИСТЕМЫ Ti-Al С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ COSMOSWORKS

Гуськов М.С.¹

¹ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия (440026, Пенза, ул. Красная, д.40) e-mail: AspirantSLPiM@yandex.ru

Показана актуальность использования сплавов на основе армированного титана с целью повышения механических свойств конструкционных материалов при одновременном снижении веса всей конструкции. Разработана новая схема армирования и предложен новый способ упрочнения композиционного материала. С целью создания модели нового композиционного материала и исследования его механических свойств выбрана компьютерная программа SolidWorks с программным модулем CosmosWorks, с помощью которого были решены задачи статического нелинейного характера, простых и сложных геометрических форм. В экспериментальной части процесса моделирования были исследованы характеристики моно и композиционных материалов. В ходе моделирования получены прочностные показатели и эпюры напряженно-деформированного состояния композиционного армированного материала. На основании этих данных сформулированы выводы о преимуществах внедрения новой схемы, а также получены ориентировочные показатели физико-механических свойств.

Ключевые слова: композиционный материал, интерметаллид титана, армирующий слой, программный модуль CosmosWorks, прочность.

DEVELOPMENT OF THE SCHEME OF REINFORCING AND RESEARCH OF PROPERTIES OF THE COMPOSITE MATERIAL OF TI-AL SYSTEM WITH USE OF THE PROGRAM COSMOSWORKS MODULE

Guskov M.S.¹

¹Penza State University, Penza, Russia (440026, Penza, st. Krasnaya, h. 40) e-mail: AspirantSLPiM@yandex.ru

Relevance of use of alloys on a basis reinforcing titanium for the purpose of increase of mechanical properties of constructional materials at simultaneous weight reduction of all design is shown. The new scheme of reinforcing is developed and the new way of hardening of a composite material is offered. For the purpose of creation of model of a new composite material and research of its mechanical properties the computer SolidWorks program with the software module CosmosWorks is chosen. This module allows to solve problems of static and nonlinear character, simple and difficult geometrical forms. In experimental part of process of modeling were investigated characteristics of mono and composite materials. During the simulation obtained strength values and diagrams of stress-strain state of a composite reinforced material. On the basis of these data, conclusions about the importance of introduction of the new scheme are formulated, and also approximate indicators of physicomechanical properties are received.

Keywords: composite, intermetallic titanium, a reinforcing layer, software module CosmosWorks, strength

Введение

В современной промышленности применение армированных сплавов на основе титана имеет широкое распространение. Но, несмотря на высокие показатели физико-механических свойств, присущих титановым сплавам, дальнейшее повышение данных характеристик, является перспективным [5]. Совокупность требований, предъявляемых к армированным композиционным материалам на основе титана, подводит к такому факту, что современный материал должен обладать следующим комплексом свойств: плотностью, соответствующую плотности технически чистого титана ($4,5 \text{ г/см}^3$); пределом прочности, не

менее 1000 МПа; пределом текучести, не менее 700 МПа; удельной прочностью, сопоставимой с аналогичным показателем у высоколегированного титана; обладать удовлетворительной обработкой резанием и давлением.

Данный комплекс физико-механических свойств может быть обеспечен за счет внедрения в технологию получения композиционного материала принципиально новой схемы армирования, в которой будут учтены недостатки уже существующих схем и которая повысит прочностные показатели композита в целом.

Наиболее актуален данный вопрос в областях промышленности, где необходимо дальнейшее повышение механических свойств конструкционных материалов при одновременном снижении веса всей конструкции. Например, в судостроении, где из такого рода композиционных материалов могут быть изготовлены: обшивка судна, гребные винты и валы, детали насосов [1].

На основе анализа вышеизложенной проблемы автором была предложена схема армирования композиционного материала, с применением упрочняющего промежуточного перфорированного слоя.

