



Вишняков Л.Р., Коханая И.Н., Коханый В.А.

Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины. Украина, Киев

ПРОВОЛОЧНЫЕ ВЯЗАННЫЕ СЕТКИ ДЛЯ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Анотація

Проведено аналіз структури та властивостей блискавкозахисних панелей із композиційних матеріалів, армованих дротовими сітками, після розрядних випробувань. Встановлено особливості поведінки структурних елементів блискавкозахисного покриття, що підтвердили підвищену здатність розроблених гетерогенних матеріалів з блискавкозахисними сітками до поліпшеної дисипації енергії блискавки. Результати випробувань блискавкозахисного покриття свідчать про позитивний вплив паяних дротяних каркасів на зменшення пошкоджуваності авіаційних конструкцій із полімерних композиційних матеріалів.

Abstract

The structure and properties of lightning protection panels made of composite materials reinforced with wire meshes have been analyzed after lightning discharge testing. The behavior of structural elements of the lightning protection coating was identified thus confirming an improved capability of the developed heterogenic materials containing lightning protection meshes to higher lightning energy dissipation. The results of the lightning protection coating tests revealed a favoring effect of the soldered wire frames on the decrease of damage rate of aircraft structures made of polymer composite materials.

Композиты с полимерной матрицей (КМ) — стекло-, угле- и органопластики — все шире используются в гражданских самолетах, что обеспечивает снижение их массы на 20–46% при увеличении ресурса полета в 1,5–2 раза.

Как известно, эксплуатация авиационной техники сопровождается воздействием метеорологи-

ческих факторов. В частности, существенную роль играют грозовые процессы, которые могут создавать угрозу безопасности полетов воздушного судна. Разряд молнии особенно опасен для конструкций из полимерных КМ, поскольку такие материалы имеют низкую электропроводность и поэтому в отличие от металлов не в состоянии выдержать нагрузки, возникающие при приложении высоких электрических напряжений.

При прямом воздействии удара молнии одним из основных механизмов, вызывающих разрушение обшивки самолета из КМ, является термический (джоулев) нагрев материала, по которому течет ток. Поскольку, удельное электросопротивление углепластика составляет в среднем $\rho = 1,4 \cdot 10^{-5}$ Ом/м, а для алюминия оно на три порядка меньше, разрушение конструкции из КМ, особенно в области, прилегающей к каналу молнии, существенно больше, чем обшивки из алюминия.

Одним из эффективных средств молниезащиты полимерных КМ, могут стать металлические трикотажные сетки, которыми армируют поверхность защищаемой конструкции. Эти сетки имеют организованную электропроводную структуру, которая способна покрывать большие площади поверхности обшивки самолета. Сетки позволяют реализовать такие полезные свойства, как, возможность создания хорошего сцепления с материалом подложки из КМ, высокую эластичность и технологичность при изготовлении деталей сложной геометрической формы.

В качестве токопроводящего материала для молниезащиты нами были опробованы вязанные медные сетки, обладающие трикотажной структурой (табл. 1).

Определение молниестойкости проводили на образцах в виде панелей размерами 300×300 мм,

Таблица 1

Характеристика медных сеток, использованных в экспериментах для молниезащиты образцов из полимерных композитов

№ п.п.	Структура сетки (переплетение)	Диаметр проволоки, мм	Количество проволок в пучке	Количество петель на длине 50 мм		Масса 1 м ² , г	Разрывная нагрузка, Н		Удлинение, %	
				по вертикали, П _в	по горизонтали, П _г		вдоль	поперек	поперек	вдоль
1	"Ластик 1+1"	0,07	1	24	28	110,8	64,6	32,8	88	42
2	"Ластик 1+1"	0,07	2	24	28	147,5	78,3	46,0	95	69
3	"Ластик 1+1"	0,07	4	20	26	186,3	110,4	54,6	115	59

которые получали с использованием метода вакуум-автоклавного формования. Образцы, состояли из слоев препрегов, углеродных лент ЭЛУР-П со связующим (эпоксидной смолой ЭДТ-69Н).

При введении сеток в образцы панели сетчатые полотна раскатывают из рулонов и с некоторым натяжением припрессовывают к поверхности слоистой заготовки. При этом очень важно сохранить объемность и прочностные характеристики сеток. Приформовку молниезащитного слоя осуществляли с помощью пленочного клея ВК-11 или ВК-51 по серийной технологической схеме с тем отличием, что на поверхности формы располагают сетку, затем — пленочный клей, а поверх клея укладывают слои предварительно пропитанной связующим ленты ЭЛУР-П [1].

