



Перспективные материалы для авиационной техники

Р.Е. Шалин

Декабрь 1983

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем 30 научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в 4 филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

Статья подготовлена для опубликования в журнале *«Авиационная промышленность»*, № 5, 1984 г.

Электронная версия доступна по адресу: www.viam.ru/public

Перспективные материалы для авиационной техники

Р.Е. Шалин

Всероссийский институт авиационных материалов

Создание новых конструкционных материалов – важнейший фактор совершенствования авиационной техники. Вновь это положение было продемонстрировано на межотраслевой выставке «Прогресс-83». В экспозиции представлены разработки, выполненные научными учреждениями и предприятиями авиационной промышленности в содружестве с другими министерствами и институтами АН СССР. Большое внимание уделено узловым проблемам современного материаловедения.

Сердцем современного самолета является газотурбинный двигатель, ресурс и надежность которого определяются в первую очередь работоспособностью лопаток. Лопатки ГТД работают в условиях высоких температур, циклических напряжений и окислительной среды. Перед разработчиками материалов стоит сложная задача по созданию сплавов, способных длительно работать при температуре рабочего газа перед турбиной 1530–1630°C.

Для перспективных изделий 11–12-й пятилеток разработана серия суперсплавов; по свойствам некоторые из них превосходят зарубежные. В первую очередь следует отметить литейный композиционный эвтектический сплав, получаемый методом направленной кристаллизации. Высокие характеристики жаропрочности ($\sigma_{100}^{1100^\circ} = 17$ кгс/мм²) и усталости ($\sigma_{-1}^{20^\circ} = 36\text{--}40$ кгс/мм², $\sigma_{-1}^{900^\circ} = 42$ кгс/мм²) обеспечиваются высокожаропрочной матрицей, армированной нитевидными кристаллами карбида ниобия. Для сплава характерны высокое сопротивление термоусталостному разрушению и слабое разупрочнение при высоких температурах. Применение его позволит повысить рабочую температуру лопаток на 50–60°C, а температуру

газа в турбине – до 1630–1730°C, благодаря чему снизится удельный расход топлива, увеличится ресурс и удельная тяга двигателя.

Уровень термических напряжений в лопатках определяется как разностью температур на их внешней и внутренней поверхностях, так и величиной модуля упругости материала. Литье лопаток из сплава ЖС6Ф с монокристаллической структурой в направлении 001 позволяет снизить уровень термических напряжений на 40%; ресурс лопаток возрастает в 2–3 раза по сравнению с равнооснолитыми. Технология отливки монокристаллических лопаток методом направленной кристаллизации в печах ПМП-2, а также ускоренный метод рентгеноструктурного контроля кристаллографической ориентировки внедрены на КНПО «Труд».

Метод литья с направленной кристаллизацией впервые разработан в ВИАМ. Внедрение его оказалось возможным в результате решения вопросов, связанных с получением керамической формы и стержней, устойчивых при длительном воздействии (до 20 ч при 1550–1650°C) жидкого металла. Направленное затвердевание и регламентированная кристаллизация обеспечивают изготовление высокоточных заготовок сложной формы; по сравнению с равноосной кристаллизацией метод позволяет повысить КИМ с 0,2–0,3 до 0,6–0,8, плотность отливок на 5–10%, снизить трудоемкость в 1,5–2 раза.

В качестве перспективного материала для деталей и узлов ГТД, предназначенных для работы при температурах 1500–1700°C, на выставке представлен керамический материал из нитрида кремния, разработанный в НПО «Технология». Использование керамики в ГТД дает возможность повысить температуру газа на входе в турбину до 1700°C, КПД двигателя на 6–10%, мощность на валу на 20–30% и снизить удельный расход топлива на 4–6%. Материал по прочности сопоставим с зарубежными аналогами, но превосходит их по стойкости к окислению. Изделия прошли испытания на стенде и двигателе.

Новое направление в создании материалов для деталей горячего тракта ГТД – разработка литейных материалов на основе интерметаллида Ni_3Al . Примером такого материала является интерметаллидный сплав ВКНА-4ЛК. Он обладает высокой жаропрочностью, составляющей 5–5,5 кгс/мм² при 1100°C и выдержке 100 ч и 2,5–3,5 кгс/мм² при 1200°C. Высокое сопротивление окислению позволяет применять этот сплав без защитных покрытий. От традиционных литейных жаропрочных сплавов типа ЖС6 материал отличается низкой удельной плотностью (7,8 кгс/мм²).

Для защиты от окисления турбинных лопаток, рабочая температура которых достигает 1000–1100°C, разработана широкая гамма покрытий, получаемых вакуумной плазменной технологией высоких энергий (ВПТВЭ). Это прежде всего жаростойкие конденсированные (Ni-Cr-Al-Y) и диффузионные (Al-Si-Y) покрытия для лопаток турбин из жаропрочных никелевых сплавов. Переход от традиционных методов диффузионного алитирования (порошкового и окраской суспензией) к ВПТВЭ позволил автоматизировать процесс получения диффузионных покрытий, существенно повысить его производительность, уменьшить трудоемкость и одновременно увеличить ресурс лопаток в 1,5–2 раза.

Для более теплонапряженных лопаток целесообразно применять конденсированные покрытия из сплава СДП-1 или СДП-2. Ресурс лопаток с такими покрытиями толщиной 80–120 мкм при 1000°C в 1,5–2 раза выше, чем с диффузионными покрытиями.

