



# Герметики для авиационной промышленности

А.А. Донской

Сентябрь 2004

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 «Клеи. Герметики. Технологии», № 2, 2005 г.

Электронная версия доступна по адресу: [www.viam.ru/public](http://www.viam.ru/public)

## Герметики для авиационной промышленности

А.А. Донской

*Всероссийский институт авиационных материалов*

*В статье рассмотрены основные этапы в развитии герметиков для авиационной промышленности. Представлены основные группы герметиков, даны их характеристики. Приведены марки новых полисульфидных и кремнийорганических герметиков, показаны их технологические и эксплуатационные преимущества перед ранее разработанными. Для кремнийорганических герметиков дана их условная классификация.*

Герметики являются детищем металлического самолетостроения.

Во время «деревянной» авиации в качестве средств герметизации применялась широкая гамма разнообразных материалов – от металла до картона включительно. О первом и единственном герметике упоминается только в третьем издании «Справочника ВИАМ» 1951 г. в разделе «Уплотнительные материалы» среди двух десятков смазок, паст, лент, набивок и прочих уплотнительных материалов. При этом герметик приведен без присвоения ему определенной марки, но как два варианта уплотняющей композиции, изготавливавшейся по ТУ НКПП 1942: один на касторовом масле, другой на щелочной основе (и даже в этом случае без номера).

В начале 50-х гг. прошлого века ведущими самолетостроительными КБ перед ВИАМ была поставлена проблема, связанная с необходимостью герметизации не отдельных узлов или соединений, а непосредственно самолетной конструкции. Для ее решения потребовалось создание новых специфических материалов, получивших название герметиков.

Герметиками были названы материалы, обеспечивающие непроницаемость конструкций в летательных аппаратах. В отличие от других средств герметизации их используют не в виде готовых деталей или изделий, а распределяют путем простых технологических операций в зонах швов с

последующей вулканизацией, после чего они способны обеспечивать герметичность в условиях перепада давлений, переменных температур и нагрузений. В политехническом словаре термином «герметизация» обозначают «обеспечение непроницаемости стенок и соединений в аппаратах, машинах, сооружениях или емкостях для жидкостей и газов» [1].

В развитии проблемы разработок герметиков можно выделить несколько основных этапов: первый, связанный с развитием высотной авиации, обусловивший необходимость разработки герметиков. Второй, когда возникла задача создания топливных отсеков взамен резиновых баков. В связи с этим появилась необходимость разработки нового вида герметиков, обладающих, в частности, стойкостью к воздействию топливных сред. Третий, связанный с созданием сверхзвуковых и космических самолетов, выдвинувший новое требование – повышение морозо- и теплостойкости. С тех пор дальнейшее увеличение теплостойкости является основным требованием при создании новых герметизирующих материалов. Четвертый, возникший после распада Советского Союза. Многие компоненты, производившиеся не в Российской Федерации, оказались за рубежом. Возникла необходимость их замены отечественными ингредиентами [2].

По внешнему виду, физическому состоянию и способу применения герметики подразделяются на следующие основные группы [3]:

1. Невысыхающие пластичные замазки.
2. Высыхающие или вулканизирующиеся при повышенной температуре замазки.
3. Самовулканизирующиеся пасты.
4. Клеевые герметики.
5. Компаунды.
6. Полимеризующиеся герметики.
7. Мастики.
8. Герметики в виде подвижных жидкостей.

### ***Невысыхающие пластичные замазки***

Невысыхающие пластичные замазки являются первыми специальными герметиками, применявшимися в нашей и американской технике для создания герметичных кабин высотных самолетов в послевоенный период. В качестве примера материалов такого рода можно привести хорошо известные в нашей промышленности герметики: замазка тиоколовая и замазка У-20А.

Недостатками этих герметиков, ограничивающими область их применения, являются неустойчивая герметичность и ограниченная теплостойкость (до +60°C), что связано с текучестью под влиянием сжатия, перепада давлений и особенно повышения температуры.

В настоящее время герметики этого типа не имеют широкого применения и используются для герметизации только таких агрегатов, которые не предназначены для эксплуатации при повышенных температурах и по отношению к которым не предъявляется требований высокой герметичности.

### ***Высыхающие или вулканизирующиеся замазки***

Замазки этого типа обладают способностью превращаться в резиноподобные материалы в результате испарения растворителя или процесса вулканизации, протекающего при повышенной температуре. При этом происходит резкое уменьшение пластичности материалов, что позволяет использовать эти материалы в более широком интервале температур. В качестве примера высыхающих замазок можно привести английский герметик Бостик №1790, примером отечественных вулканизирующихся герметиков является ТГ-18, который переходит в резиноподобное состояние после термообработки при температуре 150–250°C.