С целью оптимизации величины давления в процессах прессования панелей из КМ провели исследование способность металлических сеток изменять свою толщину под нагрузкой (рис. 1). Эксперименты проводили на образцах сеток на универсальной испытательной машине 2166Р-5 с применением индентора площадью 200 мм² и индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм. Деформацию сеток измеряли при нормированных нагрузках в интервале давления от 0,05 до 0,5 МПа, которые в принципе соответствует производственным условиям изготовления конструкций из полимерных КМ. Результаты определения толщины от деформации металлических сеток из медных проволок приведены на рис. 1.

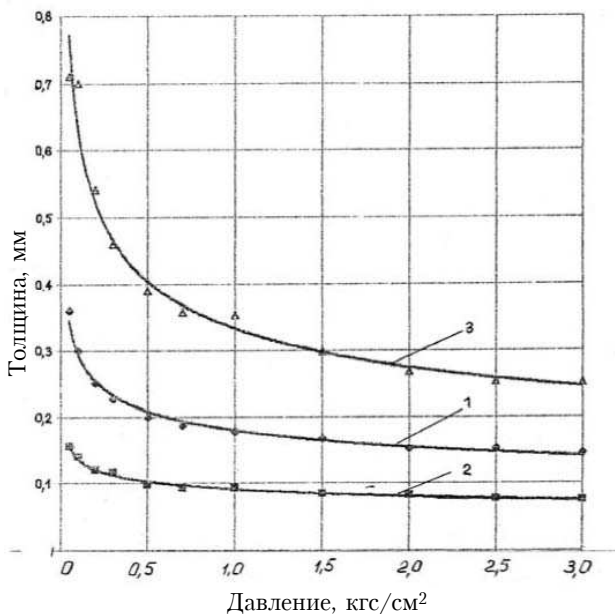


Рис. 1. Зависимость толщины медных сеток от давления прессования:

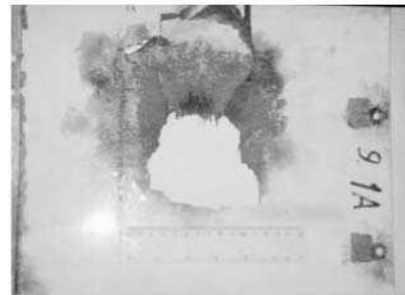
1 — вязаная сетка из медной проволоки диаметром 0,07 мм в два сложения; 2 — вязаная сетка из медной проволоки диаметром 0,07 мм в одно сложение; 3 — вязаная сетка из медной проволоки диаметром 0,07 мм в четыре сложения

Разрядные испытания экспериментальных панелей проводились по методикам Московского энергетического института и Авиационного научно-технического комплекса им. О.К. Антонова.

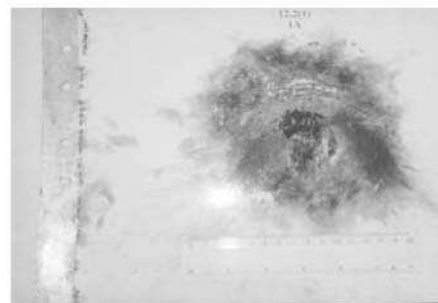
Как было установлено, медные сетки трикотажной структуры способствуют уменьшению разрушений панелей из КМ, вследствие того, что медная проволока создает удовлетворительные условия для быстрого стекания электрических зарядов.

Было установлено, что в образцах без медной сетки произошли серьезные повреждения в виде образовавшегося сквозного отверстия (рис. 2). Кроме того, наблюдаются повреждения в виде расщеплений и расслоений, сопровождающихся частичным обрывом и уносом материала. Кроме визуально определяемых повреждений, на образцах, как правило, образуется много структурных дефектов, расположенных на значительной площади образца. Эти дефекты, в принципе, могут привести к развитию трещин и разрушению конструкции в процессе эксплуатации.

После первичных повреждений в результате разрядного импульса (компонента А) появляются повреждения, вызываемые медленно меняющимися компонентами тока (В и С). Они носят преимущественно тепловой характер и больше связаны с нагревом материала и тепловыми



a



б

Рис. 2. Образцы панелей из композиционного материала (углепластика):

a — без сетки;

б — с сеткой из медной проволоки Ø 0,07 мм, одна нить, "ластик 1×1"



потоками, выделяющимися из канала молнии. Такие повреждения имеют характерный вид выгорания материала, частичной или полной сублимации связующего по толщине образца и сопровождаются расслоением панели. В зависимости от длительности действия компоненты С повреждения могут затрагивать внешний слой или проходить на незначительную глубину, затрагивающую ~3–4 монослоя углепластика.

Кроме видимых повреждений, вокруг зоны деструкции связующего образуется достаточно большая по площади область, где связующее подвергается нагреву до температур ниже температуры деструкции, но выше температуры длительной работоспособности. Углепластик в этой области резко разупрочняется.

Результаты анализа разрушений панелей свидетельствуют о том, что медные сетки трикотажной структуры, как более электропроводящие, способствуют уменьшению разрушений, вследствие того, что медная проволока создает удовлетворительные условия для быстрого стекания электрических зарядов.