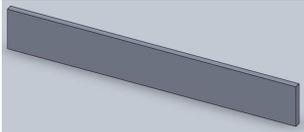
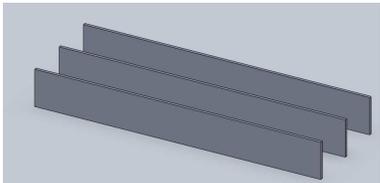
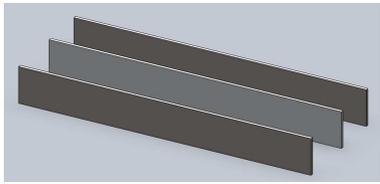
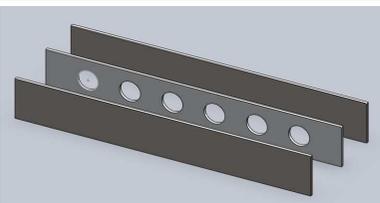
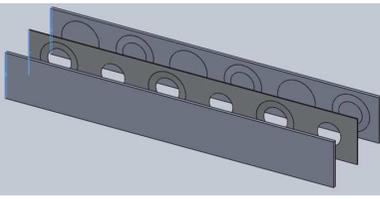
Материал и методы исследования

В работе использовалась комплексная методика разработки модели и компьютерного моделирования [4], включающая создание моделей монометалла и композиционного материала в программе SolidWorks, создание граничных условия при проведении моделирования, компьютерное моделирование процесса одноосного разрушения для всех исследуемых образцов. Также были проанализированы данные, полученные в ходе моделирования, о механических свойствах прототипов материалов и вероятностных местах разрушения заготовок.

С учетом того, что геометрические параметры и конфигурация промежуточного армирующего слоя также оказывает влияние на изменение физико-механических свойств композиционного материала, автором был проведен анализ на предмет перераспределения внутренних напряжений в композиционном материале с использованием перфорированного промежуточного армирующего слоя.

Для исследования были выбраны следующие материалы: технически чистый титан марки Вt1-0, алюминий марки Ад1, интерметаллид – алюминид титана Ti_3Al . Материалы, марка и геометрические характеристики исходных компонентов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Материалы и геометрические характеристики исходных заготовок

Материал	Предельная нагрузка, Н	Марка материала и геометрические параметры исходных заготовок, мм	Эскиз образца
Монометалл	21500	Вт1-0 3×20×140	
Слоистый композиционный материал	21500	Слой 1 - Вт1-0 $\delta=1,3$; Слой 2 - Вт1-0 $\delta=0,4$; Слой 3 - Вт1-0 $\delta=1,3$; 3×20×140	
Слоистый композиционный материал	20500	Слой 1 - Вт1-0 $\delta=1,3$; Слой 2 - Ад1 $\delta=0,4$; Слой 3 - Вт1-0 $\delta=1,3$; 3×20×140	
Слоистый композиционный материал (с промежуточным армирующим слоем с цилиндрическими отверстиями)	33500	Слой 1 - Вт1-0 $\delta=1,3$; Слой 2 - Тi ₃ Al $\delta=0,4$; Слой 3 - Вт1-0 $\delta=1,3$; 3×20×140	
Слоистый композиционный материал (с промежуточным армирующим слоем с коническими отверстиями)	35500	Слой 1 - Вт1-0 $\delta=1,3$; Слой 2 - Тi ₃ Al $\delta=0,4$; Слой 3 - Вт1-0 $\delta=1,3$; 3×20×140	

В качестве программы для создания модели использовалась программа SolidWorks с интегрированным пакетом прикладных программ, для расчета характеристик напряженно-деформированного состояния CosmosWorks.

Результаты экспериментов и их обсуждение

На основе данных математических расчетов геометрии перфораций армирующего промежуточного слоя были установлены их рациональные размеры и форма в виде конуса с различной ориентацией по обе стороны пластины [6].

На сегодняшний момент существует широкий выбор CAD/CAM систем с интегрированным пакетом прикладных программ, которые позволяют решать задачи статического и динамического, линейного и нелинейного характера, простых и сложных геометрических форм [2]. Так же решаются задачи с прочностным расчетом, как монометаллов, так и композиционных материалов при различных способах нагружения и граничных условиях. Основными программами подобно рода являются SolidWorks, ANSYS, MSC Nastran, CATIA V5 и др. В каждой из этих программ содержатся модули необходимые для проектировочных и конструкторских расчетов. Зачастую они пересекаются у разных производителей либо функционально, либо по интерфейсу, поэтому методика получения конечных данных либо последовательность их получения схожи. В этой связи выбор конкретной программы для использования в расчетах сводится не только к функциональным возможностям, но и к доступности самой программы на современном рынке. CosmosWorks является программным модулем SolidWorks, позволяющим решать задачи с упругими, вязко-упругими, упруго-пластичными, анизотропными и другими моделями материалов [3]. Он обладает обширной библиотекой конечных элементов, которая включает плоские, пространственные элементы, балки, пластины, многослойные анизотропные элементы и т.д. Именно поэтому программа SolidWorks была выбрана для проектирования исходных заготовок, а интегрированный к ней модуль CosmosWorks – для расчета прочностных свойств композиционных материалов при статическом нагружении.

