



50
лет

лаборатории
«Клеи и клеевые препреги»

Москва 2008



50 лет лаборатории «Клеи и клеевые препреги»

Работы в области клеев и технологии склеивания начались вместе с возникновением самой авиации. В 1932 г. к моменту создания ВИАМ основная доля в структуре потребления авиационных материалов приходилась на природную древесину, представленную различными породами деревьев. Другую значительную долю составляли текстильные материалы из волокна также природного происхождения. Доля алюминиевых сплавов и других металлических материалов не превышала 25%. Соответственно и клеи, применявшиеся в авиастроении, предназначались для склеивания древесных и текстильных материалов.

В предвоенные годы клеи не составляли самостоятельного объекта исследования. В институте не было лаборатории клеев и не было необходимости в их разработке. Клеи разрабатывались и выпускались химической промышленностью, а их основными промышленными потребителями являлись предприятия по производству фанеры и текстиля.

В ВИАМ основные работы проводились в направлении отработки технологии склеивания древесины и исследования клеев как простейшего средства защиты деревянной конструкции самолета от воздействия атмосферы. Эти разработки осуществлялись в лаборатории древесины под общим руководством профессора Н.М. Чулицкого.

Всего в довоенные годы применялось шесть марок клеев. Это первый разработанный в ВИАМ синтетический клей ВИАМ-БЗ на фенолформальдегидной основе, который положил начало применению в авиационной промышленности синтетических клеев, казеиновые клеи В-105, В-107, фенолформальдегидный КБ-3, мочевиноформальдегидные КМ-1, КМ-2. Эти клеи были включены в первый справочник по авиационным материалам, выпущенный ВИАМ в 1942 г. Наиболее ответственным применением клеев являлось их использование при изготовлении дельта-древесины, которая в то время была основным конструкционным авиационным материалом.

В военные годы потребность в клеях возросла в связи со значительным увеличением числа типов самолетов из древесины и тканей и многократным увеличением объема их выпуска. Практически вся истребительная авиация (конструкции Поликарпова, Яковлева, Лавочкина, Микояна) на 85% была изготовлена с применением клеев и технологии склеивания. Уже к 1950 г. число марок клеев, применяемых в авиационной промышленности, возросло до 20. Появились клеи для склеивания различных материалов с металлом, для остекления и другого назначения.

Формальдегидные клеи были влагостойкими и грибостойкими, поэтому они применялись как защитные покрытия деревянных конструкций, и в частности поплавков и лодок гидросамолетов. Работы института по технологии склеивания и подбору клеев проводились в тесном контакте с производителями клеев в химической промышленности.

В третью редакцию справочника по авиационным материалам, выпущенного в 1951 г., наряду с ранее включенными марками клеев были включены клеи, считавшиеся в то время универсальными: БФ-2, БФ-4, КА-В1, КД-В2 для склеивания листовых материалов типа «астролон»; клей для склеивания органического стекла; клеи для приклеивания ткани и теплоизоляционных материалов – нитроклей АК-20, перхлорвиниловый ХВК-2а, глифталевый АМК; клеи для склеивания резин между собой и приклеивания их к металлам марок 88, К-2, К-15, К-40, Б-10, термопрен, 4, 4508, НС-30, НС-С-15.

Эти клеи и техпроцессы склеивания широко применялись для изготовления самолетов деревянной и смешанной конструкций в период с 1930 по 1950 гг. Всего за этот период было произведено 188750 самолетов типа Р-5, И-15, И-16, Як-3, Як-7Б, МиГ-1, ЛаГГ-1 и др., из которых 85% были клееными.

Большой вклад в развитие этого направления в тот период внесли сотрудники ВИАМ: А.В. Раковский, В.В. Бодрова, Я.Д. Аврасин, М.А. Хрипунов, Н.И. Артамохин, А.В. Ермолаев, Л.Л. Фейгин, И.И. Михалев, З.Г. Иванова, К.П. Горский, А.И. Пригорева и др.

В связи с важностью и большим объемом работ по созданию клеев и технологии склеивания в 1959 г. в ВИАМ была создана специализированная лаборатория «Клеи и технологии склеивания». Первым начальником лаборатории был назначен Давид Алексеевич Кардашов, который возглавлял ее до 1976 г. Учитывая научный вклад, который внес ВИАМ в создание конструкционных клеев для авиационной техники, Правительство СССР назначило д.т.н. Д.А. Кардашова Главным химиком по клеям и ввело его в состав Ученого совета по полимерам Комитета по координации научно-исследовательских работ при Совете Министров СССР.



Д.А. Кардашов
д.т.н., Главный химик по клеям

В этот период руководителями или основными исполнителями отдельных научных направлений (бригад) были назначены:



*Соловьева
Вера Николаевна –
по созданию феноло-
каучуковых клеев*



*Кудишина
Вера Алексеевна (к.т.н.) –
по созданию полиуретановых
клеев (она же стала заместителем
начальника лаборатории)*



*Иванова
Зинаида Георгиевна (к.т.н.) –
по созданию термостойких клеев
на основе элементоорганических
соединений*



*Исаева
Екатерина Федоровна –
по созданию эпоксидных
клеев холодного отверждения*



Артамохин
Николай Иванович –
по созданию клеев
для склеивания неметаллических
материалов



Бек
Вера Ивановна (к.т.н.) –
по созданию эпоксидных клеев
горячего отверждения



Михалев
Иван Иванович –
по отработке технологии
склеивания



Фейгин
Леонид Леонидович –
по исследованию
эксплуатационной надежности клеев

Лаборатория с момента своего создания заняла лидирующее положение в области клеев и технологии склеивания. Были начаты разработки эпоксидных высокопрочных клеев, фенолокаучуковых высокоэластичных клеев, кремнийорганических и элементоорганических термостойких клеев, клеев резинотехнического назначения. Клеи, разработанные в ВИАМ, нашли широкое применение не только в авиационной, но и в ракетно-космической, оборонной и других отраслях промышленности.

