



Н.Д. Кабаков, Н.Б. Зикирьяев, К.Ж. Койчыкулов

Военно-инженерный институт радиоэлектроники и связи, Алматы, Казахстан

E-mail: nuzhan.zikiryaev@bk.ru

ИНТЕГРАЦИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ В САМОЛЕТАХ РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНОЙ АВИАЦИИ

Аннотация. Данная статья исследует теоретические и прикладные аспекты применения сплавов и композитов в авиации. Обсуждает теоретические и прикладные аспекты современного материаловедения в авиации. В контексте постоянного стремления к улучшению производительности и безопасности воздушных судов, материаловедение играет ключевую роль в разработке и применении инновационных материалов для конструкции и компонентов самолетов. В современной авиационной промышленности, постоянно сталкивающейся с требованиями к повышению производительности и снижению веса воздушных судов, выбор и оптимизация материалов играют решающую роль.

Исследование проведено в рамках программно-целевого финансирования ИРН №BR249005/0224 «Разработка инновационных конструкций по изготовлению и совершенствованию беспилотных авиационных систем специального назначения на основе технологической инфраструктуры высшего военного учебного заведения» (Источник финансирования: Комитет науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан).

Ключевые слова: материаловедение, авиация, композитные материалы, полимеры, наноматериалы, прочность материалов.

Введение.

Авиационная промышленность традиционно является одной из самых наукоёмких и технологически передовых отраслей. Её развитие невозможно без постоянного внедрения инноваций, среди которых важнейшее место занимает совершенствование материалов, используемых в конструкции летательных аппаратов. Особенно это касается самолетов разведывательной авиации, которые должны сочетать в себе уникальные летные характеристики, скрытность, надёжность и устойчивость к экстремальным условиям эксплуатации. В этой связи исследования в области материаловедения приобретают ключевое значение, поскольку позволяют не только уменьшить массу конструкции и повысить её прочность, но и напрямую влияют на такие параметры, как радиолокационная заметность, термостойкость, аэродинамика и долговечность узлов и агрегатов.

С каждым годом требования к авиационной технике становятся всё жёстче. Современные разведывательные самолёты должны быть способными



выполнять задачи в условиях интенсивной радиолокационной активности, на больших высотах и скоростях, при этом демонстрировать минимальную заметность для систем противовоздушной обороны и высокую эксплуатационную надёжность. Для достижения этих характеристик одних лишь инженерных решений и аэродинамических оптимизаций недостаточно. Необходимы новые материалы, способные выдерживать высокие температуры, механические нагрузки, вибрации, коррозионные воздействия и другие негативные факторы, сопровождающие эксплуатацию авиационной техники.

Исторически одним из ярчайших примеров успешной интеграции прогрессивных материалов и конструктивных решений в разведывательной авиации стал американский самолёт SR-71 «Blackbird» [1]. Разработанный в 1960-е годы, он опередил своё время не только по скоростным характеристикам, но и по уровню технических и научных решений, применённых при его создании. Конструкция самолёта была выполнена преимущественно из титаносодержащих сплавов, способных выдерживать температуры свыше 300 °С, возникающие при полёте на скорости, превышающей 3 Махов. Также применялись радиопоглощающие покрытия и особые формы фюзеляжа, минимизирующие отражение радиоволн. Уникальные аэродинамические решения, такие как бесхвостая схема и трапецевидные крылья, обеспечивали высокую устойчивость и управляемость при полётах на больших высотах.

Однако создание SR-71 — это лишь начало эры использования новых материалов в авиации. С течением времени требования к летательным аппаратам только усиливаются, и современное материаловедение должно отвечать вызовам, которые невозможно было предсказать ранее. Сегодня в авангарде находятся композитные материалы, которые позволяют достичь высокой прочности при сравнительно малом весе. Использование углепластиков, органопластиков и различных слоистых структур на основе полимеров и волокон обеспечивает не только снижение массы конструкции, но и повышает её сопротивляемость внешним воздействиям. Композиты также позволяют интегрировать в конструкцию новые функции — например, способность поглощать радиоволны, изменять форму при воздействии электрических сигналов или изменениях температуры.

Вопрос выбора и оптимизации материалов становится особенно важным при проектировании самолётов, предназначенных для разведки на больших высотах. Здесь конструкция подвергается воздействию разреженной атмосферы, колебаний температур, высоких скоростей и значительных аэродинамических нагрузок. Использование традиционных материалов, таких как алюминиевые сплавы, в этих условиях часто оказывается недостаточным. Поэтому производители авиационной техники всё чаще обращаются к новым материалам и многослойным структурам, которые можно адаптировать под конкретные условия эксплуатации.