### ***Самовулканизирующиеся пасты***

Отличительной особенностью этих герметиков является их способность переходить под влиянием вулканизирующих агентов при комнатных температурах из пастообразного в эластичное состояние, не давая при этом усадки. Это свойство, наряду со стойкостью к топливу и устойчивостью к

различным факторам старения, сделало их весьма ценными герметизирующими материалами и обусловило их широкое распространение.

К самовулканизирующимся или вулканизирующимся относят герметики на основе полисульфидных и кремнийорганических олигомеров и фторорганических каучуков.

Наибольшее распространение в различных отраслях народного хозяйства получили герметики на основе полисульфидных олигомеров, или иначе – жидких тиоколов (тиокол – торговое название полисульфидных олигомеров), благодаря ценным качествам, присущим олигомеру. За 50 лет разработано большое количество таких герметиков, и в целом они удовлетворяют предъявляемым в авиационной промышленности требованиям. С развитием авиационной техники при разработке новых материалов улучшают отдельные характеристики, в первую очередь адгезионные, технологические свойства, а также грибо- и тропикостойкость.

Одним из наиболее ответственных мест, где герметик работает в течение длительного срока эксплуатации самолета, является топливный кессон-бак. Наибольшее распространение для этих целей получила система, состоящая из герметиков У-30МЭС-5 и УТ-32 и применяющаяся в некоторых случаях до сих пор, т. е. прекрасные эксплуатационные свойства этих герметиков подтверждены многолетним опытом эксплуатации.

Недостатком герметика У-30МЭС-5 являлись адгезионные свойства, не отвечающие современным требованиям. Поэтому Н.Б. Барановской (главным химиком СССР по проблемам герметизации) с сотрудниками была осуществлена модификация этого герметика. Авторы стремились изменить рецептуру в минимальной степени с целью сохранения ценных эксплуатационных свойств материала. Этого удалось достичь применением нового ускорителя вулканизации  $\gamma$ -аминопропилтриэтоксилоксана, который позволил также обеспечить высокую стабильную адгезию без подслоя к широкому ассортименту металлических и неметаллических материалов. Важно то, что адгезия сохраняется на высоком уровне после длительной

выдержки в воде, в условиях повышенной влажности и в камере тропического климата. Технологические, физико-механические характеристики, интервал рабочих температур модифицированного герметика У-30МЭС-5М не отличаются от свойств герметика У-30МЭС-5.

Как правило, в кессон-баках применяют сочетание послойного нанесения черного и светлого герметиков, например У-30МЭС-5 с УТ-32. С целью улучшения технологии нанесения взамен трехкомпонентного УТ-32 разработан двухкомпонентный герметик ВТК-1-29 вязкотекучей консистенции с минимальным содержанием растворителя. По свойствам герметик ВТК-1-29 близок к герметику УТ-32, хорошо сочетается с полисульфидными герметиками при послойном нанесении в кессон-баках.

В ряде случаев требуется полисульфидный герметик, обладающий более высокой условной прочностью при разрыве и быстрой вулканизуемостью при сохранении адгезионных характеристик. Такой материал был разработан, ему присвоена марка ВЭР-1. За двое суток он набирает прочность до 2,5–3,5 МПа и адгезию к металлическим и неметаллическим материалам не менее 3 кН/м с когезионным характером отслаивания.

В тех случаях, когда осуществляется герметизация малогабаритных деталей и расход герметика невелик, предпочтение отдается однокомпонентному герметику ВИТО-1, не уступающему по физико-механическим свойствам двух- и трехкомпонентным полисульфидным герметикам. Герметик поставляется в тубах. При выдавливании, при контакте с атмосферой с поверхности начинается вулканизация герметика, которая в дальнейшем идет вглубь слоя.

Дальнейшее улучшение свойств полисульфидных герметиков связывается с введением в их состав фуллеренов. Предварительные испытания опытных композиций показали, что прочностные и адгезионные показатели при введении фуллеренов увеличиваются более чем вдвое.

В значительно более широком температурном интервале – 120...350–400°С работоспособны герметики на основе кремнийорганических эластомеров.



Для них характерны устойчивость к действию озона, света, других факторов старения, гидрофобность, химическая и биологическая инертность, грибоустойкость, высокие диэлектрические свойства, отсутствие растворителей в рецептуре в сочетании с простотой технологии применения. Разработка таких герметиков оказалась возможной в результате создания под руководством Н.Б. Барановской и А.А. Берлина принципиально нового метода вулканизации без применения нагрева путем каталитической поликонденсации полиорганосилоксанов с полифункциональными силанами.