В создание и становление лаборатории большой вклад внесли: Д.А. Кардашов, В.Н. Соловьева, Е.Ф. Исаева, В.А. Кудишина, В.И. Бек, Н.И. Артамохин, З.Г. Иванова, И.И. Михалев, Л.Л. Фейгин, В.П. Батизат, А.П. Петрова, Л.И. Аниховская, Н.Ф. Лукина, Л.А. Дементьева, Р.И. Иванова, З.Н. Колобова, И.М. Заманский, В.В. Ерина, В.И. Власова-Головатая, В.В. Гуляева, Н.С. Рогов, М.Г. Лурье, А.А. Быстрова, Т.А. Москалева, О.П. Вахлаков, Т.Н. Зендрикова, Г.Н. Углова, Р.К. Чучаева, Л.А. Чубковец, Н.С. Жадова, З.Г. Бахмутова, Б.В. Якушев, Л.П. Козлова, О.Л. Васильченко, А.А. Сереженков, Л.И. Бочарова, Н.И. Клепцова, З.Н. Пехтерева и другие.

В стенах ВИАМ впервые в нашей стране начало развиваться направление по созданию анаэробных клеящих композиций. Анаэробные материалы впервые были разработаны в США профессором Верноном К. Крибле. На мировом рынке они появились в 1955 г. В ВИАМ это направление стало развиваться по оригинальному направлению: создание материалов осуществлялось на основе олигоэфиракрилаткарбонатов в отличие от олигоэфиракрилатов, использованных в работах других организаций. Олигоэфиркарбонаты позволили получить отечественные анаэробные материалы марки ВАК с высокими скоростями отверждения (15 – 30 мин) на любых металлических поверхностях даже при температурах до -10°C и более высокими физико-механическими характеристиками, чем у всех известных материалов такого типа. Вклад в развитие этого направления в ВИАМ внесли А.А. Берлин, Г.Л. Попова, Н.С. Гаврюшенко, В.С. Мусинова и др. В настоящее время это научное направление успешно развивается во ФГУП «НИИ химии и технологии полимеров им. академика В.А. Каргина».

С 1976 по 1994 гг. лабораторию возглавлял к.т.н. В.П. Батизат. В этот период продолжается активное развитие научного направления в области высокопрочных клеев и композиционных материалов клеевых на основе клеевых препрегов.

Лаборатория по итогам работ неоднократно занимала призовые места и награждалась переходящим Красным Знаменем.



Краснознаменный коллектив лаборатории (1988 г.)

С 1994 года по 2005 год лабораторию возглавляла к.т.н. Л.И. Аниховская, а с 2005 года по настоящее время ее возглавляет – к.т.н. Н.Ф. Лукина.



*В.П. Батизат (к.т.н.) –
начальник лаборатории
с 1976 по 1994 гг.
Лауреат Государственных
премий РФ (посмертно)
и СССР*



*Л.И. Аниховская (к.т.н.) –
начальник лаборатории
с 1994 по 2005 гг.
Лауреат Государственной
премии РФ*



*Н.Ф. Лукина (к.т.н.) –
начальник лаборатории
с 2005 г. по настоящее время*



*О.А. Стародубцева –
зам. начальника лаборатории
с 2005 г. по настоящее время*

В связи с разработками в области композиционных материалов клеевых на основе клеевых препрегов лаборатория получила новое название «Клеи и клеевые препреги». В этот период число разработок ВИАМ в области клеев превысило 100. Клеи рекомендованы для эксплуатации в интервале температур от -269 до +1600°C, обеспечивают надежную работу металлических и неметаллических конструкций в различных климатических зонах.

Генеральным директором ФГУП «ВИАМ», академиком РАН Е.Н. Кабловым и заместителем Генерального директора по научному направлению «Полимерные композиционные и функциональные материалы» Л.В. Чурсовой перед коллективом лаборатории поставлены задачи по созданию клеев и клеевых препрегов, отвечающих самым современным техническим требованиям предприятий авиационной промышленности и предназначенных для применения в конструкции новых изделий авиационной техники (ПАК ФА, МС-21, Super Jet-100). В рамках Федеральной целевой программы «Разработка, восстановление и организация производства стратегических, дефицитных и импортозамещающих материалов и малотоннажной химии для вооружения, военной и специальной техники на 2009–2011 годы и на период до 2015 года» поставлена задача по разработке составов и технологий изготовления полифункциональных клеев и связующих для клеевых препрегов на основе компонентов российского производства. Важнейшей задачей, стоящей перед лабораторией, является организация опытно-промышленного производства клеевых препрегов в рамках инвестиционного проекта по техническому перевооружению и реконструкции технологической базы по композиционным материалам, решение которой позволит полностью обеспечить потребность предприятий отрасли в клеевых препрегах.



Е.Н. Каблов
Генеральный директор
ФГУП «ВИАМ»,
академик РАН



Л.В. Чурсова (к.т.н.)
Заместитель
Генерального
директора

В настоящее время в состав лаборатории входят три сектора:

- 1. Пленочные и пастообразные высокопрочные клеи и клеевые препреги.*
- 2. Теплостойкие клеи, экологически чистые клеи на водной основе.*
- 3. Клеи для неметаллических материалов, липкие ленты.*



Коллектив лаборатории (2008 г.)

Поставленные задачи решаются кадровыми сотрудниками лаборатории при непосредственном участии молодых специалистов.



Начальник лаборатории Н.Ф. Лукина с молодыми специалистами лаборатории

Основные направления научной и производственной деятельности

Клеи на основе фенолформальдегидных олигомеров

Создание фенолформальдегидных клеев положило начало применению в авиационной промышленности синтетических клеев и технологических процессов склеивания.