Кроме того, на современном этапе всё большую роль играют так Особое внимание в последнее десятилетие уделяется экологическим аспектам. Стремление к снижению выбросов CO_2 , увеличению топливной эффективности и сокращению воздействия на окружающую среду диктует новые требования к используемым материалам. Именно поэтому ведутся активные работы по созданию лёгких и прочных материалов на биополимерной основе, которые будут не только эффективными, но и экологически безопасными.

Анализ материалов требует комплексного подхода, включающего теоретические исследования, экспериментальные испытания, оценку жизненного цикла и взаимодействие с другими компонентами системы.

Материалы и методы.

В ходе рассмотрения методологических подходов исследования использованы общенаучные методы такие, как анализ и синтез, а для систематизации имеющихся в данной области знаний применены сравнение и обобщение.

Результаты и обсуждения.

В данной статье рассмотрены основные классы материалов, применяемых в авиации, и их свойства, а также важные теоретические аспекты, лежащие в основе разработки и использования этих материалов. Также обратим внимание на прикладные аспекты материаловедения, включая разработку легких и прочных конструкций, защиту от коррозии и износа, а также способность выдерживать колоссальные нагрузки, проведённые испытания представлены ниже на рисунке 1.



Рисунок 1 – Испытание на стенде композитных материалов на прочность
(слева на право: стеклоткань, карбон, кевлар)

Существует не мало классов материалов, применяемых в авиации [1]. Каждый из этих классов имеет свои особенности и преимущества, что позволяет авиационной промышленности создавать самолеты с оптимальными характеристиками, обеспечивая безопасность и эффективность полетов. Один из самых распространенных и имеющему место в современной авиации это- металлы и их сплавы, не смотря на обширное применение композитных материалов в современной авиации



некоторые металлы являются незаменимыми в конструкции ЛА [2]. Титановые сплавы, применяемые в авиастроении еще долгое время, останутся в конструкции ЛА так как не существует аналогов данных сплавов. Титановые сплавы обладают высокой прочностью при низкой плотности и используются авиастроителями в таких критических и высоконагруженных частях ЛА как шасси и двигатели. При взлете и посадке шасси испытывают огромные перегрузки так как воспринимают всю массу ЛА. Так же одним из распространенных сплавов является сплав стали различной степени твердости [3].

Данные сплавы применяются преимущественно в двигателях ЛА потому как при работе двигателя температура внутри самого двигателя может превышать пятьсот градусов, где композитные материалы теряют свои свойства. Но современные тенденции развития авиационной отрасли вынуждает производителей прибегать к композитным материалам так как они обеспечивают прочность при более меньшей массе чем металлы. Одним из распространенных композитов применяющегося как в конструкции крыльев, так и при создании фюзеляжа является углепластик, который в десятки раз прочнее стали при этом на много более легче последнего [4]. Одним из неоспоримых плюсов применения углепластика является создание более идеальной с точки зрения аэродинамики формы планера, в то время, когда металлы не обладают такими свойствами.

В современном мире из углепластика делаются не только мелкие части крыла или хвостового оперения, но и цельные, монолитные конструкции такие как фюзеляж и крыло самолета за счет монолитной конструкции можно добиться высокой прочности в купе с ее легкостью [5]. Так же по мимо углепластика применяется и стеклопластик, который не обладает такими же свойствами что и углепластик, но его применение в некритически важных местах планера самолета позволяет снизить цены на производство что является его большим плюсом.

В настоящее время с появлением современных сплавов и композитов в авиации, а также технологий создания композитных материалов, требуются новые системы тестирования данных материалов на механическую и химическую устойчивость. Каждая технология должна быть стандартизирована и регламентирована для обеспечения большей прочности и долговечности данных материалов. При тестировании современных сплавов и композитов они проходят множество тестирований и исследований таких как, механические испытания, которые включают в себя измерение прочности при которых определяются прочностные свойства материалов: разрыв, твердость и испытания на усталость материалов, а также измерение жесткости новых сплавов и композитов при данных испытаниях определяется способность материала, сопротивляться деформации под нагрузкой, которые используют методы испытания на изгиб и измерение упругих свойств данных материалов. Так же они проходят химический анализ, который включает в себя спектральный анализ при данном анализе



определяется химический состав материала с помощью методов, атомно-абсорбционная спектроскопия (AAS), индуктивно-связанная плазма (ICP) и рентгеновская флуоресценция (XRF). По мимо этих методов стоит упомянуть масс-спектрометрия для определения молекулярных масс и состава химических соединений и стоит не забывать о хроматографии данный анализ позволяет разделить и анализировать компоненты смеси в зависимости от их химических свойств. Современные материалы проходят металлографические исследования, которые включают в себя: микроскопию которая включает в себя оптическую микроскопию, сканирующую электронную микроскопию (SEM) и трансмиссионную электронную микроскопию (TEM) для изучения структуры и морфологии материала, а также металлографические исследования не обходятся без анализа, зерна который определяет размер, форму и распределение зерен в материале. Но одними из самых важных испытаний и тестов, проводимых даже при эксплуатации воздушных судов являются: неразрушимый контроль и испытания на износостойкость и коррозию.