Существует следующая условная классификация кремнийорганических герметиков [4]:

- общего назначения;
- с повышенной тепломорозостойкостью;
- с улучшенными технологическими свойствами;
- малой плотностью;
- компаунды для приборной техники.

К этому перечню целесообразно добавить топливостойкие герметики.

Группу герметиков общего назначения составляют ВИКСИНТЫ (обозначение аббревиатуры: ВИ – ВИАМ, КСИ – композиции силиконовые, НТ – не требующие термообработки) У-1-18, У-4-21 и У-2-28. Первые два герметика – двухкомпонентные – предназначены для поверхностной герметизации конструкций для работы в диапазоне  $-60...+300^{\circ}\text{C}$ . Для них характерен достаточно высокий уровень физико-химических свойств и теплостойкости.

Уникальный трехкомпонентный герметик ВИКСИНТ У-2-28 предназначен для внутришовной герметизации конструкций, работоспособен в таком же диапазоне температур.

Адгезия перечисленных материалов к герметизируемым поверхностям обеспечивается через подслои П-11; П-9 + П-11; П-15.

Последние разработки института – герметики общего назначения ВИКСИНТЫ У-20-92 серо-голубого цвета и У-20-99 белого цвета. Эти

материалы наносят на защищаемые поверхности без адгезионных подслоев. Кроме того, в их составе нет токсичных компонентов, имеющих в ранних разработках.

Нижний предел морозостойкости герметиков ВИКСИНТ У-1-18, У-2-28 и У-4-21 определен как  $-60^{\circ}\text{C}$ , несмотря на то, что температура стеклования диметилполисилоксана, основы герметиков, составляет  $122^{\circ}\text{C}$ . Каучук имеет регулярную структуру, в результате чего при температуре ниже  $-50^{\circ}\text{C}$  развивается кристаллизация и, соответственно, резко снижается удлинение. Нарушение регулярности структуры за счет введения больших по размеру (по сравнению с метильными) даже незначительных количеств (8% мас.) фенильных радикалов приводит к нарушению регулярности, благодаря чему кристаллизация каучука исчезает и появляется возможность реализации эластических свойств до температуры стеклования. На основе диметилметилфенилполисилоксанового каучука разработаны герметики УФ-7-21 и УФ-7-21Б с повышенной морозостойкостью до  $-120^{\circ}\text{C}$ .

Введение больших количеств фенильных звеньев в каучук позволяет существенно повысить его теплостойкость и материалов на его основе. Такими герметиками являются УФ-11-21, работоспособный в воздушной среде при  $350^{\circ}\text{C}$ , 120 ч, при  $400^{\circ}\text{C}$ , 5 ч, и УФ-12ВТ, работоспособный в замкнутых объемах без доступа воздуха при 350 и  $400^{\circ}\text{C}$ , 20 ч.

Новейшим достижением в разработке низкомолекулярных теплостойких каучуков явился синтез каучука «Термосил» (ГУП НИИСК, г. Санкт-Петербург), состоящего из эластичных и жестких кремнийорганических блоков. Опытные образцы герметика на этой основе выдерживают воздействие  $450\text{--}500^{\circ}\text{C}$ .

Улучшенными технологическими свойствами обладает однокомпонентный герметик ВГО-1, расфасованный в алюминиевые тубы. При выдавливании, благодаря взаимодействию с влагой воздуха, герметик быстро вулканизуется с поверхности (через 10–30 мин) и при толщине слоя 3 мм вулканизация заканчивается через 24 ч.

Улучшенными технологическими свойствами обладают и двухкомпонентные герметики ВИАТ и ВИАТ-1. Самостоятельную адгезию к герметизируемым поверхностям обеспечивают вулканизирующие системы полифункциональных олигомерных производных титана с силзановыми и алкоксититанатными группами.

Подробно механизм вулканизации кремнийорганических герметиков с различными системами структурирующих агентов описан в статье [5].

К группе герметиков с малой плотностью относятся пеногерметики типа ВПГ. Из них наибольший интерес представляет материал марки ВПГ-300М, работоспособный в интервале температур 110–300°C, с плотностью 600–750 кг/м<sup>3</sup>, имеющий диэлектрическую проницаемость при частоте 10<sup>6</sup> Гц – 3,12; тангенс угла диэлектрических потерь при той же частоте  $2,35 \cdot 10^{-3}$ , удельное объемное сопротивление  $43 \cdot 10^{11}$  Ом·см. После смешения компонентов пеногерметики способны вспениваться и вулканизоваться без применения нагрева с образованием мелкопористой структуры. В процессе вулканизации объем увеличивается в 2 раза. Их используют в качестве заливочных материалов в приборной технике.

