

Применение структурно-модифицированного фторопласта «Рафлон» при изготовлении сверхширокополосных антенных обтекателей

Любовь Иванова, Азамат Беданоков, Бетал Бештоев, Сергей Хатипов (Москва)

В статье приведены результаты исследования радиотехнических характеристик сверхширокополосной антенны с обтекателем из структурно-модифицированного фторопласта «Рафлон» – уникального радиопрозрачного диэлектрика с повышенной прочностью и термостойкостью.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из примеров успешного воплощения новаторских идей в области материаловедения является создание и освоение опытно-промышленного производства материала нового поколения, по совокупности эксплуатационных характеристик не имеющего аналогов в мире, – радиационной модификации в расплаве хорошо известного фторопласта-4 (Ф-4), выпускаемого под торговой маркой «Рафлон», или фторопласт Ф-4РМ.

Разработанная технология позволяет вывести свойства обычного фторопласта на уровень, не достижимый сегодня ни одним другим известным способом (см. рисунок). Причина описанных эффектов – кардинальное изменение надмолекулярной структуры, переход от ламелярной к сферолитной структуре кристаллитов и снижение пористости. Молекулярные механизмы (радиационно-

индуцированная деструкция полимерных цепей) приводят к общему снижению вязкости полимерной среды, что, в свою очередь, создаёт возможность последующей кристаллизации вблизи пор, выступающих в качестве зародышей сферолитов. Ни введение наполнителей, ни сополимеризация не приводят к подобным изменениям. Практическая значимость полученного результата пока недостаточно осознана. Однако в тех случаях, когда новый материал был применён в составе реально работающих изделий, рабочий ресурс узла увеличивался в 10 и более раз!

Перспективными областями применения сверхизносостойкого ПТФЭ также являются регулирующая, обратная, запорная, распределительная, смесительная и другая арматура для оборудования теплосетей, нефте- и газопроводов. Речь идёт о компрессорах, насосах, шаровых кранах, за-

движках, затворах и клапанах. Решение проблемы трения и износа в перечисленных изделиях имеет колоссальный экономический и экологический эффект.

Радиационные модификации ПТФЭ прошли испытания и уже применяются в ограниченном количестве в специзделиях с повышенным ресурсом (в шаровых кранах, клапанах, насосах и гидроцилиндрах). Благодаря повышенной радиационной стойкости, материал применён в ряде космических проектов («Электро», «Фобос-Грунт», «Спектр-УФ», «Фрегат», МЦА) в качестве деталей электротехнического, антифрикционного и уплотнительного назначения.

ПРИМЕНЕНИЕ Ф-4РМ В АВИАЦИИ

Использование модифицированного фторопласта Ф-4РМ как радиопрозрачного материала для изготовления антенных обтекателей позволило обеспечить минимально возможную диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь при одновременном обеспечении требований к механическим свойствам.

Антенный обтекатель предназначен для защиты сверхширокополосных антенн, работающих в диапазоне ультравысоких (УВЧ) и сверхвысоких (СВЧ) частот от влияния климатических факторов, механических, термических и эрозионных воздействий в жёстких условиях эксплуатации, например при высоких скоростях полёта летательных аппаратов. Это предъявляет особые требования к конструкции обтекателя, особенно к толщине стенки, и к радиофизическим и физико-механическим свойствам материалов, из которых он изготовлен. Повышение механической прочности, термостойкости, эрозионной устойчивости противоречит интересам радиотехники, приводя к ухудшению радиопрозрачности и искажению диаграммы направленности антенны.