Благодаря применению фенолформальдегидного клея ВИАМ Ф-9 была создана прочная броня для остекления самолетов. Было найдено решение двух взаимоисключающих задач: броня должна была быть пулестойкой и одновременно полностью прозрачной. Учеными был использован принцип «активной брони». Разработанная система состояла из высокотвердого экрана из особого стекла марки «Сталинит» и энергоемкой подложки из полиметилметакрилатного органического стекла. Первый элемент дробил сердечник бронированной пули, второй поглощал своей деформацией кинетическую энергию осколков. «Живучесть» остеклению обеспечивала его мозаичная структура из таблеток «Сталинита», склеенных клеем ВИАМ Ф-9. Созданная на этой основе прозрачная отечественная броня надежно защищала от бронебойных пуль с 50 м, в то время как на самолетах, поступавших по ленд-лизу, остекление фонарей выдерживало попадание пуль лишь с дистанции 800 м. За эту работу ее авторам Б.Ф. Ерофееву и М.М. Гудимову была присуждена Сталинская премия (1949 г.).

Переход к современным конструкциям реактивных многотоннажных воздушных лайнеров потребовал создания конструкционных клеев для склеивания агрегатов из алюминиевых сплавов. Такие клеи созданы на основе фенолформальдегидных олигомеров, модифицированных каучуками. Их отличительной особенностью является высокая эластичность в сочетании с высокой прочностью. В нашей стране это направление создания клеев впервые получило развитие в ВИАМ.

Высокопрочные фенолокаучуковые клеи помогли решить важнейшую народно-хозяйственную задачу – создать отечественные силовые клееные авиационные конструкции, в том числе сотовые, с высоким ресурсом и надежностью. ОКБ отрасли разработали принципиально новые клееные конструкции узлов и агрегатов, обладающие высокой эффективностью по сравнению с конструкциями, изготовленными традиционными методами сборки (клепкой, сваркой, пайкой и т.д.). Эти материалы внедрены в конструкцию вертолетной техники ОАО «МВЗ им. М.Л. Миля», ОАО «Камов» и используются в сильнонагруженных агрегатах, которыми являются лопасти несущих и рулевых винтов вертолетов. Для наиболее ответственного соединения обшивок хвостовых отсеков с лонжероном применяются клеи ВК-3, ВК-32-200, ВК-25, ВК-50 (с прочностью при сдвиге 20 – 30 МПа и эластичностью – удлинением пленки отвержденного клеевого слоя: 150–200%), которые воспринимают весь спектр знакопеременных нагрузок при эксплуатации лопасти. Наиболее

совершенным по свойствам из этого класса клеев является пленочный клей ВК-50, который – в отличие от всех остальных фенолокаучуковых клеев – отверждается без выделения побочных продуктов и не требует использования высокого давления при склеивании. Применение фенолокаучуковых клеев в конструкциях вертолетов и самолетов позволило снизить трудоемкость изготовления агрегатов в 4 – 6 раз, увеличить ресурс в 10 раз, повысить весовую эффективность в 2 – 3 раза. До настоящего времени фенолокаучуковый клей ВК-32-200 используется для изготовления сотовых конструкций самолетов ОАО «РСК МиГ».

Большой вклад в выполнение этих работ внесли Д.А. Кардашов, В.Н. Соловьева, З.Н. Колобова, Л.И. Аниховская, В.И. Бек, В.И. Власова-Головатая, Н.С. Жадова, Л.А. Чубковец, И.С. Мурина, М.Е. Киселева.

Следует отметить также слоистые клееные конструкции, представляющие собой тонкие листы металла, соединенные вместе с помощью клеев. Применение слоистых конструкций позволяет значительно повысить стойкость к усталостным нагрузкам и долговечность, обеспечивает минимальную концентрацию напряжений. Весьма эффективно применение склеивания взамен химического фрезерования при изготовлении деталей переменной толщины. Расход металла при этом снижается на 15–20%, производительность труда повышается в 1,5–2 раза, отпадает необходимость в создании ванн и очистных сооружений, уменьшается загрязненность окружающей среды, снижается расход электроэнергии при проведении процесса. Слоистые детали, выполненные способом склеивания, имеют минимальные напряжения в местах переменной толщины.

Клеи на основе эпоксидных олигомеров

В результате освоения отечественной химической отраслью промышленного производства эпоксидных смол в 50-х годах XX века в ВИАМ под научным руководством Д.А. Кардашова были начаты работы по исследованиям в области создания эпоксидных клеев конструкционного назначения. В бригаде В.И. Бек были разработаны первые отечественные эпоксидные клеи горячего отверждения – Эпоксид Пр (пруток) и Эпоксид П (порошок), предназначенные для склеивания металлов и неметаллических материалов (стекло, керамика, пластические массы, древесина и др.). Прочность клеевых соединений при склеивании дуралюмина клеем Эпоксид Пр составляла 12 МПа. Модифицирование эпоксидных композиций синтетическими каучуками позволило значительно повысить физико-механические характеристики клеевых соединений путем устранения хрупкости клея. Были разработаны эпоксикаучуковые клеи с прочностью при сдвиге до 20 МПа: ВК-17 (В.И. Бек, А.П. Петрова, Л.Е. Чернышова, Н.М. Селенова и др.), ВК-24 и ВК-24М (В.И. Бек, В.И. Власова-Головатая, Л.И. Бочарова, Л.А. Панфилова и др.).

Сотрудниками лаборатории под руководством В.П. Батизата и

Л.А. Дементьевой были продолжены теоретические и экспериментальные исследования прочностных и вязкоупругих свойств многокомпонентных полимерных композиций, на основании которых созданы научные принципы разработки высокопрочных и высокоэластичных пленочных клеев конструкционного назначения с различными прочностными, деформационными и технологическими свойствами, которые находятся на уровне свойств лучших мировых аналогов, а по отдельным показателям превосходят их. В результате впервые в отечественной промышленности были созданы конструкционные пленочные клеи ВК-31, ВК-41, ВК-46, ВК-36, ВК-51 и их модификации с прочностью при сдвиге до 40 МПа и равномерном отрыве до 100 МПа, работоспособные при температурах от -196 до +200°C, и клеевые препреги на основе клеевых матриц, которые обеспечили создание композиционных материалов клеевых с качественно новыми свойствами. Разработана экологически чистая технология получения пленочных клеев и организовано их промышленное производство. Разработаны и внедрены в серийное производство прогрессивные энергосберегающие экологически чистые технологические процессы изготовления новых типов конструкций с использованием пленочных клеев и клеевых препрегов.



