

Список литературы

- 1 **Egorov, I. V.** Determination of material catalyticity at high temperatures in the VAT-104 hypersonic wind tunnel / I. V. Egorov, B. E. Zhestkov, V. V. Shvedchenko // *TsAGI Sci. J.* 2014. – XLV(1) – P. 3–13.
- 2 Promising ultra-high-temperature ceramic materials for aerospace applications / E. P. Simonenko [et al.] // *Russ. J. Inorg. – 2013. – Chem. 58. – P. 1669–1693. – https://doi.org/10.1134/S0036023613140039.*
- 3 **Purwar, A.** Experimental and computational analysis of thermo-oxidative-structural stability of ZrB₂-SiC-Ti during arc-jet testing / A. Purwar, V. Thiruvengadam, B. Basu // *J. Am. Ceram. Soc.* – 2017. – 100. – P. 4860–4873. – <https://doi.org/10.1111/jace.15001>.
- 4 Improved aero-thermal resistance capabilities of ZrB₂-based ceramics in hypersonic environment for increasing SiC content / S. Mungiguerra [et al.] // *Corros. Sci.* – 2021. – 78. – P. 109067. – <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2020.109067>.
- 5 The oxidation resistance of the heterophase ZrSi₂-MoSi₂-ZrB₂ powders – derived coatings / A. N. Astapov [et al.] // *Corros. Sci.* – 2021. – 189. – P. 109587. – <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2021.109587>.
- 6 Ablation behavior of an Ir-Hf coating: A novel idea for ultra-high temperature coatings in non-equilibrium conditions / K. Zhang [et al.] // *J. Alloys Compd.* – 2020. – 818. – P. 152829. – <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.152829>.
- 7 Ablation and surface heating behaviors of graphite based Ir-Al coating in a plasma wind tunnel / K. Zhang [et al.] // *Surf. Coat. Technol.* – 2019. – 358. – P. 371–377. – <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.10.047>.
- 8 **Kim, I.** Experimental study of surface roughness effect on oxygen catalytic recombination / I. Kim // *Int. J. Heat Mass Transfer.* – 2019. – P. 916–922. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.04.049>.
- 9 **Sakraker, I.** Experimental investigation of passive/active oxidation behavior of SiC based ceramic thermal protection materials exposed to high enthalpy plasma / I. Sakraker, C. J. Asma // *J. Eur. Ceram. Soc.* – 2013. – 33(2). – P.351–359. – <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2012.09.002>.
- 10 **Massuti-Ballester, B.** Oxidation of PM1000 and C/C-SiC exposed to highly dissociated oxygen and nitrogen flows / B. Massuti-Ballester, G. Herdrich, M. Frie // *J. Eur. Ceram. Soc.* – 2020. – 40 (6). – P. 2306–2316. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2020.01.053>.

УДК 531

СНИЖЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ДЕФОРМАЦИИ КУЗОВА ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЮМОСТЕКЛОПЛАСТИКА (GLARE) И ДРУГИХ СЛОИСТЫХ ПЛАСТИКОВ

*А. В. БАБАЙЦЕВ, А. А. ЗАЙЦЕВ, Т. Т. ФОЗИЛОВ, С. С. ЛОПАТИН
Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

Усталость материала – это деградация механических свойств материала в результате накопления повреждений под действием переменных, циклических, напряжений с образованием развитием трещин, что обуславливает его разрушение за определённое время. Такой вид разрушения называют усталостным разрушением.

Усталостное разрушение металла приводит к проблемам безопасности на транспорте. Снижение жёсткости кузова может привести к ухудшению жёсткости и устойчивости. Например, усталостное разрушение приводит к невозможности отрегулировать сход-развал, так как постаревший металл перестаёт держать нагрузку, в связи с чем после настройки углы установки колёс выходят за допустимую погрешность. В крайних случаях у кузова от чрезмерных нагрузок образуются трещины. Чаще всего данный эффект проявляется в районе опор стоек подвески. При несвоевременном обнаружении данного дефекта это может стать причиной аварии, например, у случая разрушения кронштейна рычага подвески, что приводит машину в неуправляемое состояние. Также ослабленный кузов не способен эффективно поглотить энергию удара, в случае аварии защита пассажиров может оказаться недостаточной.

GLARE в настоящее время является наиболее успешным FML (Fiber metal laminate – металловолоконистый (металлополимерный) ламинат, слоистый пластик; СИАЛ[1, 2]), запатентованным Akzo Nobel в 1987 году. В качестве изобретателей в патенте упоминаются Робрукс и Фогелсанг, два бывших профессора факультета аэрокосмической техники Делфтского технологического университета, где большая часть исследований и разработок для GLARE проводилась в 1970-х и 1980-х годах [3].

В России разработками материала типа GLARE занимается ВИАМ, где разработаны несколько типов алюмокомпозитов СИАЛ 1-1, СИАЛ 2-1, СИАЛ 3-1 и другие, а также металлополимерных материалов на основе титана (титанокомпозит (ТИОП); титаноуглепластик (ТИГРАН)) и алюмоуглепластики [2].

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. – Дата доступа : 20.09.2022.

2 Слоистые металлополимерные, биметаллические и гибридные материалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : 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.