

Повышение ударостойкости эпоксидных органопластиков Raising anti-shock performance of epoxy organic plastics

Е.В. КУПРИЯНОВА^{1,2}, Т.В. МОРОЗОВА^{1,2}, А.М. ДВОРЦЕВАЯ^{2,3},
В.С. ОСИПЧИК², К.Ю. КОЛЫБАНОВ⁴

E.V. KUPRIYANOVA^{1,2}, T.V. MOROZOVA^{1,2}, A.M. DVORTSEVAYA^{2,3},
V.S. OSIPCHYK², K.Y. KOLYBANOV⁴

¹ АО «ЦНИИМС»

² Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева

³ Корпорация «Проект Техника»

⁴ Российский технологический университет – МИРЭА

¹ TSNIISM

² D.Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

³ Proekt-Technika Corporation

⁴ MIREA – Russian Technological University

elena.kupreanova@yandex.ru

Проведен анализ разрушения при ударном воздействии композитных материалов на основе арамидных тканей и эпоксидных связующих с различной вязкостью. Показана зависимость ударостойкости от расположения армирующих элементов и вязкости связующего.

Ключевые слова: композитный материал, арамидная ткань, эпоксидные связующие

The analysis of fracture of composite materials based on aramid fabrics and epoxy binders with different viscosities under impact is carried out. The dependence of impact resistance on the location of the reinforcing elements and the viscosity of the binder is shown.

Keywords: composite material, aramid fabric, epoxy binders

DOI: 10.35164/0554-2901-2020-9-10-67-68

Введение

Использование органопластика в противоударных конструкциях обусловлено как прочностью армирующих элементов и широким диапазоном температур эксплуатации, так и технологичностью при изготовлении [1–3]. Кроме того, одной из причин выбора органокompозита для использования в изделиях специального назначения является повышенная стойкость при высокоскоростных нагрузках [4].

Существует несколько способов сохранения целостности органопластика при многократных ударах, одним из которых является модификация эпоксидного связующего, например, с помощью введения в качестве термопластичной составляющей полисульфона. При этом с ростом ударной вязкости снижается жесткость конструкции, что в ряде случаев недопустимо.

В данной работе разработан композиционный материал (КМ) на основе арамидной ткани и эпоксидного связующего и проведено исследование влияния на ударостойкость переплетения нитей в армирующей ткани и вязкости связующего.

Экспериментальная часть

Было исследовано два типа связующих с различной вязкостью на основе эпоксидной смолы ЭД-20 с использованием разбавителей Лапроксид 703 (связующее ЭПЛАТ) и Лапроксид-БД (связующее ЭПЛАТ-Р). В качестве отвердителя использовали полиэтиленполиамины.

Для изготовления композитных пластин использовалась ткань из арамидных нитей Русар-С с линейной плотностью 58,8 текс.

Обсуждение результатов

Было установлено, что тонкие четырехслойные композитные пластины из ткани саржевого переплетения на основе эпоксидного связующего при воздействии падающего полусферического ударника с энергией 50 Дж имеют на 15% меньший прогиб, чем образцы из полотняной ткани.

Для объяснения причин такого явления был проведен ряд экспериментов: сравнение механизма расслоения композитных образцов на основе двух слоев ткани при испытаниях на адгезионную прочность, а также определение ударной вязкости образцов на основе 16 слоев ткани и физико-механических характеристик (ФМХ) связующих (табл. 1).

Для выявления характера разрушения был проведен фрактографический анализ образцов.

Поглощение энергии КМ при локальном ударе может происходить за счет:

- упругой деформации армирующих элементов под действием растяжения и изгиба;
- упругой деформации матрицы при сжатии;
- образования новой поверхности в результате расслоения под действием знакопеременных усилий растяжение-сжатие;
- воздействия сдвиговых нагрузок между слоями при прогибе.

Саржевые ткани благодаря более редкому – через 2 или 3 нити – переплетению содержат менее извитые армирующие волокна. Кроме того, единичная площадь поверхности контакта между волокнами двух рядом лежащих слоев в саржевых образцах на 50% выше, чем у полотняных тканей.