С целью сравнения исходных данных и точности расчетов эксперимент был построен таким образом, что сначала решались простые и общие задачи, а затем был осуществлен переход к частным и более специфичным задачам.

Программный продукт SolidWorks позволяет моделировать реальное приложение нагрузки к рабочим поверхностям композита, а также позволяет учитывать глобальный контакт между поверхностями листовых материалов внутри композиционного материала, что является весьма важным критерием.

В качестве выходных данных эксперимента можно получить данные о прочности, упругости и напряженно-деформированном состоянии исследуемого композиционного материала.

После определения количества экспериментов и их составляющих было произведено моделирование процесса нагружения материалов для одноосного растяжения. Цель эксперимента заключалась в рациональном выборе мест крепления образцов и приложения нагрузки, создания сетки конечных элементов, получения и интерпретации эпюр напряженно-деформированного состояния. Для разработанной модели была построена сетка конечных элементов с размерностью 0,1 мм², количество узлов составило около 18000. Размерность сетки выбиралась исходя из того, чтобы площадь одного сектора не превышала аналогичную минимальную значимую площадь для прогнозируемого интерметаллического слоя.

Величина минимальной нагрузки при одноосном растяжении выбиралась, исходя из справочных данных и увеличивалась до того момента, пока нагрузка не достигнет значений равных пределу прочности материала. В экспериментах с многослойным композиционным армированным материалом ориентиром служило значение прочности наиболее прочного материала. Как только образец достигает данной величины, эксперимент останавливается, а значение фиксируется. Дополнительным критерием разрушения служил коэффициент запаса прочности. Эпюры напряженно-деформированного состояния приведены на рисунке 1.

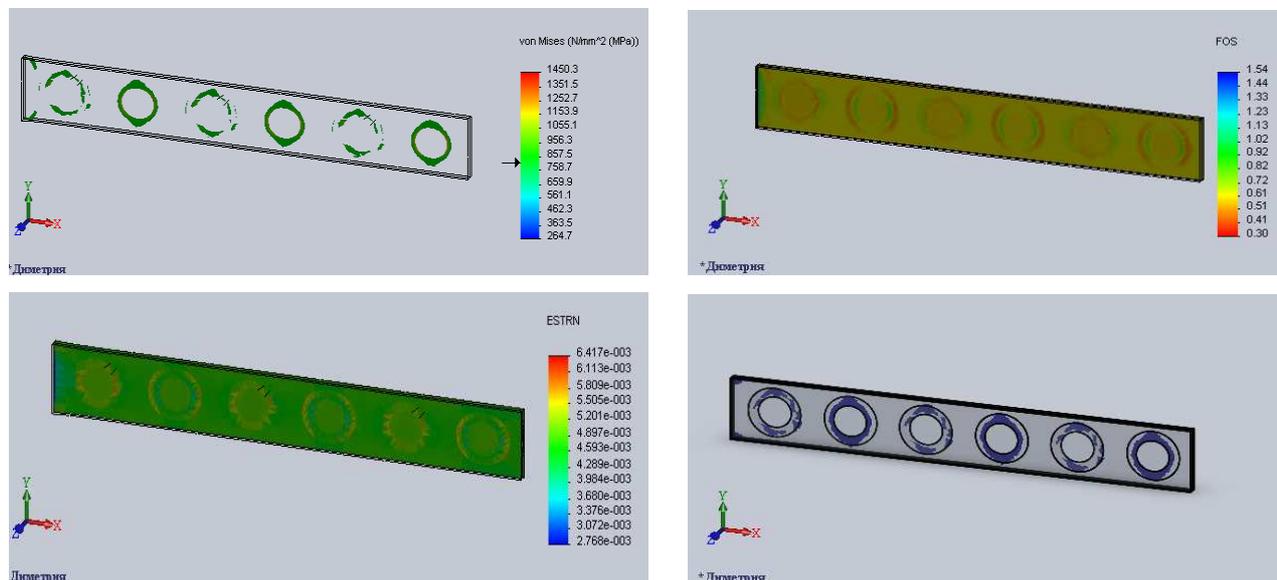


Рис. 1 Эпюры напряженно-деформационного состояния исследуемого образца: а – эпюра статического узлового напряжения модели; б – эпюра запаса прочности модели; в – эпюра деформационного состояния модели; г – эпюра распределения наиболее нагруженных точек