Л.А. Дементьева
Лауреат Государственной
премии

Результаты данной работы позволили впервые, совместно с ОКБ, создать принципиально новые виды силовых клеевых конструкций с высоким ресурсом, длительным сроком эксплуатации, надежностью и весовой эффективностью для различных типов современных изделий гражданской и военной авиационной и космической техники.

Разработанные высокопрочные пленочные клеи и полимерные композиционные материалы на их основе применяются практически во всех типах современных отечественных самолетов, вертолетов и изделий авиакосмической и ракетной техники. По сравнению с традиционными авиационными конструкциями (заклепочными и сварными соединениями) клеевые конструкции имеют следующие существенные преимущества:

- высокая удельная прочность и весовая эффективность;



- стойкость к высоким акустическим и вибрационным нагрузкам;
- высокие аэродинамические характеристики благодаря гладкости клееных поверхностей;
- равномерность распределения напряжений по всей площади соединения элементов конструкции;
- высокая стойкость к усталостным нагрузкам и трещиностойкость клееных слоистых обшивок из тонколистовых материалов по сравнению с клепаными и монолитными, что реализовано при изготовлении панелей планера широкофюзеляжных самолетов Ил-86 и Ил-96-300.

Разработанные материалы и технологические процессы наиболее широко внедрены на предприятиях:

- ОАО «МВЗ им. М.Л. Миля» – все боевые и гражданские вертолеты (Ми-6, Ми-8, Ми-24, Ми-24В, Ми-26, Ми-26Т, Ми-28, Ми-34 и их модификации);
- ОАО «Камов» (вертолеты Ка-62, Ка-50, Ка-52, Ка-115, Ка-126 и др.);
- ФГУП «РСК МиГ» (МиГ-АТ, МиГ-23, МиГ-29, МиГ-31 и др.);
- ОАО «ОКБ Сухого» (Су-27, Су-29, Су-30МКИ и др.);
- ФГУП «ЭМЗ им. В.М. Мясищева» (М-103, М-17МР, М-111);
- ОАО «АК им. С.В. Ильюшина» (Ил-76, Ил-86, Ил-96-300, Ил-96МР, Ил-96МТ, Ил-114 и др.);
- АНТК им. А.Н. Туполева (Ту-204, Ту-334, Ту-154, Ту-160);
- АНТКУ им. О.К. Антонова (Ан-72, Ан-77, Ан-124 «Руслан», «Антей»);
- ОАО «РКК “Энергия” им. С.П. Королева» («Ямал» и др.);
- ФГУП «ГКНПЦ им. В.М. Хруничева» (международная космическая станция «Мир»).

Наибольший объем применения ($>3000 \text{ м}^2$) клееные конструкции занимают в самолетах Ил-86, Ил-96, Ан-124, Ту-204, что позволило снизить массу одного изделия на 1650 кг и уровень шума на 7 дБ.

За комплекс работ по созданию высокопрочных клеев и клеевых препрегов на их основе коллективу разработчиков – Р.Е. Шалину, В.Т. Минакову, В.П. Батизату (посмертно), Л.И. Аниховской, З.Н. Колобовой и Л.А. Дементьевой – в 2001 г. была присуждена Государственная премия Российской Федерации.



Коллектив разработчиков клеев и КМК в Кремле после вручения Государственной премии РФ, слева направо – В.А. Соловьев (ОАО «Воронежское акционерное самолетостроительное объединение»), А.И. Рожков (ОАО «ОКБ Сухого»), В.Т. Минаков, З.Н. Колобова, Л.А. Дементьева, Л.И. Аниховская, Р.Е.Шалин (ВИАМ)

За последнее время решена задача по разработке новых высокопрочных пленочных клеев взамен снятых с производства клеев ВК-41 и трудносгорающего ВК-46, не обеспеченных сырьем российского производства. Разработан пленочный клей ВК-41М, предназначенный для применения в сотовых конструкциях при температурах от -60 до 80°C и при воздействии различных агрессивных факторов. Взамен клея ВК-46 разработан пленочный трудносгорающий с пониженным дымовыделением клей ВК-46Б, который предназначен для склеивания сотовых конструкций из металлических и неметаллических материалов. Клеи ВК-41М и ВК-46Б полностью обеспечены отечественным сырьем (авторы Л.А. Дементьева, Л.И. Бочарова, А.А. Сереженков, Л.С. Барзова, Н.В. Виноградова).

Использование высокопрочных пленочных клеев для склеивания сотовых конструкций потребовало также создания вспенивающихся клеев. Разработаны вспенивающиеся клеи ВКВ-9, ВКВ-1, ВКВ-2, ВКВ-3, ВКВ-3Т, ВКВ-27, которые используют при изготовлении сотовых конструкций в сочетании с высокопрочными пленочными клеями. Они предназначены для соединения блоков сотового заполнителя между собой и с элементами каркаса.

Основной вклад в разработку вспенивающихся клеев внесли сотрудники лаборатории Т.А. Москалева, Г.Н. Углова, Л.С. Кладова и др.

Благодаря созданию высокопрочных пленочных и вспенивающихся клеев в ОКБ совместно с ВИАМ созданы новые типы клееных сотовых и слоистых конструкций, обладающих высокой удельной прочностью, весовой эффективностью, стойкостью к действию вибрационных и акустических нагрузок, повышенным ресурсом и надежностью.