Нормативы для каждого материалов разрабатываются в ходе тестирования, в которых определяются их нормальные эксплуатационные условия, нарушение которых может стать фатальным для механизма или конструкции где данные материалы используются в плоть до разрушения. При окончании вышеизложенных испытаний выявляются уязвимости в сплавах и композитах и при обнаружение критических несоответствий, заявленных требований по прочности или износостойкости материалов, инженеры прибегают к модернизации их химического состава или покрытия уже готовых деталей износостойкими материалами данный этап в материаловедении входит в прикладные аспекты. Примером этому может служить недавно выявленные проблемы с крылом Boeing 787 когда из-за гибкости крыла, которое изготавливается из углепластика, на который УФ излучение действует пагубно, начала отслаиваться краска. При длительном нахождении углепластика в УФ излучении он теряет свои свойства и становится хрупким что недопустимо при эксплуатации ВС и инженерами концерна Boeing было регламентировано обязательное покрытие крыла специальной краской созданной для защиты крыла от УФ излучения.

Таким образом можно сделать вывод что покрытие защитным слоем грунта либо краски или и того, и другого может быть одним из способов защиты изделия из углепластика. Так же для металлов можно привести пример защиты от коррозии, например, для защиты может служить как краска, так и напыления на готовую деталь, например, ионирование, то есть покрытие сплава более устойчивым к коррозии и механическим воздействиям металла, слой данного напыления может составлять менее микрона что является неоспоримым положительным фактором к использованию данной технологии в авиационной отрасли. Так же существуют и специализированные материалы для грунтования металлов и их сплавов которые существенно продлевают долговечность металлов и



сплавов, а также защищают их от коррозии, но данная технология имеет существенный недостаток такой как вес что является не мало важным критерием при проектировании ЛА. Современное материаловедение в авиации является ключевым фактором в развитии авиационной техники, обеспечивая повышенные характеристики безопасности, эффективности и экономичности.

Изучение и разработка новых материалов для авиации объединяет теоретические и прикладные аспекты, включая фундаментальные принципы химии, физики и инженерии, а также их применение в создании конкретных конструкций и компонентов. Одной из основных тенденций развития материалов в авиации является стремление к созданию материалов с улучшенными свойствами, такими как прочность, легкость, устойчивость к коррозии и высокие температуры. Это включает в себя разработку новых композитных материалов, металлических сплавов, керамических материалов и наноматериалов. Другой важной тенденцией является разработка экологически более устойчивых материалов и процессов производства, что связано с растущей осознанностью воздействия авиации на окружающую среду и стремлением к сокращению экологического следа.

Заключение.

Таким образом, современное материаловедение в авиации продолжает активно развиваться в направлении создания более прочных, легких, экологически чистых и энергоэффективных материалов, способных обеспечить безопасность, надежность и эффективность авиационных систем в условиях постоянно меняющихся требований и вызовов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цепляева Т.П., Мигунов А.Ю. Analysis of the current state of development of high-altitude unmanned aerial vehicles // Open Information and Computer Integrated Technologies. – 2019. – №. 83. – С. 28-41. URL: <http://nti.khai.edu/ojs/index.php/oikit/article/view/686> (дата обращения: 04.07.2025).
2. Цепляева Т.П., Мигунов А.Ю. Анализ современного состояния развития высотных беспилотных летательных аппаратов. – 2019. URL: <http://dspace.library.khai.edu/xmlui/handle/123456789/5601> (дата обращения: 04.07.2025).
3. Каримов А.Х. Особенности проектирования беспилотных авиационных систем нового поколения//Труды МАИ. 2011. №47. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-proektirovaniya-bespilotnyhaviatsionnyh-sistem-novogo-pokoleniya> (дата обращения: 04.07.2025).
4. Колесов. Н.С – Материаловедение и технология конструкционных материалов: Пер. с японск. – М.: Мир, 1982. – С. 232, ил.



5. Бабичев А. П Справочник инженера-технолога в машиностроении, [текст] / Рысева Т.Н., Чукарина И.М, Мотренко П.Д. - М.: Машиностроение, 1990. – С. 382.

REFERENCES

1. Sepljaeva T.P., Migunov A.Ju. Analysis of the current state of development of high-altitude unmanned aerial vehicles//Open Information and Computer Integrated Technologies. – 2019. – №. 83. – S. 28-41. URL: <http://nti.khai.edu/ojs/index.php/oikit/article/view/686> (data obrashhenija: 04.07.2025).