Основные эффекты, достигаемые радиационной модификацией фторопласта-4	
Фторопласт-4	Ф-4РМ (Рафлон)
Модуль упругости при растяжении	Возрастет в 1,5–2 раза (с 250 до 400–500 МПа)
Модуль упругости при сжатии	Возрастет в 1,5–2 раза (с 300 до 600–700 МПа)
Деформация при сжатии при 28 МПа за 24 часа	Снижается в 3 раза (с 30 до 10%)
Доля обратимой части деформации при 28 МПа за 24 часа	Увеличивается в 10 раз
Допустимая рабочая температура при нагрузках 1–10 МПа и скоростях скольжения (0–2 м/с)	Увеличивается с 50–100°C до 200°C
Скорость ползучести при сжатии при 25 МПа	Снижается в 60 раз
Интенсивность износа (5 МПа, 1 м/с, сталь Ra=0,15)	Снижается в 10 000 раз

Сравнение свойств фторопласта-4 и нового материала – фторопласта Ф-4РМ

Основным требованием, предъявляемым к обтекателю с точки зрения минимизации влияния на радиотехнические характеристики (РТХ) защищаемой антенны, является достижение максимально возможного коэффициента прохождения (КП) электромагнитных волн через его стенку. Следует отметить, что на изменение исходных характеристик системы антенна – обтекатель влияет не только обтекатель (с его фазово-амплитудными характеристиками), но и сама антенна, которая также имеет свои фазово-амплитудные характеристики.

Влияние антенных обтекателей на ухудшение тактико-технических характеристик бортовых РЛС выражается в следующем:

- даже качественно выполненные антенные обтекатели для РЛС обнаружения и наведения самолетов снижают дальность действия РЛС, т.к. их коэффициент радиопрозрачности (по мощности) находится в пределах 0,7...0,85;
- из-за невыгодной в радиотехническом отношении формы самолётные

обтекатели вносят угловые ошибки в определение направления на цель до 20 угл. минут; ракетные обтекатели для систем самонаведения являются главным фактором, определяющим угловые ошибки самонаведения, и главной причиной, дестабилизирующей работу этих систем;

- из-за наличия отражений ВЧ-энергии, обтекатель является одним из главных факторов, приводящих к увеличению уровня боковых лепестков системы антенна – обтекатель, что приводит к ухудшению работы РЛС [1, 2].

Очевидно, что улучшение характеристик РЛС в значительной мере связано с параметрами материала обтекателя. Применение Ф-4 в качестве антенного кожуха [3], несмотря на низкий уровень диэлектрических потерь даже в диапазоне СВЧ, до сих пор было ограничено физико-механическими характеристиками фторопласта: высокой ползучестью, низкой износостойкостью и чрезвычайно низкой радиационной стойкостью. Единственным эффективным спосо-

бом модифицирования Ф-4 с целью улучшения эксплуатационных характеристик является создание композиций, однако проблему высокой ползучести материала он не решает. Кроме того, возможности химического модифицирования Ф-4 крайне ограничены в силу его химической инертности.

В последние годы был получен новый материал Ф-4РМ [4, 5] – структурно-модифицированный политерэфторэтилен, который не содержит каких-либо примесей и характеризуется сверхвысокой износостойкостью – в 10^4 раз, повышенной радиационной стойкостью – в 10^2 и более раз, сниженной ползучестью – в 10^2 раз выше, чем у исходного материала, и, самое главное, высокими диэлектрическими характеристиками (на уровне исходного Ф-4), а также химической и термической стойкостью.

Специфика тонкостенных обтекателей для сверхширокополосных антенн обуславливает требование обеспечения минимально возможных диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь

Сравнительные характеристики диэлектрических материалов

Параметры	Структурно-модифицированный политетрафторэтилен марки Ф-4РМ	ПК-М-2 ТУ 6-06-47-89	Ф-4 ГОСТ10007-80
Плотность, г/см ³	2,20...2,21	1,23...1,25	2,14...2,16
Пористость, %	0,1...0,2	–	1...3
Ударная вязкость, кДж/см ²	Более 100	30	100
Диэлектрическая проницаемость	2,1...2,2	2,7...3,1	2,1...2,2
Тангенс угла диэлектрических потерь	0,0002...0,0003	0,007...0,009	0,0002...0,0003
Диапазон рабочих температур при умеренных нагрузках до 3 МПа, °С	–260...250	–60...130	–260...100
Термостойкость при 250°С, ч	До 1000	–	До 1000
Модуль упругости при сжатии, МПа	600	83	350...400
Интенсивность износа в режиме палец-диск, (25 кг/см ² ; 1 м/с, R _a = 0,15, HRc = 0,45), мкм/км	0,1...0,3	–	2000
Радиационная стойкость (вакуум), Мрад	300	50	1