На основе высокопрочных пленочных клеев созданы принципиально новые композиционные материалы – долгоживущие клеевые препреги марок КМКС (на стеклонаполнителях) и КМКУ (на угленаполнителях). Отличительной особенностью этих материалов является то, что они позволяют реализовать высокоэффективную технологию сборки клееных высоконагруженных сотовых (слоистых) и интегральных конструкций из неметаллических материалов одинарной и сложной кривизны, когда формование обшивок и приклеивание их к сотовому заполнителю проходит за один технологический цикл. Разработан ассортимент композиционных материалов клеевых (КМК) на основе наполнителей различной структуры с рабочей температурой от -130 до +175°C. Эти материалы обладают высокой прочностью и стойкостью к усталостным нагрузкам, обеспечивают снижение массы, повышение трещиностойкости, предела выносливости и длительной прочности, герметичности монолитных и сотовых клееных конструкций. По свойствам КМК находятся на уровне зарубежных аналогов. Композиционные материалы клеевые на основе клеевых препрегов успешно эксплуатируются в составе изделий ОАО «ОКБ «Сухого» (Су-30-МКИ, Су-27, приняты к внедрению в конструкции истребителя 5-го поколения), ЗАО «Гражданские самолеты Сухого» (Super Jet-100), ФГУП «ЭМЗ им. В.М. Мясищева» (М-101), ОАО «Казанский вертолетный завод» и многих других.

Во ФГУП «ВИАМ» разработана оригинальная технология получения клеевых препрегов, которой в России не владеет ни одно из предприятий, создана установка и организован опытный участок по изготовлению этих материалов. В связи с возрастающим объемом заявок на клеевые препреги Генеральным директором ФГУП «ВИАМ» Е.Н. Кабловым принято решение о техническом перевооружении опытно-производственного участка по изготовлению препрегов с выпуском до 500 тысяч м² в год, что позволит в полном объеме удовлетворить потребности предприятий отрасли в этих материалах.

С применением клеевых препрегов разработаны слоистые алюмополимерные материалы класса СИАЛ, важнейшим преимуществом которых перед алюминиевыми сплавами является высокая трещиностойкость, особенно – чрезвычайно высокое сопротивление росту трещины усталости, определяющее надежность и ресурс работы самолетных конструкций. Они имеют также пониженную плотность.

Работы в этом направлении выполняются совместно двумя лабораториями – клеев и алюминиевых сплавов. Наибольший вклад в развитие данного направления в лаборатории клеев внесли В.П. Батизат,

Л.И. Аниховская, Л.А. Дементьева, В.В. Гуляева, А.А. Сереженков, Б.В. Якушев, А.Б. Лямин и др.

На основе эпоксидных олигомеров разработан ряд конструкционных клеев холодного отверждения, предназначенных для склеивания металлов и различных неметаллических материалов в клеевых и комбинированных (клееклепанных, клеесварных, клеерезьбовых) соединениях.

Первым эпоксидным клеем холодного отверждения, разработанным в ВИАМ, был клей ВК-9 (1983 г.), который быстро нашел самое широкое применение в различных отраслях промышленности и сегодня является одним из самых востребованных клеев. Разработка клея проводилась Д.А. Кардашовым, Е.Ф. Исаевой, В.С. Рузинской.

Позже были разработаны клеи ВК-27, ВК-27М, отличающиеся повышенными характеристиками эластичности (В.П. Батизат, Г.Н. Углова, Л.С. Кладова, Р.К. Чучаева и другие).

В последние годы разработаны высокопрочные конструкционные клеи холодного отверждения: ВК-57 со свойствами клея ВК-27, не содержащий остродефицитный компонент, и ВК-67, обеспечивающий проведение ремонта в полевых условиях при температуре $\geq 12^\circ\text{C}$ и влажности более 75% по влажным поверхностям. Клеи обладают повышенной водо- и тропикостойкостью клеевых соединений и более высокими эластичностью и прочностными свойствами, что обеспечивает увеличение ресурса изделий (Г.Н. Углова, Л.С. Кладова, Л.И. Аниховская). Разработан термостойкий клей холодного отверждения ВК-58, рекомендованный для склеивания металлических и неметаллических материалов, работоспособный при температуре 500°C (кратковременно) и при 200°C в течение 20 ч, с обеспечением при температуре до 200°C газонепроницаемости клеевого шва (А.П. Петрова, Н.Ф. Лукина, Е.В. Котова).

Клеи для комбинированных соединений ВК-37 и ВК-39 (отверждение при 120°C в течение 3 ч) позволили создать клееклепанные и клеесварные конструкции с высокими ресурсом и надежностью. Работы выполнены Е.Ф. Исаевой, В.П. Батизатом, Г.Н. Угловой, Р.К. Чучаевой, Л.С. Кладовой и др.

В 90-х годах XX века получило развитие научное направление по созданию клеев со специальными свойствами для авиационного приборостроения. Разработаны электропроводящие клеи для крепления радиоэлементов, не содержащие драгметаллов (удельное объемное электрическое сопротивление $\rho_v = 10^{-4} - 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$); теплопроводные клеи, клеи с высокими электроизоляционными свойствами; вакуум-плотные клеи, обеспечивающие герметичность при вакууме 1,33 МПа.



Наибольший вклад в это направление внесли В.П. Батизат, В.С. Баранов, Г.Н. Углова, Р.К. Чучаева, Л.С. Кладова.

Работы в этом направлении продолжены. Взамен ранее созданного электропроводящего клея ВКП-6 разработан токопроводящий клей ВКП-11, не содержащий в своем составе остродефицитного импортного сырья и драгметаллов. Работы выполнены Н.Ф. Лукиной, И.А. Авдониной, И.Е. Петруниной.

Термостойкие клеи

С 50-х годов XX века в институте развивается научное направление по созданию термостойких клеев для рабочих температур от 300 до 1200°C. Первые термостойкие клеи, разработанные на основе элементоорганических соединений (ВС-10Т, ВКТ-2, ВКТ-3, ВК-2, ВК-15, ВК-15М, ВК-22), характеризуются длительной термостойкостью при температурах 300–350°C и выдерживают кратковременный нагрев до 1000–1200°C. Работы выполнены В.А. Кудишиной, З.Г. Ивановой, А.Б. Давыдовым, В.В. Ериной и др. Применение этих клеев позволило решить ряд конкретных задач при создании новых объектов авиационной и космической техники. Их выпуск освоен химической промышленностью.

Одним из направлений по разработке термостойких клеев является создание клеев на основе фенолокремнийорганических систем, кремнийорганическим компонентом которых является 4(метилфенилсилоксангидрокси)-титан. Этот принцип использован при создании клея ВК-18, отличающегося от других клеев на основе элементоорганических соединений повышенными прочностными характеристиками.

