

Слоистый алюмокомпозит класса СИАЛ – широко используемый и перспективный конструкционный слоистый гибридный материал, который состоит из тонких (0,3–0,4 мм) листов алюминиевых сплавов (Al–Li среднепрочного сплава пониженной плотности 1441 и др.) и прослоек стеклопластика [1]. Прослойки пластика обычно состоят из нескольких монослоев однонаправленного клеёвого препрега, армированного высокопрочными стеклонаполнителями. Расположение и количество слоёв и листов определяются назначением и габаритами детали. Слоистые материалы обладают уникальным, по сравнению с монолитными алюминиевыми листами, комплексом свойств: высокой трещиностойкостью, пониженной плотностью, высокой прочностью, ударостойкостью, коррозионной стойкостью.

Проведено множество исследований свойств металлополимерных материалов в частности СИАЛ (GLARE). Благодаря слоистой структуре и характеристикам алюминиевых и полимерных компонентов СИАЛы обладают уникальными свойствами. Появление алюмокомпозитов является следующим шагом развития идеи, технологии и опыта применения клеёных слоистых материалов и конструкций, которые обладают повышенной живучестью, надёжностью и освоены авиационной промышленностью.

Пока, указанные выше материалы имеют возможность применения в транспорте лишь в несилевых элементах машины.

*Работа выполнена с финансовой поддержкой гранта Президента Российской Федерации МК-398.2022.4.*

#### Список литературы

1 Слоистые алюмокомпозиты класса СИАЛ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://viam.ru/al\\_wrought\\_6#:~:text=СИАЛ-1-1%2C%20СИАЛ,%20прослойка%20стеклопластика](https://viam.ru/al_wrought_6#:~:text=СИАЛ-1-1%2C%20СИАЛ,%20прослойка%20стеклопластика). – Дата доступа : 20.09.2022.

2 Слоистые металлополимерные, биметаллические и гибридные материалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://viam.ru/bi\\_me-materials](https://viam.ru/bi_me-materials). – Дата доступа : 20.09.2022.

3 Around Glare: A New Aircraft Material in Context Published by Springer / ed. by C. Vermeeren. – Aug. 1, 2002. – ISBN 1402007787.

УДК 534.1

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИАЛОВ

*А. В. БАБАЙЦЕВ, ЧАН КВЕТ ТХАНГ, НГУЕН ТУАН ЛОНГ  
Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

СИАЛы (алюмокомпозиты) – класс перспективных конструкционных слоистых материалов. Зарубежным аналогом являются материалы GLARE, которые обладают повышенной удельной прочностью и прочностью, высокими удельными статическими свойствами, огнестойкостью и коррозионными свойствами, а также простотой изготовления и ремонта.

Настоящая работа является определением динамического поведения образцов СИАЛа со следующими размерами, мм: ширина = 20, толщина = 1,65, длина = 150, 200, 250, работающих в качестве металлических слоев. В образцах использованы листы алюминий-литиевого сплава марки 1441 толщиной  $h_{AL} = 0,35$  мм, а композитные слои выполнены из стеклопластика марки КМКС-2.120.Т60 и имеют различные схемы армирования [0/0], [90/90], [0/90], [0/45], [45/–45].

Получены результаты экспериментальных исследований собственных частот и коэффициентов демпфирования пятислойного алюмокомпозита. Испытания проведены с использованием метода свободных затухающих изгибных колебаний консольно-закрепленных образцов. Регистрация колебаний проводилась с использованием лазерного датчика Laser Triangulation Sensors RF603HS. Динамические параметры пятислойного алюмокомпозита вычислены на основе анализа амплитудно-частотных характеристик, полученных методом быстрого преобразования Фурье.

Установлено, что собственные частоты пятислойного алюмокомпозита зависят от размеров алюмокомпозита, не зависят от схемы армирования. Коэффициент демпфирования зависит не только от начального перемещения, но и от схемы армирования СИАЛов.