материала обтекателя при одновременном обеспечении механических требований и требований по термостойкости и эрозионной устойчивости. Поиск материала обтекателя с такими уникальными свойствами обычно приводил к отрицательному результату. Вновь разработанный структурно-модифицированный политетрафторэтилен марки Ф-4РМ, применяемый как триботехнический материал для поршневых колец, подшипников, манжет, вкладышей, уплотнителей, был испытан в радиотехнических целях, в частности для использования в качестве материала для изготовления тонкостенных антенных обтекателей.

Сравнение свойств материалов Ф-4РМ, поликарбоната ПК-М-2 и Ф-4 показало, что структурно-модифицированный политетрафторэтилен обладает лучшими механическими свойствами, термостойкостью, радиационной стойкостью и эрозионной устойчивостью, а его диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь меньше по сравнению с поликарбонатом (см. таблицу).

ИСПЫТАНИЯ АНТЕННОГО ОБТЕКАТЕЛЯ ИЗ Ф-4РМ

Сверхширокополосный антенный обтекатель, имеющий полуцилиндрическую или полусферическую поверхность с равной или увеличивающейся к основанию толщиной стенки, изготавливается из структурно-модифицированного политетрафторэтилена и имеет тонкостенную конструкцию с толщиной стенки в центральной части 1,5...3,5 мм.

Проведённые испытания на динамическое воздействие твёрдых частиц по-

казали, что эрозионная устойчивость обтекателя из Ф-4РМ лучше, чем у обтекателя из поликарбоната. Скорость весового уноса (v_y , г/с) для обтекателя из Ф-4РМ составила 0,0002 г/с против 0,0018 г/с для обтекателя из поликарбоната.

Проверка тонкостенных антенных обтекателей из Ф-4РМ в натуральных условиях на летательном аппарате со скоростями 2,5...3М подтвердила их прочность, термостойкость и эрозионную устойчивость в самых жёстких условиях эксплуатации.

Кроме того, были проведены следующие механические и климатические испытания антенн с установленными на них обтекателями из структурно-модифицированного политетрафторэтилена марки Ф-4РМ:

- на прочность при воздействии широкополосной случайной вибрации;
- на воздействие циклического изменения температур от –60°С – 2 ч, до +85°С – 2 ч, всего 10 циклов;
- на воздействие повышенной влажности 98 ± 2%, шесть циклов;
- на воздействие пониженной температуры среды –60°С – 2 ч;
- на воздействие повышенной температуры среды +85°С – 2 ч, +185°С – 30 мин, кратковременно +290°С в течение 7 мин.

После каждого испытания проводился осмотр тонкостенных антенных обтекателей, изготовленных из Ф-4РМ, и контролировалась работоспособность антенн (измерялся коэффициент стоячей волны (КСВН)). Антенны и обтекатели из Ф-4РМ испытания успешно выдержали.

Сравнительная проверка КП тонкостенных антенных обтекателей из Ф-4РМ и из поликарбоната показала, что на частоте 10 ГГц КП обтекателей

из Ф-4РМ составил 92%, а КП обтекателей из поликарбоната – 83%. Применение структурно-модифицированного политетрафторэтилена марки Ф-4РМ в качестве материала радиопрозрачного тонкостенного антенного обтекателя вместо поликарбоната позволило улучшить РТХ антенны в верхней части СВЧ-диапазона:

- коэффициент усиления увеличился до 1,5 раз;
- минимальный коэффициент эллиптичности улучшился в 1,1 раза;
- минимальная ширина диаграмм направленности увеличилась на 4...20°;
- уровень боковых лепестков диаграмм направленности уменьшился в 1,5...2,2 раза.

