нологии. Робототехника : тез. Междунар. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, 5 дек. 2025 г. / Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2025. – С. 188–190.
5. Ковалев, С. П. Металлические композиционные материалы: перспективы и проблемы / С. П. Ковалев // Материаловедение. – 2019. – № 6. – С. 52–58.

МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫЕ СПЛАВЫ В АВИАКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

А. О. Селицкий

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель И. Ю. Ухарцева

Рассмотрены принципы формирования структуры металлополимерных систем. Проанализированы ключевые преимущества металлополимерных сплавов и области их применения в авиационно-космической отрасли. Определены основные этапы развития данного класса материалов до 2030 г.

Ключевые слова: металлополимерные сплавы, гибридные композиты, авиационная и ракетно-космическая техника, СИАЛ.

Современное авиа- и ракетостроение предъявляет все более жесткие требования к конструкционным материалам: снижение массы, повышение ресурса, обеспечение живучести при циклических и ударных нагрузках, а также устойчивость к внешним воздействующим факторам. Одним из наиболее перспективных направлений в решении этих задач является использование металлополимерных сплавов (МПС) – гибридных слоистых материалов, сочетающих несущую способность металлических сплавов с функциональными свойствами полимерных композитов.

Цель настоящего исследования – проанализировать и систематизировать данные о структуре, свойствах и практическом применении металлополимерных сплавов в авиакосмической отрасли, а также определить основные тенденции их развития на ближайшую перспективу.

Металлополимерные сплавы представляют собой гибридные композитные системы, образованные чередующимися слоями металлических сплавов (алюминиевые или титановые сплавы) и слоями полимерных композитов на основе углеродных, стеклянных или органических волокон. Такое архитектурное решение позволяет реализовать принцип синергии: металлическая составляющая обеспечивает пластичность, электропроводность и стойкость к локальным разрушениям, а полимерные слои вносят вклад в снижение плотности, высокое демпфирование и коррозионную стойкость [1, 2].

Формирование структуры осуществляется преимущественно методами автоклавного и вакуумного формования с использованием термореактивных связующих. Ключевым параметром является качество межслойной границы, определяющее совместную работу разнородных материалов при циклическом нагружении.

Применение металлополимерных сплавов в конструкциях летательных аппаратов обеспечивает ряд значимых преимуществ по сравнению с монолитными металлическими и традиционными композиционными материалами. Основными преимуществами таких материалов являются следующие [3]:

1. *Живучесть*. Основным фактором, определяющим безопасность полета, является способность материала сопротивляться распространению усталостных трещин.

В металлополимерных структурах за счет шунтирующего эффекта полимерных слоев рост усталостной трещины замедляется в 5–100 раз по сравнению с монолитными металлами.

2. *Виброакустическая выносливость*. Благодаря высокому внутреннему трению в полимерной матрице, МПС демонстрируют более чем десятикратное повышение виброакустической выносливости, что снижает уровень шума в пассажирских салонах и повышает ресурс элементов конструкции.

3. *Снижение массы*. Интеграция металлополимерных сплавов в планер позволяет достичь прямого снижения массы конструкции на 10–15 %, что непосредственно влияет на топливную эффективность и коммерческую нагрузку [3].

4. *Многофункциональность*. Помимо высоких прочностных характеристик материалы данного класса обладают повышенной огнестойкостью, низкой теплопроводностью и улучшенными демпфирующими свойствами.

Внедрение металлополимерных сплавов в авиационные конструкции осуществляется по трем основным направлениям [3]:

1) силовые обшивки крыла и фюзеляжа, воспринимающие циклические нагрузки и обеспечивающие высокую живучесть планера;

2) зоны соединения разнородных материалов, где МПС выполняют функцию буферных элементов, снижая концентрацию напряжений и предотвращая электрохимическую коррозию;

3) противопожарные перегородки, изготавливаемые благодаря высокой огнестойкости материала для изоляции салонов, грузовых и технических отсеков.

Указанные конструктивные решения реализованы в самолетах различных типов и модификаций, что подтверждает технологическую зрелость металлополимерных сплавов для серийного авиастроения.

Среди современных разработок для авиастроения особого внимания заслуживают металлополимерные сплавы СИАЛ (алюмостеклопластик). Данный материал создан на базе тонких листов (до 0,3 мм) алюминий-литиевого сплава 1441, отличающегося пониженной плотностью (около 2,6 г/см³) и повышенным модулем упругости, что позволяет снижать массу конструкции по сравнению с традиционными алюминиевыми сплавами [4, 5]. Как отмечают исследователи ВИАМ, данный материал характеризуется скоростью роста трещины не более 0,3 мм за цикл нагружения (при ΔK = 31 МПа/м) и пределом прочности свыше 600 МПа [3]. СИАЛ прошел успешную апробацию в элементах молниезащиты обшивки крыла самолета Бе-103, подтвердив устойчивость к термомеханическим воздействиям и высокую ресурсную надежность [4, 6]. Помимо алюминиевой основы ведутся разработки и других гибридных систем: титанооргапластиков (ТИОР) и титаноуглепластиков (ТИГРАН), которые применяются для усиления обшивки кессона крыла и создания переходных зон между углепластиком и металлическим силовым набором.