Результаты проведенного компьютерного моделирования серии испытаний образцов сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Параметры и результаты моделирования испытания по определению прочности материалов

№ п/п	Материал	Величина нагрузки на образец, Н	Полученное значение предела прочности, МПа	Значение коэффициента запаса прочности
1	Вт1-0	21500	478	0,71
2	Слоистый композиционный материал Вт1-0–Вт1-0–Вт1-0	21500	478	0,72
3	Слоистый композиционный материал Вт1-0–Ад1–Вт1-0	20500	455	0,72
4	Слоистый композиционный материал Вт1-0– Ti ₃ Al –Вт1-0	31000	529	0,75
5	Слоистый композиционный материал с цилиндрическими перфорациями Вт1-0–Ti ₃ Al–Вт1-0	33500	560	0,9
6	Слоистый композиционный материал с коническими перфорациями Вт1-0–Ti ₃ Al–Вт1-0	35500	591	0,81

Выводы

Анализ полученных в ходе моделирования значений и эпюр напряженно деформированного состояния позволяет сделать следующие выводы:

- 1) Прочностные показатели модели, изготовленной по новой схеме армирования, превышает аналогичные показатели у модели, изготовленной по уже известным технологиям на 10%.
- 2) Разрушение композиционного армированного материала происходит только после того, как напряжение превышает значение предела прочности наиболее прочного составляющего его материала.
- 3) Распределение внутренних напряжений в образцах композиционного материала с промежуточным перфорированным армирующим слоем, имеет неравномерный характер, при этом основная их концентрация наблюдается по периметру отверстий, что позволяет предположить наиболее вероятное место образования разрушения при одноосном растяжении.
- 4) Наилучшие прочностные характеристики показал композиционный армированный материал с перфорированным армирующим слоем с коническими отверстиями. Величина прочности для него составляет 591 МПа, что на 19% выше, чем у технически чистого титана аналогичной толщины.
- 5) Анизотропности свойств, в зависимости от места вырезки образца для проведения испытаний, не наблюдается.

В этой связи можно сделать обобщенный вывод о том, что слоистый композиционный материал, армированный упрочняющей перфорированной пластиной, будет обладать повышенным комплексом физико-механических свойств и превосходить имеющие аналоги на 10% по прочностным характеристикам. Для подтверждения данного предположения и проверки, полученных в ходе компьютерного моделирования значений необходимо проведение испытаний на натуральных образцах.

Список литературы

1. Абковиц С., Бурке Дж., Хильц Р. Титан в промышленности. – М. Оборонгиз, 1957. – 145 с.
2. Алямовский А.А. CosmosWorks. Основы расчета конструкций в среде SolidWorks. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 784 с., ил.
3. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 464 с., ил.
4. Крюков Д.Б. Технологические аспекты изготовления композиционных металлических материалов на основе алюминидов титана, полученных сваркой взрывом. // Наука и образование в XXI веке – Тамбов: ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. – Ч. 14. – С.55-56.
5. Хорин А. В. Моделирование деформационного процесса в задачах армирования и сварки взрывом с применением программы LS-DYNA / А. В. Хорин, А. Е. Розен, И. С. Лось, А. Ю. Муйземнек, Е. А. Журавлев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2010. - № 1 (13). – С. 123–133.
6. Способ получения композиционного материала. Заявка на изобретение №2013119389/02(028699) от 26.04.2013. Розен А.Е., Крюков Д.Б., Кирин Е.М., Гуськов М.С., Хорин А.В., Усатый С.Г., Любомирова Н.А.

Рецензенты:

Розен А.Е., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «СЛПиМ» Пензенского государственного университета, г. Пенза.

Козлов Г.В., д.т.н., профессор, декан ФПКидО Пензенского государственного университета, г.Пенза.

Пачурин Г.В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Производственная безопасность и экология» (ПБиЭ), Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, г.Нижний Новгород.