



НАУКА И ЖИЗНЬ

ISSN: 1683-9528

7

2020

● Синтетические алмазы на пороге квантового будущего ● Любовные отношения растений. А что, если бы так было у людей? ● Алгоритм открытого распределения ключей совершил революцию в криптографии ● Предмет есть, а слова нет. Что ж, будем искать...



Лауреаты премии Правительства Москвы молодым учёным 2019 года

Премия Правительства Москвы молодым учёным, работающим в научных центрах и университетах столицы, присуждается как за достижения в фундаментальных исследованиях, так и за разработку и внедрение новых технологий. Приём заявок на участие в конкурсе 2020 года открыт до 10 июля 2020 года (подробности: <https://nauka.mos.ru>).

В прошлых номерах журнал рассказывал о работах нескольких лауреатов 2019 года (см. «Наука и жизнь» №№ 5, 6, 2020 г.). Представляем ещё три работы лауреатов конкурса.

НА КОМПОЗИТНЫХ КРЫЛЬЯХ

Самолёты тесно ассоциируются у нас с алюминием — именно на «плечах» этого лёгкого, прочного и блестящего металла поднялась в небо гражданская авиация. Но современные летательные аппараты всё дальше отходят от своих легкосплавных корней, становясь более «пластиковыми», а если точнее, то полимерно-композиционными.

Полимерный композиционный материал состоит из двух основных частей: пластичной полимерной матрицы и армирующего наполнителя. «Арматурой» в авиационных композитах выступает, как правило, углеродное или стеклянное волокно. Нити или ткань из него обладают большой прочностью на растяжение, низким весом и многими другими привлекательными характеристиками. Но ни ткань, ни нить не способны «держат форму», поэтому, если требуется сделать какую-нибудь деталь на основе угле- или стекловолокна, его необходимо чем-то склеить. В роли клея как раз и выступает полимерная матрица: нужно «всего лишь» поместить волокно внутрь полимерного материала.

Полимерные материалы бывают самые разные. В быту нам часто встречаются такие полимеры, как полиэтилен (пакеты и плёнки), полипропилен (пластиковые контейнеры, трубы) или полиэтилен-терефталат (прозрачные бутылки). Всех их объединяет то, что они могут плавиться и более или менее обратимо переходить из твёрдого в жидкое состояние и обратно.

Но есть и другие полимерные материалы, с которыми такой трюк не получится: сколько ни грей резину или засохший лак, они не расплавятся. При высокой температуре они потеряют прочность и в конце концов сгорят, но никак не станут жидкими. Такие полимерные материалы называются реактопластами, и их особенность состоит в том, что их длинные полимерные молекулы химически сшиты между собой. Это удерживает молекулы полимера от того, чтобы отправиться в свободное плавание при повышении температуры. Соответственно, если мы используем полимерный материал для композита, то хорошо бы, чтобы он сохранял свои полезные свойства и при повышенных температурах. Поэтому в качестве полимерной матрицы в композитах используют в основном реактопласты.

Из этого соображения возникает и технология изготовления полимерных композиционных материалов: армирующий наполнитель нужно сначала пропитать жидким мономером (веществом, из которого получается полимер) и уже затем его заполимеризовать — превратить исходный жидкий мономер в твёрдый и прочный полимер. Полимеризацию жидкого мономера можно вызвать либо химическими добавками — отвердителями и катализаторами, либо под действием нагрева или света. Например, жидкие эпоксидные смолы полимеризуются при добавлении отвердителя на основе различных аминов. Собственно, «эпоксидка», как и различные двухкомпонентные клеи на её основе — одно из самых распространённых полимерных связующих для композитов.

СХЕМА ТЕХНОЛОГИИ ВАКУУМНОЙ ИНФУЗИИ



Вакуумная инфузия — технология производства изделий из композитных материалов. Заготовку из армирующего наполнителя помещают в открытую форму, поверхность которой герметично натягивается специальная плёнка. Из-под плёнки насосом откачивается воздух, в результате чего заготовка оказывается прижата к форме вакуумным мешком. Затем по заранее расположенным под плёнкой трубкам подают жидкое связующее, которое эффективно пропитывает всю заготовку — за счёт отрицательного давления армирующий наполнитель, как губка, впитывает жидкое связующее. В зависимости от используемого связующего оно либо затвердевает самостоятельно, либо требует выдержки при повышенной температуре. Достоинством технологии служит возможность изготавливать детали сложной формы и большого размера. Основное ограничение метода заключается в том, что связующее должно оставаться жидким и обладать низкой вязкостью, чтобы успеть пропитать заготовку до начала затвердевания.