При этом коэффициент перекрытия рабочего диапазона частот антенны с обтекателем составил не менее 20. Кроме того, диаграммы направленности антенны с обтекателем из поликарбоната искажены (имеют два максимума), в то время как диаграммы направленности антенны с обтекателем из Ф-4РМ имеют удовлетворительную, практически монотонную форму.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведённых испытаний подтвердили, что структурно-модифицированный фторопласт Ф-4РМ обладает комплексом уникальных эксплуатационных характеристик и является перспективным для авиационной промышленности. В частности, его применение позволило улучшить эксплуатационно-технические характеристики радиопрозрачного тонкостенного антенного обтекателя: повысить его термостойкость, прочность и эрозионную устойчивость с одновременным улучшением коэффициента прозрачности и улучшением РТХ защищаемой антенны.

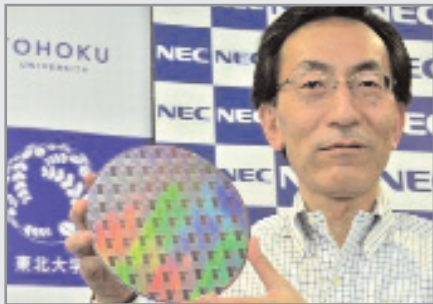
ЛИТЕРАТУРА

1. Капун В.А. Антенные радиопрозрачные обтекатели. Радиотехника. 2002. № 11. С. 6–15.
2. Бойко М.А., Титов А.Н., Ястребов В.П. Обтекатели РЛС самолетов нового поколения. Радиотехника. 2002. № 11. С. 39–40.
3. Патент H 01Q 1/42,(11) WO № 030077363 A1, 18.09.2003. Антенный кожух. Tokuhira, Katsusada. Daikin Industries, Ltd.
4. Патент РФ № 23045592, 2007.
5. Хатилов С.А., Конова Е.М., Артамонов Н.А. Росс. химический журнал (РЖХО им. Д.И. Менделеева). 2008. Т. 52. № 5. С. 64. ©

Новости мира News of the World Новости мира

NEC представила новый тип энергонезависимой памяти

Компания NEC объявила о создании модуля памяти нового типа (Content Addressable Memory), эта технология способна решить множество проблем, с которыми сталкивается современная электроника. В частности, CAM-память позволяет хранить, получать и обрабатывать данные даже в том случае, когда питание отключено, и всё потому, что для хранения данных используется не заряд электрона, а его магнитный спин – одна из характеристик частицы в квантовой физике. Ещё одним достоинством CAM является высокая скорость её работы, доступ к ячейке памяти осуществляется всего за 5 нс.



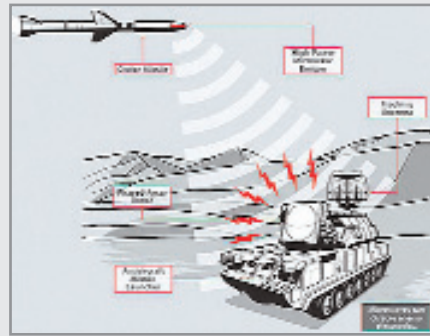
Технология была разработана компанией NEC совместно с университетом Тохоку. Это важнейшее достижение в области спинтроники, которая в будущем может вообще вытеснить электронику. Учитывая тот факт, что при работе спинтронного чипа по нему проходит электрический ток небольшой величины, нагревания компонента не происходит, соответственно, не нужно и охлаждение. Уникальная архитектура CAM-памяти предусматривает также сокращение числа транзисторов; если в классическом варианте на пару ячеек памяти приходится восемь транзисторов, то здесь хватает и трёх. Это означает, что размеры CAM-чипов оказываются на 50% компактнее актуальных сегодня чипов RAM. О том, когда планируется начать коммерциализацию новой технологии, компания NEC пока не сообщает.