*Работа выполнена с финансовой поддержкой гранта Президента Российской Федерации МК-398.2022.4.*

#### Список литературы

- 1 Перспективы применения в авиационных конструкциях слоистых металлополимерных материалов на основе алюминевых сплавов / В. В. Антипов // *Авиационные материалы и технологии*. – 2020. – № 1. – С. 45–53.
- 2 Dynamic characteristics of three-layer beams with load-bearing layers made of alumino-glass plastic / О. А. Prokudin [et al]. – *PNRPU Mechanics Bulletin*. – 2020. No. 4. – P. 260–270. – DOI: 10.15593/perm.mech/2020.4.22.
- 3 Оценка межслоевой прочности алюмокомпозитов по результатам испытаний образцов на трехточечный изгиб / В. В. Антипов [и др.] // *Вестник Московского авиационного института*. – 2019. – Т. 26, № 2. – С. 229–237.
- 4 Kiratisaev, H. The impact response of aluminum foam sandwich structures based on a glass fiber-reinforced polypropylene fiber-metal laminate / H. Kiratisaev, W. J. Cantwell // *Polymer composites*. – 2004. – Vol. 25, no. 5. – P. 499–509.
- 5 Elasto-plastic behavior and failure of thick GLARE laminates under bending loading / Y. Solyaev [et al.] // *Composites Part B: Engineering*. – 2020. – Vol. 200. – 108302.
- 6 Solyaev, Y. Direct observation of plastic shear strain concentration in the thick GLARE laminates under bending loading / Y. Solyaev, A. Babaytsev // *Composites. Part B: Engineering*. – 2021. – Vol. 224. – 109145. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021>.

УДК 532. 536; 536.21

### ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

*А. В. БАБАЙЦЕВ, С. А. ШУМСКАЯ, М. С. ЕГОРОВА*  
*Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

Преимуществом технологии селективного лазерного сплавления является возможность создания цельной сложной геометрии с высокой точностью размеров и высокими механическими характеристиками при практически безотходном производстве, но при этом существует вероятность геометрических дефектов конечных изделий в связи с особенностями протекания процесса печати. В процессе спекания каждого слоя изделия возникают напряжения, уровень которых напрямую зависит от температурного поля печати, физико-механических свойств исходного порошкового материала. Данные параметры влияют на конечную микроструктуру и на возникновение локальных механических свойств.

Одним из основных аспектов получения недеформированного конечного изделия является формирование однородного расплава материала, с достаточным временем спекания слоев. На основе температуры плавления порошковой композиции можно получить ориентировочный диапазон температур процесса спекания порошка для лучшей межслоевой адгезии. Еще одним важным параметром является температура предварительного нагрева порошковой композиции в камере принтера, обычно она чуть ниже температуры плавления. Данный параметр позволяет уменьшить температурный градиент между спекаемой и не спекаемой частями, что способствует уменьшению теплового напряжения и предотвращению последующих деформаций. Данный аспект также влияет на скорость охлаждения системы, потому для ускорения процесса печати она должна поддерживаться на минимально допустимом уровне, но не должна быть слишком низкой из-за процесса кристаллизации и связанных с ней усадкой и короблением изделий. Из-за пространственных различий в температуре возникает риск формирования неоднородной микроструктуры по всей площади выращивания изделия.

*Работа проводилась при финансовой поддержке государственного проекта Министерства образования и науки РФ «Код проекта FSFF-2020-0016».*

#### Список литературы

- 1 Габбасов, М. Ф. Обзор технологий 3D печати: проблемы и перспективы развития / М. Ф. Габбасов // *Поволжский научный вестник*. – 2018. – № 2.
- 2 Babaytsev, A. V. Mechanical properties and microstructure of stainless steel manufactured by selective laser sintering / A. V. Babaytsev, M. V. Prokofiev, L. N. Rabinskiy // *Nanoscience and Technology: An International Journal*. – Vol. 8, no 4. – P. 359–366. – DOI:10.1615/NanoSciTechnolIntJ.v8.i4.60.
- 3 Additive manufacturing of metals / D. Herzog // *Acta Mater*. – 2016. – 117:371–92.
- 4 Spatter formation in selective laser melting process using multi-laser technology / M. Taheri Andani // *Mater Des*. – 2017. – 131:460–9.
- 5 Babaytsev, A. V. Properties and microstructure of AlSi10Mg samples obtained by selective laser melting / A. V. Babaytsev, A. Orekhov, L. N. Rabinskiy // *Nanoscience and Technology: An International Journal*. – Vol. 11, is. 3. – P. 213–222. – DOI: 10.1615/NanoSciTechnolIntJ.2020034207.