Специалистами института А.П. Петровой, Н.С. Роговым, Н.Ф. Лукиной, М.Г. Лурье, О.П. Вахлаковым и др. созданы карборансодержащие термостойкие клеи, в частности фенолокремнийорганические ВК-18М и ВК-49; полиуретановые ВК-29, ВК-20М, ВК-20МП, ВК-68, ВК-68М; поликарборансилоксановые ВК-48, ВК-48М, ВК-54 и ВК-54М; фенолокаучуковые ВК-26 и ВК-26П; полиэфиркарборановый ВК-64 и поликарборансилоксановый, модифицированный каучуком, – ВК-38. Некоторые из них обладают уникальными свойствами. Клеевые соединения, выполненные клеями ВК-18М и ВК-49, способны длительно работать при температурах до 500°C и имеют при этой температуре $\tau_v = 8\text{--}10$ МПа; клей ВК-20 выдерживает одновременное воздействие температуры 400°C и агрессивных сред; клей ВК-48М сочетает оптическую прозрачность с термостойкостью 450°C.

Однокомпонентные низковязкие клеи ВК-26, ВК-26М и ВК-38 могут использоваться без наполнителя и способны работать при температурах 250, 300 и 400°C соответственно, клеевые соединения выдерживают механическую обработку. Клеи применяются для изготовления магнитопроводов особо точных приборов.

Работы выполнены А.П. Петровой, О.П. Вахлаковым, М.Г. Лурье, Н.Ф. Лукиной, Л.Н. Тупицыной, и др.

Лаборатория внесла большой вклад в создание термостойких клеев и отработку технологии склеивания теплозащиты изделия «Буран». Достаточно сказать, что самая широкая гамма неметаллических материалов, вся плиточная и другая теплозащита крепились с применением клея-герметика Эластосил 137-175М, что обеспечило надежное крепление ТЗП в процессе полета многоразового корабля. Клеи использованы также для крепления термоуплотнений, датчиков различного назначения и других целей.

Работы выполнены А.П. Петровой, Л.П. Козловой, Н.Ф. Лукиной и др.



Космический корабль многоразового использования «Буран»



А.П. Петрова

Важным направлением исследований является создание термостойких клеев, не содержащих в своем составе органических растворителей. Клей ВК-69 по механической прочности не уступает органорастворимым аналогам и рекомендован для склеивания металлов и неметаллических материалов, температура эксплуатации которых от -60 до $+350^{\circ}\text{C}$. Клей применяется для приклеивания высокотемпературных тензорезисторов в изделиях спецтехники. Клей ТПК-2 применяется в качестве заливочного материала при изготовлении электроразъемов нагревательных приборов и в датчиках, работоспособных в диапазоне температур от -60 до $+1200^{\circ}\text{C}$.

Важным направлением также являются работы по разработке клеев для крепления датчиков различного назначения (А.П. Петрова, Н.Ф. Лукина, Л.П. Козлова и др).

Разработаны высокотермостойкие клеи, обеспечивающие работоспособность (длительно) тензорезисторов до температуры 500°C и термодатчиков до 1000°C , клеи-цементы, предназначенные для использования в высокотемпературной тензо- и термометрии. Клеи позволяют обеспечить исследование теплового и напряженного состояний при стендовых и летных испытаниях изделий авиационной, оборонной и ракетно-космической техники. Например, клей ВК-78 пригоден для приклеивания термодатчиков и монтажа оснастки к поверхности деталей из высокоплотной керамики (без специальной подготовки поверхности) и для склеивания неметаллических теплоизоляционных материалов из керамики на основе нитрида и карбида кремния, работающих при температурах до 1400 и 1600°C соответственно. Клей ВК-78 выдерживает циклические перепады температур от 20 до 1600°C (5 циклов). Клей-цемент ВКП-26Ц рекомендован для крепления высокотемпературных тензорезисторов на деталях ГТД для измерения динамических деформаций в интервале температур от 20 до 800°C . Клей-цемент ВКП-88Ц предназначается для приклеивания термопар при проведении испытаний в окислительной среде при циклическом воздействии температур от 20 до 1440°C , а также для приклеивания термопар при проведении испытаний в вакууме при нагреве до температуры 1600°C . Работы выполнены Н.Ф. Лукиной, А.П. Петровой, Е.В. Котовой, Н.С. Китаевой и др.

Клеи для склеивания неметаллических материалов

Работы по созданию клеев для склеивания неметаллических материалов начались в 50-х годах XX века и предусматривали разработку клеев для склеивания резин между собой и с металлами, клеев для интерьера и для склеивания стекол и теплоизоляционных материалов.

С применением резиновых клеев во время Великой Отечественной войны была решена проблема изготовления мягких топливных баков. В предвоенные годы для бензобаков применялись алюминиевые сплавы, но при попадании пуль, особенно под углом, пробоина имела размеры, превышающие во много раз диаметр пули. Бензин лился потоком и самолет мог просто остаться без горючего, а если пуля была зажигательной, то возникал пожар. Сначала были разработаны фибровые баки с протектором из резины, затем созданы и внедрены эластичные подвесные мягкие баки, состоящие из слоев ткани и резины, склеенных между собой. Для изготовления мягких топливных баков были разработаны специальные клеи, обладающие конфекционной липкостью, т.е. способностью обеспечивать прочность клеевых соединений сразу же после приведения склеиваемых поверхностей в контакт друг с другом. Такие жесткие требования к клеям связаны со сложностью конструкции баков, не позволяющей обеспечить постоянный длительный контакт поверхностей с помощью приложения давления. Один из клеев, использованных при производстве баков, – 4НБув применяют до сих пор. Полученная во время боевых действий пробоина уже в процессе ее образования затягивалась за счет быстрого набухания в бензине среднего резинового слоя стенки бака, что значительно снижало возможность возникновения пожара. Многие десятки тысяч пожаробезопасных баков были изготовлены по технологии, разработанной в ВИАМ, а первые 2000 баков были изготовлены непосредственно в ВИАМ. Эти разработки оказали значительную помощь авиации во время войны. В работе принимали участие А.В. Ермолаев, Н.Н. Смирнов, Л.М. Соколова.