Для радиоэлектронной техники разработан ряд заливочных компаундов: ВИКСИНТы К-68, ПК-68, ПКФ-68, У-12-68, КТ-73. Для всех компаундов характерны высокая технологичность, инертность к цветным металлам, адгезионная способность. Материалы отличаются температурным интервалом работоспособности, физико-механическими и диэлектрическими свойствами. Из них выделяется компаунд КТ-73, имеющий повышенную теплопроводность и более высокие диэлектрические свойства, благодаря чему он рекомендуется для защиты высоковольтных изделий и работоспособен при температурах от -60 до 300°C.

Фторсилоксановые герметики, как и фторорганические, сочетают в себе высокую теплостойкость и стойкость к воздействию нефтяных топлив, синтетических рабочих жидкостей и воды. Однако по физико-механическим, технологическим и низкотемпературным свойствам они существенно

различаются.

Во фторорганических каучуках высока степень фторирования (до 65%), в связи с чем межмолекулярное взаимодействие весьма сильное. Поэтому условная прочность при разрыве герметиков на их основе выше, чем фторсилоксановых. Однако такое взаимодействие отрицательно сказывается на низкотемпературных свойствах – эластичность сохраняется приблизительно до  $-30^{\circ}\text{C}$ . Высокая вязкость даже низкомолекулярных каучуков требует разбавления их органическими растворителями. Для вулканизации требуется либо подогрев, либо дополнительная выдержка при комнатной температуре (более 13 сут).

Фторсилоксаны содержат значительно меньшее количество фтора (37%), поэтому они сохраняют высокую гибкость цепи, присущую кремнийорганическим эластомерам, и, соответственно, достаточную морозостойкость. Вязкотекучая консистенция фторсилоксановых каучуков позволила разработать герметики, наносимые на герметизируемые поверхности обычными способами – шпателем или кистью без применения растворителей. Разработаны герметики как для поверхностной (ВГФ-4-10, ВГФ-7-10), так и для внутришовной герметизации (ВГФ-4-8). Однако в связи с тем, что в Российской Федерации было прекращено производство мономеров для синтеза фторсилоксановых каучуков, мономеры закупают за рубежом. Это явилось причиной резкого снижения свойств герметиков. В связи с этим в НИИСК был осуществлен синтез принципиально нового вида фторсилоксана на основе каучука лестничной структуры. На его основе разработан новый герметик ВГМ-4, обладающий по сравнению со своими предшественниками значительно более высокой теплостойкостью.

Полимеризующиеся или анаэробные герметики – жидкие вещества марок УниTERM и Анатерм – полимеризующиеся соединения акрилового ряда с высокой проникающей способностью, отверждающиеся при  $15\text{--}20^{\circ}\text{C}$  при отсутствии кислорода. Работоспособны от  $-60$  до  $150^{\circ}\text{C}$ .

В редких случаях применяют в авиационной промышленности мастики и

герметики в виде подвижных жидкостей. Мастики представляют собой высоковязкие резиноподобные герметики после затвердевания. Подвижные жидкости наносят разбрызгиванием или окунанием.

Также иногда применяют клеевые герметики для внутришовной герметизации. Их действие основано на склейке металлического шва с одновременным обеспечением его непроницаемости.

Однако в подавляющем большинстве случаев для герметизации используют приведенные выше материалы на основе полисульфидных и кремнийорганических каучуков, вулканизирующиеся без применения нагрева. Следует отметить, что объем выпуска этих герметиков в последние годы неуклонно растет.

*(Продолжение следует)*

#### **Список литературы:**

1. Политехнический словарь: 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Советская энциклопедия, 1989. 656 с.
2. Барановская Н.Б. Проблема герметизации и герметизирующие материалы // Сборник ВИАМ «Герметизация самолетных конструкций», 1959. С. 5–11.
3. Пинчук Л.С., Неверов А.С. Герметизирующие полимерные материалы. – М.: Машиностроение, 1995. С. 55–65.
4. Савенкова А.В., Тихонова И.В., Требукова Е.А. Тепломорозостойкие герметики // Сборник ВИАМ «Авиационные материалы на рубеже XX–XXI веков», 1994. С. 432–439.
5. Минаков В.Т., Савенкова А.В., Донской А.А. Кремнийорганические герметики. // Russian Polymer News. 2003. P. 37–43.