Для материалов ракетно-космической техники ключевыми требованиями являются минимальная масса, термостойкость и стабильность свойств при циклических температурных воздействиях. Этим требованиям в полной мере удовлетворяют металлополимерные сплавы. Примерами таких материалов являются: СИАЛ-1441 (алюмостеклопластик на основе алюминий-литиевого сплава, прошедший апробацию в элементах молниезащиты) [4]; GLARE (стеклоалюминиевый слоистый материал, используемый в обшивке Airbus A380) [2], а также перспективные титанооргани́ческие композиты, разрабатываемые для высоконагруженных элементов ракетносителей и спутниковых платформ [3]. Эти материалы находят применение в легких панелях спутниковых платформ и элементах конструкций ракет-носителей. На-

пример, снижение массы полезной нагрузки на 1 кг при использовании МПС позволяет сократить стоимость выведения на орбиту до 5–7 тыс. долл. США, что делает данный класс материалов экономически обоснованным для космических программ.

Согласно стратегическим приоритетным научным направлениям в Республике Беларусь до 2030 г., перспективными являются исследования в области космических систем и создании новых материалов с заданными свойствами. Одно из ключевых направлений развития материаловедения для авиационно-космической отрасли представляют собой металлополимерные сплавы. Интеграция этих материалов позволяет создавать конструкции с высокими показателями живучести, сниженной массой и улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Большое внимание уделяется созданию совместных научных центров по созданию и сертификации металлополимерных сплавов и других материалов для нужд авиации и космонавтики. Ведущим из таких центров является Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ), в котором ученые Беларуси и Российской федерации проводят фундаментальные исследования в области трещиностойкости и долговечности гибридных слоистых материалов; циклической и ударной стойкости при моделировании реальных условий их эксплуатации; влияния климатических факторов и акустических нагрузок на ресурсные характеристики данных материалов. Результаты этих исследований формируют основу для создания отраслевых стандартов и методик сертификации, необходимых для масштабного внедрения МПС.

В результате проведенного анализа установлено, что металлополимерные сплавы являются одним из самых перспективных классов гибридных материалов для авиационно-космической отрасли. Использование таких материалов позволяет решить ключевую проблему современного авиастроения – сочетание низкой массы конструкции с высокой живучестью и ресурсом.

Дальнейший прогресс в этой области связан с решением трех основных задач: во-первых, это автоматизация технологических процессов формования для снижения себестоимости изделий; во-вторых, расширение номенклатуры выпускаемых гибридных материалов (в частности, создание высокотемпературных вариантов МПС для гиперзвуковых аппаратов); в-третьих, формирование единой нормативной базы и международных стандартов для сертификации МПС. Реализация указанных направлений обеспечит конкурентоспособность авиационной и ракетно-космической техники на ближайшие десятилетия.

Литература

1. Слоистые металлополимерные композиты / И. Н. Фридляндер, О. Г. Сенаторова, Л. И. Аниховская [и др.] // Машиностроение : энциклопедия : в 40 т. / гл. ред. В. В. Фролов ; под ред. Е. Н. Каблова, И. Н. Фридляндера. – М., 2001. – Т. II-3 : Цветные металлы и сплавы. Композиционные металлические материалы. – С. 185–195.
2. Антипов, В. В. Металлополимерные слоистые материалы для авиационных конструкций / В. В. Антипов, Н. Ю. Серебренникова // Труды ВИАМ. – 2021. – № 5. – С. 22–30.
3. Слоистые металлополимерные, биметаллические и гибридные материалы // Офиц. сайт ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ. – URL: https://viam.ru (дата обращения: 02.04.2026).
4. Каблов, Е. Н. Слоистые алюмостеклопластики СИАЛ-1441 и сотрудничество с Airbus и TU Delft / Е. Н. Каблов, В. В. Антипов, О. Г. Сенаторова // Цветные металлы. – 2013. – № 9. – С. 28–31.
5. Антипов, В. В. Технологичный алюминий-литиевый сплав 1441 и слоистые гибридные композиты на его основе / В. В. Антипов // Металлург. – 2012. – № 5. – С. 36–39.
6. Конструкционные слоистые алюмостеклопластики 1441-СИАЛ / В. В. Шестов, В. В. Антипов, О. Г. Сенаторова [и др.] // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2013. – № 9. – С. 28–31.