Разработаны клеи ПУ-2, ВК-11 и ВК-45, которые рекомендованы для приклеивания декоративно-облицовочных материалов (Д.А. Кардашов, Н.И. Артамохин, В.В. Ерина, З.Н. Пехтерева, Р.И. Иванова и др.).

Большой объем работ осуществлен по разработке клеев для склеивания сырых резин с металлами в процессе вулканизации, вулканизированных резин с резинами, резинотканевыми материалами и металлами. Создано свыше 15 марок клеев (Кр-5-18, Кр-6-18, ВКР-15, ВКР-16, ВКР-17, ВКР-85, ВКР-60, ВКР-61, ВКР-90, ВКР-86 и др.). Прочность клеевых соединений определяется прочностью склеиваемых материалов – разрушение происходит по массиву резины.

Клеи нашли широкое применение при изготовлении резинометаллических деталей для всех современных гражданских и военных самолетов.

Наибольший вклад в развитие данных работ внесли А.В. Ермолаев, Н.Н. Смирнов, Р.И. Иванова, О.Л. Васильченко, Т.Ю. Тюменева, Э.И. Шаромова, А.В. Гущина и др.

В последнее время остро встал вопрос по разработке клеев, не содержащих в своем составе остродефицитных компонентов, производство которых в связи с развалом Советского Союза осталось за рубежом.

Взамен клея ВКР-17 был разработан и паспортизован клей холодного отверждения ВКР-61. Клеевые соединения стойки к воздействию различных факторов и сред и работоспособны в интервале температур от -50 до $+150^{\circ}\text{C}$ – длительно и до $+200^{\circ}\text{C}$ – кратковременно. Рецептúra клея ВКР-61 разработана полностью на отечественном сырье.

Для склеивания резин на основе кремнийорганических каучуков с органическими стеклами разработан клей холодного отверждения ВКР-86, обеспечивающий работоспособность клеевых соединений в интервале температур от -60 до $+100^{\circ}\text{C}$.



Р.И. Иванова

Разработана клеевая система: клей ВКР-90, предназначенный для склеивания с металлами в процессе вулканизации резин на основе СКН, и подсло́й, повышающий его адгезию к резинам на основе неполярных каучуков (СКИ, СКИ+СКД и др.). Клеевая система обеспечивает прочностные характеристики клеевых резинометаллических соединений на уровне характеристик системы «Хемосил» фирмы «Хенкель» и превышает свойства отечественного аналога – клея ВКР-85. В разработке клеев принимали участие: Л.И. Аниховская, Р.И. Иванова, О.Л. Васильченко, Т.Ю. Тюменева, Э.И. Шаромова, А.В. Гущина.

Направление «Пленочные клеи с постоянной липкостью, самоклеящиеся материалы» включает разработки:

- односторонних и двухсторонних липких лент на различных основах (бумаге, нетканом материале), которые используются для крепления ковровых покрытий, декоративно-отделочных материалов, теплозвукоизоляции, для временного ремонта обшивок панели;
- переносных слоев липкости (без основы), которые используются: для дублирования тканей, бумаги, картона между собой и для приклеивания их к металлу, дереву; для изготовления липких этикеток, декоративных противозумных материалов; для технологической сборки сыпучих тканей;
- самоклеящихся материалов.

Разработано принципиально новое для отечественной практики самоклеящееся пленочное многолистное покрытие на липкой клеевой основе марки ЗППК (толщина – не более 120 мкм), сочетающее защитные и декоративные свойства, работоспособное в интервале температур от -60 до $+80^{\circ}\text{C}$. Покрытие ЗППК обеспечивает защиту поврежденных участков ЛПК при ремонте внешней поверхности планера самолета, в том числе в полевых условиях. Материал прошел опробование при эксплуатации самолета Ил-96-300 в различных климатических зонах: продолжительность налета во всепогодных условиях составила более 3000 ч и 400 взлетов-посадок. Изменений ЗППК не выявлено.

Применение самоклеящихся материалов снижает трудоемкость ремонтных работ в 8–10 раз, обеспечивая надежность эксплуатации ремонтных накладок и высокое сопротивление статическому сдвигу.

Наибольший вклад в развитие этих работ внесли Н.С. Жадова, Л.И. Аниховская, Р.И. Иванова, Т.Ю. Тюменева и др.

Технологические работы

В 70–80-е годы XX века в лаборатории работала бригада, которая выполняла большой объем работ по отработке технологии склеивания применительно к конкретным производственным условиям, а также решала комплекс вопросов, связанных с эксплуатационной надежностью клееных конструкций. Специалисты этой бригады внесли огромный вклад в отработку технологии склеивания сотовых, слоистых, клееклепанных и клеесварных конструкций, подготовки поверхностей различных материалов под склеивание. Значительное внимание уделялось вопросам климатического старения клеевых соединений в условиях эксплуатации. Результаты этих работ позволили дополнить



З.Н. Колобова
Лауреат Государственной
премии РФ

паспортные характеристики клеев, отработать технологию их применения в условиях серийного производства, а также повысить надежность эксплуатации клееных конструкций и увеличить их ресурс. В разное время над этими проблемами работали И.И. Михалев, Л.Л. Фейгин, З.Г. Бахмутова, Е.А. Князьева, К.И. Сычевая, З.Н. Колобова, В.И. Бек, Л.А. Дементьева, Е.Ф. Моргунова, Л.П. Козлова, Т.Н. Зендрикова, А.А. Быстрова, Г.С. Юрченко.