<http://www.gizmowatch.com/>

Raytheon ведёт разработку боеголовок, поражающих электронику цели

Компания Raytheon представила новую военную разработку. Гигант оборонной промышленности планирует запустить в производство арсенал из нескольких «энергонаправленных боеголовок» (directed energy warheads), которые используют

радио- и микроволны для нейтрализации бортовой электроники цели.



Raytheon не распространяется по поводу деталей, однако известно, что недавно компания приобрела Ktech. Последняя специализируется на электронике, которой оснащаются военные воздушные суда, а также на оценке уязвимости противника.

Скорее всего, боеголовки будут устанавливаться на существующие ракеты – навесное оборудование будет определять уязвимые места в электронике цели и поражать их при помощи радиочастотных волн или высокомоощных микроволн. Если боеголовка сможет добраться до цели раньше, чем её нейтрализуют, то у неё появится шанс, к примеру, уничтожить электронные системы наведения противоракетной обороны или наземные радары. После этого последует обстрел уже «полновесными» боеголовками, начинёнными взрывчаткой. Будущее военных действий? Вполне может быть.

<http://www.engadget.com/>

Министерство энергетики США выделяет \$2 млрд на солнечные батареи в Калифорнии

Министерство энергетики США объявило о выделении средств в размере около 2 млрд. долл. на два проекта по получению солнечной энергии в Калифорнии. Об этом заявил министр энергетики Стивен Чу.



Оба проекта основаны на использовании зеркальных параболических тепловых желобов, которые отражают и концентрируют солнечную энергию для обогрева труб с синтетическим маслом. Нагретая жидкость

потом используется для создания пара и получения электроэнергии в паровых турбинах.

Из выделяемой суммы примерно 1,2 млрд. долл. пойдут на создание 250-мегаваттной электростанции в пустыне Мохаве, округ Сан-Бернардино. Проект, получивший название Mojave Solar Project, будет способен обеспечивать электричеством около 53 тыс. домов на протяжении всего года. Благодаря высокой эффективности проект позволит обходиться без использования ископаемого топлива даже в те периоды, когда интенсивность солнечных лучей снижается.

Ещё 681,6 млн. долл. будут выделены на проект Genesis Solar Project в пустыне Сонора. Здесь мощность электростанции составит 15 МВт. Электростанция будет питать около 48 тыс. домов. Предполагается, что Genesis Solar Project предоставит 800 рабочих мест на этапе строительства и ещё 47 на постоянной основе.

<http://www.cnet.com/>

Физики создали лазер из живой клетки

До последнего времени источники лазерного излучения изготавливались исключительно из неживых материалов, таких как инертные газы или полупроводники. Но американским физикам Мальте Гейтеру (Malte Gather) и Сок Хон Юну (Seok Hyun Yun) из Массачусетского центра фотомедицины удалось заставить живую клетку генерировать лазерное излучение. Исследователи использовали флюоресцентный белок GFP, выделенный из медузы Aequorea Victoria. К эмбриональным клеткам почки человека учёные добавили фрагмент ДНК, заставляющий клетку синтезировать белок GFP. Каплю раствора, содержащего клетки с GFP, поместили между двух зеркал с зазором 200 мкм. Облучая клетки лазерными импульсами синего цвета, исследователи наблюдали генерацию клеткой когерентного излучения зелёного цвета.

По сути это первый в мире лазер, сделанный из живого организма. Примечательно, что клетки оставались жизнеспособными после испускания сотен лазерных импульсов. Учёные считают, что данное открытие будет иметь весьма важное применение в диагностике и лечении раковых опухолей. Следующим шагом исследователи намерены уменьшить размеры зеркал до размеров самой клетки (10...20 мкм).

<http://physicsworld.com/>