Дальнейшим развитием конденсированных покрытий является переход к покрытиям с керамической составляющей (Ni-Cu-Al-Y+ZrO_2), обеспечивающим теплозащитный эффект; температура материала лопатки снижается на 30–50%. Покрытия с теплозащитным эффектом наносятся электронно-лучевым методом на установке УЭ-175. Эта же установка используется и для конденсированных покрытий систем Ni-Cr-Al-Y и Ni-Co-Cu-Al-Y .

Метод ВПТВЭ для регламентированного нанесения припоя ВПр-24 на половинки составных лопаток позволяет решить сложную технологическую задачу изготовления лопаток из жаропрочных сплавов. Использование составных лопаток существенно повышает выход годного, дает возможность создать оптимальную конструкцию внутренней полости лопатки и за счет увеличения эффективности охлаждения повысить температуру газа на 100–120°C.

Применение ВПТВЭ для получения износостойких покрытий на лопатках компрессора на основе карбидов хрома и нитридов титана увеличивает их эрозионную стойкость в 5–6 раз.

Создание двигателей пятого поколения невозможно без дальнейшего повышения свойств, надежности и ресурса дисковых материалов и промышленного изготовления из них полуфабрикатов. На выставке представлены новые жаропрочные деформируемые сплавы ХН60КМВТЮБ, 11Х11Н2ВМФ, ЭП975, 741НП и ЭП962П, а также серийный сплав ХН62БМКТЮ-НД для дисков турбины и компрессора. Применение его вместо сплава ХН73МБТЮ-ВД повысило ресурс в 2–3 раза, снизило массу диска на 10–15%, дало возможность создать двигатели с новыми тактико-техническими параметрами. Годовой экономический эффект от внедрения сплава в отрасли – 5 млн. руб.

Новые жаропрочные сплавы по комплексу механических свойств и длительной прочности ($\sigma_B^{20^\circ} = 150\text{--}155$ кгс/мм² и $\sigma_{100}^{750^\circ} = 0\text{--}75$ кгс/мм²) не уступают лучшим зарубежным сплавам (АГ1-2ДА, Рене-95); они нечувствительны к острым надрезам. В настоящее время указанные сплавы успешно проходят испытания на изделиях отрасли.

Внедрение новых дисковых сплавов в промышленность стало возможным в результате освоения технологических процессов, связанных с применением гранульной металлургии, горячей деформации (изотермической штамповки с использованием эффекта сверхпластичности) и термической обработки. Разработана также новая технология обработки резанием.

Для горячих свариваемых узлов двигателя (камеры сгорания) созданы сплавы ХН55МВКТЮР и 08Х18Н10Т, длительная прочность которых $\sigma_{100}^{1000^\circ} = 5-6$ кгс/мм² и $\sigma_{100}^{900^\circ} = 8$ кгс/мм² соответственно. Сплав 08Х18Н10Т в отличие от ранее применявшихся материалов нечувствителен к растрескиванию сварных соединений при нагреве, что позволяет изготавливать сварные узлы и ремонтировать их без последующего снятия сварочных напряжений.

В экспозиции выставки экспонировались новые виды полуфабрикатов, в том числе крупногабаритные, из алюминиевых, титановых сплавов и высокопрочной стали. Внедрение автоматизированных систем изготовления и контроля способствовало улучшению качества полуфабрикатов, снижению трудоемкости, КИМ, экономии дефицитных металлов.

Для повышения весовой эффективности, ресурса и надежности авиационной техники все большее значение приобретают композиционные материалы (КМ) на основе полимерной или металлической матрицы. На выставке демонстрировались КМ на основе алюминия, армированные стальной проволокой (КАС-1А), борными волокнами (ВКА-1 и ВКА-1А), и на основе магния, армированные волокнами бора (ВКМ-1). Эти материалы имеют предел прочности 90–145 кгс/мм², модуль упругости 12000–23000 кгс/мм² и превосходят высокопрочные алюминиевые сплавы по прочности – в 1,5–2 раза, а по жесткости – в 2–3 раза.

Надежная работа КМ в элементах авиационных конструкций достигается благодаря высокому пределу выносливости (30–60 кгс/мм²) и малой чувствительности к концентраторам напряжений. Наиболее рационально применение металлических КМ в элементах силового набора самолета (стрингерах, шпангоутах и др.), тягах, усиливающих накладках, окантовках, стопперах и т.п.

Прогресс в области конструирования новых скоростных самолетов поколения 1985–1990 гг. будет во многом связан с увеличением объема использования полимерных КМ на основе высокопрочных и высокомодульных

волокон – углеродных, борных и др. По жесткости и прочности ПКМ в 2–3 раза превосходят алюминиевые и титановые сплавы. Основными направлениями развития ПКМ являются: для углепластиков – увеличение прочности с 90 до 180 кгс/мм², для стеклопластиков и материалов радиотехнического назначения – повышение рабочих температур с 350 до 600°С, для органопластиков – увеличение прочности при сдвиге с 2,5 до 8 кгс/мм².

Применение ПКМ снижает массу авиационных конструкций на 20–30% при одновременном увеличении надежности и ресурса. Благодаря высокой прочности и рабочим температурам ПКМ в настоящее время используются в конструкциях планера самолетов, вертолетов и ГТД. Снижение массы самолета на 1 т за счет применения ПКМ обеспечивает экономию 200 т топлива в год, увеличение объема грузоперевозок на 1 млн т – экономический эффект более 500 тыс. руб. в год.

Создание новых материалов в системе Минавиапрома осуществляется по целевым комплексным программам. Под руководством НТС министерства и научных советов АН СССР объединены усилия институтов АН и отраслевых институтов ряда министерств и Минавиапрома. Общая координация работ, оперативное взаимодействие обеспечивают целенаправленность проведения фундаментальных научных исследований, значительное сокращение сроков внедрения передовых достижений науки и техники.