2. Sepljaeva T.P., Migunov A.Ju. Analiz sovremennogo sostojanija razvitiya vysotnyh bespilotnyh letatel'nyh apparatov. – 2019. URL: <http://dspace.library.khai.edu/xmlui/handle/123456789/5601> (data obrashhenija: 04.07.2025).

3. Karimov A.H. Osobennosti proektirovaniya bespilotnyh aviacionnyh sistem novogo pokolenija//Trudy MAI. 2011. №47. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-proektirovaniya-bespilotnyhaviatsionnyh-sistem-novogo-pokoleniya> (data obrashhenija: 04.07.2025).

4. Kolesov N.S – Materialovedenie i tehnologija konstrukcionnyh materialov: Per. s japonsk. – М.: Mir, 1982. – S. 232, il.

5. Babichev A. P Spravochnik inzhenera-tehnologa v mashinostroenii, [tekst] / Ryseva T.N., Chukarina I.M, Motrenko P.D. - М.: Mashinostroenie, 1990. – S. 382.

Нұртас Кабаков, генерал майор, Институт бастығы, Радиоэлектроника және байланыс әскери-инженерлік институты, Алматы, Қазақстан

Нұржан Зикирьяев, PhD, подполковник, әскери радиотехника және электроника негіздері кафедрасының бастығының орынбасары, Радиоэлектроника және байланыс әскери-инженерлік институты, Алматы, Қазақстан, nuzhan.zikiryaev@bk.ru

Комекбай Койчыкулов, полковник, доцент, С. Нұрмағамбетов атындағы Құрлық әскерлері Әскери институты, Алматы, Қазақстан, koichykulov@bk.ru

БАРЛАУ АВИАЦИЯСЫНЫҢ ҰШАҚТАРЫНДА ЖАҢА МАТЕРИАЛДАР МЕН СЫНДАРЛЫ ШЕШІМДЕРДІ БІРІКТІРУ

Аңдатпа. Бұл мақала авиацияда қорытпалар мен композиттерді қолданудың теориялық және қолданбалы аспектілерін зерттейді. Авиациядағы заманауи материалтанудың теориялық және қолданбалы аспектілерін талқылайды. Әуе кемелерінің өнімділігі мен қауіпсіздігін жақсартуға үнемі ұмтылу жағдайында материалтану ұшақтардың дизайны мен компоненттері үшін инновациялық материалдарды әзірлеу мен қолдануда шешуші рөл атқарады. Әуе кемелерінің өнімділігі мен салмағын



төмендету талаптарына үнемі тап болатын заманауи авиация өнеркәсібінде материалдарды таңдау және оңтайландыру шешуші рөл атқарады.

Зерттеу «жоғары әскери оқу орнының технологиялық инфрақұрылымы негізінде арнайы мақсаттағы ұшқышсыз авиациялық жүйелерді дайындау және жетілдіру жөніндегі инновациялық конструкцияларды әзірлеу» №BR249005/0224 ЖРН бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру шеңберінде жүргізілді (қаржыландыру көзі: Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті).

Түйінді сөздер: материалтану, авиация, композиттік материалдар, полимерлер, наноматериалдар, материалдардың беріктігі.

Nurtas Kabakov, Major General, Head of the Institute, Military Engineering Institute of Radio Electronics and Communications, Almaty, Kazakhstan

Nurzhan Zikiryaev, PhD, Lieutenant Colonel, Deputy Head of the Department of Fundamentals of Military Radio Engineering and Electronics, Military Engineering Institute of Radio Electronics and Communications, Almaty, Kazakhstan, nuzhan.zikiryaev@bk.ru

Komekbai Koichikulov, colonel, associate professor, Military Institute of Land Forces named after S. Nurmagambetov, Almaty, Kazakhstan, koichyikulov@bk.ru

INTEGRATION OF NEW MATERIALS AND DESIGN SOLUTIONS IN RECONNAISSANCE AIRCRAFT

Abstract. This article explores the theoretical and applied aspects of the use of alloys and composites in aviation. Discusses theoretical and applied aspects of modern materials science in aviation. In the context of the continuous pursuit of improving aircraft performance and safety, materials science plays a key role in the development and application of innovative materials for aircraft construction and components. In the modern aviation industry, which is constantly facing demands to increase productivity and reduce aircraft weight, the choice and optimization of materials play a crucial role.

The study was conducted within the framework of program-specific financing of the IRN No.BR249005/0224 «Development of innovative designs for the manufacture and improvement of unmanned special-purpose aircraft systems based on the technological infrastructure of a higher military educational institution» (Funding source: Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan).

Keywords: materials science, aviation, composite materials, polymers, nanomaterials, strength of materials.

Поступила: 19 марта 2025 года

Рецензирована: 20 июня 2025 года

Принята: 22 июля 2025 года