Но у полимерных матриц на основе эпоксидных связующих есть недостаток — это невысокая максимальная температура эксплуатации. При температурах выше 150°C эпоксидные матрицы, как правило, заметно и быстро теряют свою прочность. Тогда как алюминиевые сплавы способны дольше выдерживать и более высокие температуры без критического падения рабочих характеристик. Для композитного корпуса лодки или автомобиля высокая температурная стойкость может и не столь обязательна, но если мы хотим заменить алюминиевые части конструкции самолёта на композитные, то здесь способность выдерживать повышенные температуры становится жизненно важной.

Однако существуют высокотемпературные полимеры, способные выдерживать нагрев выше 200°C и даже больше — вплоть до 400°C. Это группы полимеров, принадлежащие к химическим классам бисмалеимидов, циановых эфиров, полиимидов и фталонитрилов. Последние, можно сказать, короли в плане термостойкости. Полимерные композиты на

основе фталонитрильных связующих начинают заметно терять прочность лишь при температурах выше 400°C. Изучать подобные соединения для использования в композитах начали далеко не сегодня, а в 80-х годах прошлого века, и на текущий день разработано множество составов высокотемпературных полимеров. Так почему замена традиционного алюминия на композитные материалы в гражданской авиации такой не быстрый процесс?

Потому, что мало изобрести высокотехнологичное связующее, нужно ещё разработать технологию его использования в промышленности. Одно дело поместить небольшой образец в печь в лаборатории, и совсем другое — соорудить автоклав для изготовления крупных деталей самолёта. Новые технологии требуют новых материалов и новых подходов в проектировании, производстве и эксплуатации авиационной техники. Поэтому так часто научное открытие от его воплощения на практике отделяет не одно десятилетие, а за каждым маленьким улучшением технологии лежит напряжённая многолетняя работа исследователей.



Один из лауреатов премии Правительства Москвы для молодых учёных 2019 года — кандидат химических наук Борис Анатольевич Булгаков, старший научный сотрудник кафедры химической технологии химического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. Он удостоен награды в номинации «Новые материалы и нанотехнологии» за работу, посвящённую исследованию и разработке новых импортозамещающих полимерных композитных материалов.

О важности импортозамещения говорить не будем — это и так очевидно, особенно если учесть, что в нашей стране когда-то были производства и химических волокон, и сырья для высокотехнологичных полимеров, которые мы сейчас вынуждены покупать за границей для производства того же нового отечественного самолёта МС-21. А вот на теме новых материалов хотелось бы остановиться подробнее, тем более что это как раз те самые фталонитрильные полимерные связующие, о которых мы упоминали чуть выше.

Почему мы всё время говорим о фталонитрилах во множественном числе, а не называем конкретные молекулы? Дело в том, что это очень большой класс молекул, которые можно представить состоящими из двух функциональных частей: двух фталонитрильных фрагментов (назовём их образно «руки») и мостика между ними (пусть это будет «тело» мономера). За счёт образования связей между «руками» мономеры объединяются в цепочки — полимерные молекулы. Фталонитрилы могут соединяться друг с другом разными способами: не только одна молекула с

другой, но и три молекулы вместе, и даже четыре. За счёт этого образуются сложные трёхмерные полимерные структуры. Разумеется, от того, как соединятся друг с другом молекулы мономеров, будут зависеть свойства получившегося полимерного вещества, например, какая у него будет температурная устойчивость и прочность. Но не станем забывать, что кроме «рук» у фталонитрилов есть ещё и «тело» (или мостик, кому как больше нравится), от которого во многом зависит процессинг и свойства конечной полимерной матрицы.

Есть у фталонитрилов одна особенность, сильно усложняющая их практическое использование — температура, при которой они переходят в жидкое состояние. Она сама по себе довольно высока, но, что ещё хуже, очень близка к температуре, при которой вещество начинает полимеризоваться. Получается, что для того, чтобы качественно пропитать армирующий наполнитель, нужно очень точно выдерживать температурное «окно». Недогреешь — вязкость мономера останется очень высокой, и он не сможет пропитать армирующий наполнитель. А чуть перегреешь — так фталонитрил заподимеризуется ещё до того, как полностью пропитает волокно. Есть и другие ограничения, усложняющие использование фталонитрилов, не последнее из которых — их высокая стоимость.

Все эти сложности приводят к тому, что традиционные технологии получения композитных материалов, вроде вакуумной инфузии (а композитную деталь крыла самолёта МС-21 длиной 25 м изготавливают указанным методом, но с применением эпоксидных смол), для фталонитрильных связующих применять оказывается крайне сложно. Одним из результатов научной работы Бориса Булгакова и его коллег стала разработка как раз таких фталонитрильных связующих (подбора правильного «тела» мономера), которые позволили производить высокотемпературные композиты методом вакуумной инфузии. Хочется надеяться, что технологии производства композиционных материалов на основе фталонитрилов получат достойное развитие, а химическое сырьё для мономеров будет производиться в России, а не за границей.

Общий вид молекулы фталонитрильного связующего.