В КМ на основе полотна при расслоении наблюдается достаточно большое количество раковин – воздушных полостей, располагающихся в местах перегиба нитей. И даже снижение вязкости связующего не приводит к их полному устранению.

На рис. 1 показан внешний вид четырехслойных образцов на основе арамидных тканей различного переплетения и связующих с различной вязкостью после испытаний на удар полусферическим грузом с энергией 50 Дж. Выявлена закономерность снижения площади расслоения после ударного воздействия на композитные образцы из ткани саржевого переплетения, особенно в направлении нитей основы. Зоны расслоения всех типов испытанных КМ формируются в местах изгиба образца при ударе и характеризуются

Таблица 1. Результаты испытаний связующих и образцов композитных материалов.

Связующее	ФМХ связующего				a_n (ударная вязкость по Шарпи без надреза) КМ _{16сл} , Дж/м ²		Прогиб КМ _{4сл} при ударе 50 Дж, мм		N_{pc} (усилие при расслоении) КМ _{2сл} , Н	
	σ_p , МПа	$\sigma_{сж}$, МПа	$\sigma_{изг}$, МПа	Вязкость при 24°C, с	полотно	саржа	полотно	саржа	полотно	саржа
ЭПЛАТ	65,5	115	106	10	182	175	46	40	7,5	5,2
ЭПЛАТ-Р	74,2	116	32	4	179	207	47	40	5,14	8,3

Примечание: σ_p – прочность при растяжении; $\sigma_{сж}$ – прочность при сжатии; $\sigma_{изг}$ – прочность при изгибе; КМ_{16сл} – композитный материал на основе 16 слоев ткани; КМ_{2сл} – композитный материал на основе двух слоев ткани.

отслоившимся разрушенным связующим, реже – локально разрушенными волокнами.

Результаты испытаний на ударную вязкость композитных пластин выявили неоднозначную зависимость от переплетения ткани, при этом все образцы на основе саржи, в отличие от образцов полотняного переплетения, имеют резко выраженные зоны перегиба (рис. 2). Кроме того, прослеживается связь остаточной энергии удара с усилием при расслоении (N_{pc}): чем выше N_{pc} , тем выше ударная вязкость.

Образцы на основе саржи и менее вязкого связующего показали лучшие результаты как при расслоении, так и при определении ударной вязкости.

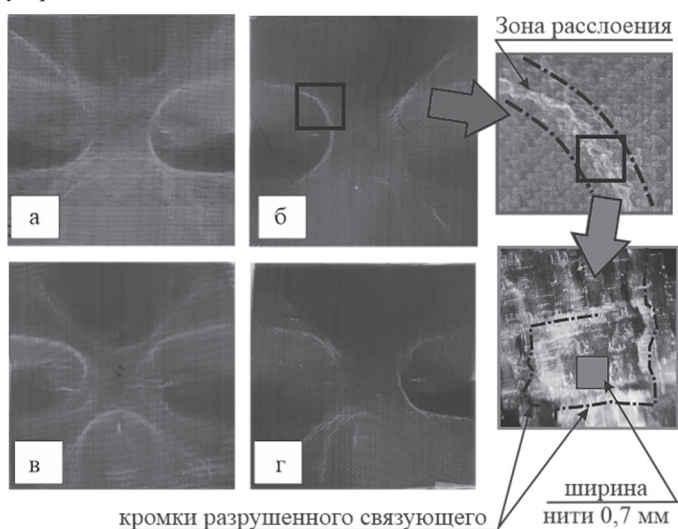


Рис. 1. Образцы после испытаний на удар 50 Дж: на основе связующего ЭПЛАТ (а – полотно; б – саржа) и связующего ЭПЛАТ-Р (в – полотно, г – саржа).