Большое значение имеют работы по подготовке поверхностей под склеивание. Совместно с лабораторией «Коррозия и защита металлов» были разработаны процессы анодирования алюминиевых сплавов в хромовой и фосфорной кислотах под склеивание, созданы адгезионные грунты СПМ-102, СПМ-21, СПМ-20, ЭП-0234, содержащие в своем составе ингибиторы коррозии. От существующих лакокрасочных грунтов адгезионный грунт отличается тем, что применяется в виде очень тонкого подслоя, толщина которого не должна превышать 2–3 мкм. Грунт, нанесенный на поверхность сразу после анодирования, обеспечивает высокую адгезионную связь клея со склеиваемой поверхностью, что повышает водо- и тропикостойкость клеевых соединений и, следовательно, ресурс клееного агрегата.

Наибольший вклад в эту работу от лаборатории клеев внесли З.Н. Колобова, В.В. Гуляева, В.П. Батизат и др.

Большим достижением является разработка совместно с лабораторией «Коррозия и защита металлов» нового способа подготовки поверхности алюминиевых сплавов под склеивание, заключающегося в использовании местной химической обработки различными составами и местного анодного оксидирования в электролите на основе фосфорной кислоты с использованием растворов и паст. Эти способы успешно используются при ремонте изделий авиакосмической техники с применением клеев и композиционных клеевых материалов. Работы выполнены С.А. Каримовой, Т.Г. Павловской, З.Н. Колобовой, Л.И. Аниховской и др.

Комплекс технологических работ, выполненных в лаборатории, позволил довести интересные разработки в области клеев и технологии склеивания до широкого внедрения в авиационную и другие отрасли промышленности.

Применение клеев и клеевых препрегов в изделиях авиакосмической техники

Клееные конструкции использованы в следующих агрегатах: панелях фюзеляжа, обтекателях, элеронах, закрылках, рулях, воздухозаборнике, створках мотогондол, хвостовых отсеках, в том числе лопастей несущего и рулевого винтов вертолета и др.

Самолеты серии Су разработки ОАО «ОКБ «Сухого»



Су-49



Су-30МКИ

Вертолеты



Ми-28Н
разработки ОАО «МВЗ им. М.Л. Миля»



АНСАТ
разработки АО «КВЗ»

Самолеты серии Ил разработки ОАО «Ил»



Ил-86



Ил-96-300

Самолеты разработки ОАО «ТАНТК им. Г.М. Бериева»



Бе-103



Бе-200

Самолеты серии МиГ разработки РСК «МиГ»



МиГ-29



МиГ-31

Самолеты серии Ту разработки ОАО «Туполев»



Ту-144



Ту-204

Среднемагистральный самолет разработки ЗАО «Гражданские самолеты Сухого»



Super Jet-100

Изделия ракетно-космической техники



*Спутник связи «Ямал»
разработки ОАО «РКК «Энергия»»*



*МКС «Мир» разработки
ФГУП «ГКНПЦ им. В.М. Хруничева»*

Подготовка научных кадров и издательская деятельность

Подготовлены научные кадры:

- Доктора технических наук – 2 (Д.А. Кардашов, А.П. Петрова)
- Кандидаты технических наук – 14 (З.Г. Иванова, В.А. Кудишина, В.И. Бек, А.Б. Давыдов, В.П. Батизат, Г.Л. Попова, Л.И. Аниховская, М.Г. Лурье, Р.И. Иванова, Н.С. Гаврюшенко, Т.А. Москалева, Н.С. Рогов, Н.Ф. Лукина, О.П. Вахлаков).

Разработано паспортов на созданные материалы – 118.

Получено авторских свидетельств СССР и патентов – более 300.

Изданы фундаментальные труды:

- Кардашов Д.А. Конструкционные клеи. – М.: Химия, 1980, 288 с.
- Кардашов Д.А. Синтетические клеи. – М.: Химия, 1965, 494 с.
- Кардашов Д.А. Синтетические клеи. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1968, 592 с.
- Кардашов Д.А. Синтетические клеи. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1976, 497 с.
- Кардашов Д.А. Эпоксидные клеи. – М.: Химия, 1973, 192 с.
- Кардашов Д.А., Петрова А.П. Полимерные клеи. – М.: Химия, 1983, 256 с.
- Кейгл Ч. Клеевые соединения / Пер. с англ. В.П. Батизата, И.М. Заманского, А.П. Петровой. – М.: Мир, 1971, 296 с.
- Петрова А.П. Клеящие материалы. Справочник / Под ред. акад. РАН Е.Н. Каблова, д.т.н. С.В. Резниченко. – М.: ЗАО «Редакция журнала “Каучук и резина”» (К и Р), 2002, 196 с.
- Петрова А.П. Термостойкие клеи. – М.: Химия, 1977, 200 с.
- Петрова А.П., Кондрашов Э.К., Коротков Ю.В. Склеивание инструмента и оснастки в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1985, 184 с.
- Петрова А.П., Семенычева И.В. Поведение клеевых соединений при воздействии эксплуатационных факторов. – М.: ВИАМ, 1980, 54 с.
- Шилдз Дж. Клеящие материалы: Справочник / Пер. с англ. В.П. Батизата, И.М. Заманского, А.П. Петровой. – М.: Машиностроение, 1980, 368 с.
- Капелюшник И.И., Михалев И.И., Эйдельман Б.Д. Технология склеивания деталей в самолетостроении. – М.: Машиностроение, 1972, 224 с.



Фундаментальные труды сотрудников лаборатории



Авторский коллектив

А.П. Петрова, Н.Ф. Лукина,
О.А. Стародубцева, Л.А. Дементьева
(под общей редакцией академика РАН Е.Н. Каблова)

Оформление

Ю.Н. Уманцева, А.К. Кривушин,
Е.А. Цилин, С.А. Молуков

Редакционная группа

Л.Д. Гренадер, Е.А. Аграфенина,
И.С. Туманова, М.В. Савина,
А.А. Безрукова

*Федеральное
государственное
унитарное предприятие*

*«Всероссийский
научно-исследовательский институт
авиационных материалов»*

*Государственный научный центр Российской Федерации
(ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ)*

105005, Москва, ул. Радио, 17

*Телефоны: (499)261-8677, (499)263-8725
Факс: (499)267-86-09*

*E-mail: admin@viam.ru
Internet: www.viam.ru*