С учетом анализа поведения сеток при тепловых нагрузках вследствие разряда молнии и для повышения эффективности их использования нами было предложено покрывать проволоки из меди легкоплавким оловянно-свинцовыми припоями [2]. Было установлено, что испаряющаяся легкоплавкая фаза способствует эффективному рассеиванию тепловой составляющей удара молнии.

В таблице 2 показаны свойства оловянно-свинцовых легкоплавких припоев.

По критериям привеса, величины электропроводности и технологичности из различных вариантов молниезащитных сеток нами была выбрана сетка на основе медной проволоки диаметром 0,07 мм, покрытой припоем ПОС-61.

Эта сетка имеет характерные для переплетения "ластик 1+1" лицевые и изнаночные петли, расположенные в двух уровнях А и В (рис. 3). При армировании этой сеткой в молниезащитном покрытии достигается эффект двухуровневого расположения петель на толщине М. Этот эффект является, по нашему мнению, полезным, поскольку

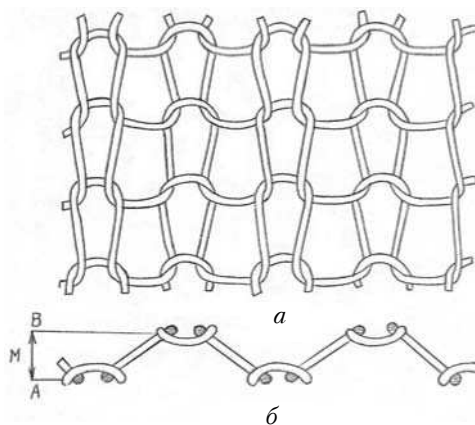


Рис. 3. Структура сетки СВ-2 ТУ 383-33-88:
а – фронтальный вид;
б – поперечное сечение; М – толщина сетки

ку токи, возникающие в результате действия молнии, стекая по сетке при двухуровневом расположении петель, могут снижать ток самоиндукции, что уменьшает реактивное сопротивление и приводит к снижению общего сопротивления проводящего поверхностного слоя углепластика.

Важную роль в создании эффективной защиты от удара молнии играет поверхностная плотность сетки (масса 1 кв. м полотна). Установлено, что с увеличением частоты расположения фрагментов токопроводящих петель сетки на поверхности панели повреждения КМ уменьшаются, однако при этом повышается вес молниезащитного покрытия, что для применения в авиации является нежелательным.

Стендовые испытания в составе панелей показали, что образцы с сеткой СВ-2 имеют более низкую повреждаемость по сравнению с сеткой из непокрытой припоем проволоки, и могут быть рекомендованы для применения в отдельных узлах конструкции самолета.

Чтобы расширить область применения подобных сеток в самолете и с целью повышения их молниезащитных свойств, нами предложены вязано-паяные сетчатые полотна, в которых способом пайки созданы неразъемные соединения

Физические и механические свойства легкоплавких оловянно-свинцовых припоев

Таблица 2

Марка припоя	Плотность, γ , г/см ³	Удельное электро-сопротивление, ρ , Ом · мм ² /м	Предел прочности, σ_b , МПа	Относительное удлинение, δ , %	Ударная вязкость, α_u , кГс/см ²	Твердость, НВ
ПОС-61	8,54	0,145	47	34,0	3,8	12,6
ПОС-50	8,90	0,156	38	54,0	4,59	14,9
ПОС-40	9,31	0,170	38	52,0	4,75	13,7

структурных элементов — петель [3]. Полученные токоотводящие каркасы в отличие от вязаных сеток типа СВ-2 имеют повышенную электропроводность вдоль полотна и не допускают проникновение связующего между проволоками в местах контакта петель в процессах формования композитов. При воздействии разряда молнии вследствие нагрева и испарения припоя происходит рассоединение петель сетки, появляются возможность как для релаксации механических напряжений, так и для микротрения проволок в матрице. Эти эффекты увеличивают степень диссипации энергии и снижают расслоение композита, что подтверждено стендовыми испытаниями образцов молниезащитных панелей.

Литература

1. Вишняков Л.Р., Коханая И.Н., Казуров В.Н., Катерева Т.П. Композиционные полимерные материалы с элементами молниезащиты // Технологические системы, 1999. — № 3. — С. 36–37.
2. Пат. 6198, Украина, МКИ С1 В64Д45|02. Блискавкозахисне покриття для агрегатів літального апарату: Л.Р. Вишняков, В.М. Казуров, І.М. Кохана, В.О. Коханий та ін.
3. Пат. 64651, Украина, МКИ С1 В64Д45|02, В21Д53/92. Блискавкозахисне покриття: Л.Р. Вишняков, І.М. Кохана, В.О. Коханий та ін.