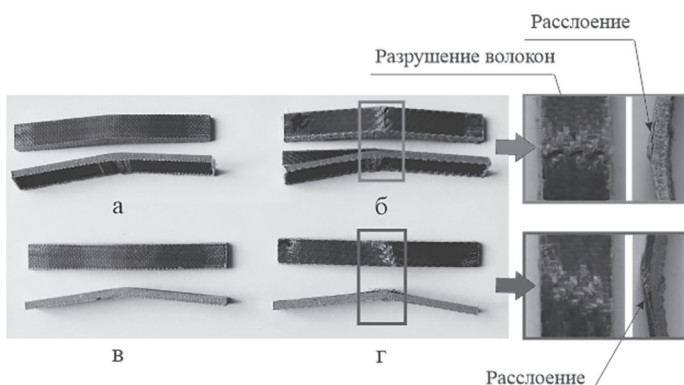


Рис. 2. Образцы после испытаний на ударную вязкость: на основе связующего ЭПЛАТ (а – полотно; б – саржа) и связующего ЭПЛАТ-Р (в – полотно, г – саржа).

Увеличение усилия при расслоении саржевого образца в случае использования связующего ЭПЛАТ-Р можно объяснить большей площадью контакта «волокно-связующее» в силу меньшего искривления нити в саржевой ткани и малым количеством пор благодаря меньшей вязкости связующего. При этом образуется достаточно монолитная структура вследствие более плотного прилегания волокон друг к другу. В этом случае происходит не только разрушение

эпоксидной матрицы и адгезионное разрушение волокно-связующее, но и когезионное разрушение волокно-волокно, выраженное многочисленным отщеплением фибрилл и наблюдаемое при фрактографическом анализе (рис. 3).

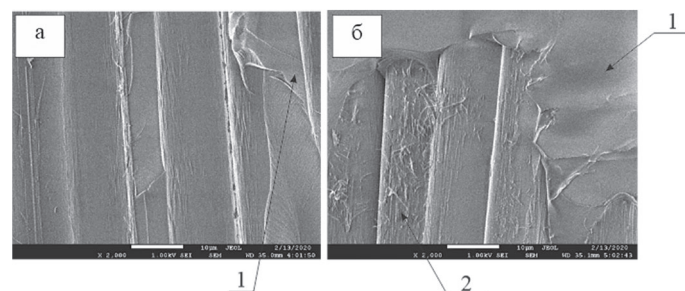


Рис. 3. Вид волокон арамидной ткани после расслоения (а – полотно; б – саржа): 1 – разрушение связующего; 2 – фибриллизация волокон.

Повышенную величину прогиба композитных пластин на основе полотна можно объяснить тем, что вследствие извитости нити более подвижны и имеют возможность значительно деформироваться в направлении, трансверсальном плоскости слоя. Энергия удара при этом тратится на реализацию знакопеременных нагрузок растяжения-сжатия.

На увеличение усилия при расслоении и ударной вязкости в случае применения в КМ полотняной ткани и связующего с повышенной вязкостью ЭПЛАТ влияет, скорее всего, высокая прочность на изгиб связующего.

Снижение величины усилия при расслоении саржевого образца в случае использования вязкого связующего ЭПЛАТ можно объяснить большим количеством пор в саржевом материале, саржа в этом случае «работает» неэффективно.

Выводы

Проведенные исследования показали, что на ударостойкость композитного материала влияют как расположение нитей в арамидных тканях, так и физико-механические характеристики всех компонентов КМ.

В конструкциях с повышенной ударной прочностью на основе арамидных волокон и эпоксидного связующего использование ткани саржевого переплетения может быть более эффективно в случае снижения вязкости связующего.

Литература

1. Зеленский Э.С., Куперман А.М., Горбаткина Ю.А., Иванова-Мумжиева В.Г., Берлин А.А. Армированные пластики – современные конструкционные материалы // Рос. хим. ж., 2001. Т. XLV. №2. С.56–74.
2. Комаров Г.А. Состояние, перспективы и проблемы применения ПКМ в технике // Полимерные материалы. 2009. №2. С. 5–9.
3. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. М. СПб: Научные основы и технологии, 2008. 332 с.
4. Харченко Е. Ф., Ермоленко А. Ф. Композитные, текстильные и комбинированные бронематериалы. Монография, 2013. Том 2. 318 с.