

И.В. Мекалина¹, Е.Г. Сентюрин¹, С.Ф. Климова¹, В.А. Богатов¹

НОВЫЕ «СЕРЕБРОСТОЙКИЕ» ОРГАНИЧЕСКИЕ СТЕКЛА

Органические стекла применяются для изготовления деталей остекления самолетов и вертолетов. Разработаны новые «серебростойкие» полиметилметакрилатные оргстекла частично сшитой структуры СО-120С и ориентированное АО-120С на его основе. Приведены физико-механические, оптические свойства новых оргстекол в исходном состоянии и после воздействия искусственных и естественных климатических факторов.

Ключевые слова: органическое ориентированное стекло, авиационные детали остекления, полиметилметакрилатные оргстекла частично сшитой структуры, оптические и механические свойства, «серебростойкость».

I.V. Mekalina¹, E.G. Sentyurin¹, S.F. Klimova¹, V.A. Bogatov¹

NOVEL «SILVER-STABLE» ORGANIC GLASSES

Organic glasses are used for the production of glazing components of aeroplanes and helicopters. The new «silver-stable» polymethylmethacrylate organic glasses of the partially cross-linked structure (CO-120C) and oriented on its base (AO-120C) were developed. The physico-mechanical and optical properties of new organic glasses are presented in the initial state and after the effect of artificial and natural climatic factors.

Keywords: organic oriented glass, aircraft glazing components, polymethylmethacrylate organic glasses of the partially cross-linked structure, optical mechanical properties, «silver-stable».

¹ Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

Современные отечественные и зарубежные авиационные органические стекла представляют собой полимеры или сополимеры метилового эфира метакриловой кислоты – метилметакрилата.

Авиационные органические стекла являются важнейшими конструкционными неметаллическими материалами. До середины 50-х годов XX века основным органическим стеклом был пластифицированный полиметилметакрилат с теплостойкостью (температурой размягчения): 90°C. В небольших объемах этот материал под маркой СО-95 продолжает производиться в основном для вертолетостроения.

К середине 50-х годов было разработано, паспортизовано и освоено в производстве стекло СТ-1 (в настоящее время выпускается под маркой СО-120А), на основе непластифицированного полиметилметакрилата, которое имеет теплостойкость 120°C.

Наряду с работами по повышению эксплуатационных характеристик органических стекол путем их химической модификации в ВИАМ были созданы метод и технология принципиального улучшения свойств органических стекол с помощью физической модификации – ориентация, вытяжка стекол при температуре выше температуры размягчения – в области высокоэластического состояния. Освоенное промышленностью ориентированное стекло марки АО-120 изготавливается из неориентированного стекла СО-120А [1].

До настоящего времени стекла СО-120А, АО-120, АО-120А линейного строения являются основными материалами остекления всех отечественных самолетов и вертолетов.

Произошедшие в стране изменения, снижение до минимума производства авиационной техники привели к соответствующему сокращению производства авиационных органических стекол. Потребовались принципиальные изменения в технологии, переход от непрерывных производств к эпизодическим, наименее выгодным с точки зрения экономики и стабильности качества органических стекол [2]. Тем не менее требования к оргстеклам не снизились, а во многих случаях повысились. Ужесточились условия эксплуатации, повысились требования к долговечности. Появилась необходимость учитывать требования мировых стандартов на авиационные стекла. В этих условиях плодотворной оказалась идея создания новой, на основе последних достижений отечественной и зарубежной науки, номенклатуры авиационных полиметилметакрилатных органических стекол с частично сшитой структурой, способных к физической модификации методом ориентации [3].

В новой номенклатуре высококачественных оргстекол первым стало полиметилметакрилатное стекло частично сшитой структуры марки СО-120С, паспортизованное в ВИАМ [4, 5]. Полностью освоен его промышленный выпуск – в неориентированном состоянии выпускается заводом ФГУП «НИИ полимеров им. В.А. Каргина» (г. Дзержинск) по ТУ 2216-469-00208947–2006. Серийное производство стекла в ориентированном состоянии (марка АО-120С) освоено ООО «Рошибус» (г. Дзержинск) по ТУ 2216-007-25558743–2011. ВИАМ разработал технологии ориентации, формования, изготовления деталей остекления на основе стекла СО-120С в ориентированном и неориентированном состоянии. Основным преимуществом новых органических стекол СО-120С и ориентированного АО-120С перед серийными оргстеклами линейного строения является более высокая «серебростойкость» (склонность к поверхностному микрорастрескиванию). Новые стекла по «серебростойкости» превосходят серийные стекла при воздействии механических нагрузений, по образованию остаточных напряжений после эксплуатационных «термоударов» (быстрых нагреваний или охлаждений поверхности оргстекла), при воздействии на их поверхность агрессивных растворителей, в том числе ацетона. Установлены максимальные температуры эксплуатации при перепаде температур по толщине стекол: СО-120С – (130/60)°С, АО-120С – (160/60)°С.

В табл. 1 приведены данные о пределе прочности при растяжении и модуле упругости оргстекол СО-120С и АО-120С при различных температурах.

Таблица 1

Физико-механические свойства* оргстекол СО-120С и АО-120С при различных температурах

Показатели свойств	Метод испытания	Температура испытания, °С			
		+20	-60	+60	+80
Предел прочности при растяжении, МПа	ГОСТ 11262	79/82	124,5/145,7	54/43,4	39/34,3
Относительное удлинение при разрыве, %	ГОСТ 11262	6,5/15,3	5,6/3	5,4/30,6	1,6/48
Модуль упругости при растяжении, ГПа	ГОСТ 9550	2,6/2,9	2,6/5,4	2,2/2,1	1,8/1,5

* В числителе – показатели для оргстекла СО-120С, в знаменателе – для АО-120С.

Предел прочности при растяжении при испытании образцов с концентратором напряжений (отверстие $\varnothing 2$ мм) у неориентированного стекла снижается на 23%, у ориентированного – остается на исходном уровне (табл. 2).

Таблица 2

**Предел прочности оргстекло без концентратора и с концентратором напряжений
(отверстие $\varnothing 2$ мм)**

Оргстекло	Степень ориентации ϵ , %	Вид образца	Предел прочности при растяжении, МПа
СО-120С	0	Без концентратора	76,4
	0	С концентратором	55,9
АО-120С	56	Без концентратора	83,2
	56	С концентратором	80,3

Образцы ориентированного стекла АО-120С с концентратором напряжений при испытании на малоцикловую усталость при напряжении 30 МПа выдерживали без разрушения от 2352 до 3652 циклов нагружения. Оргстекла СО-120С и АО-120С имеют высокую ударную вязкость в исходном состоянии – не менее 22 и 38,7 кДж/м² соответственно. После теплового и УФ старения характеристики ударной вязкости сохраняются на высоком уровне (табл. 3).

Таблица 3

Ударная вязкость оргстекло СО-120С и АО-120С после различных видов старения

Вид испытания	Ударная вязкость, кДж/м ² (ГОСТ 4647), оргстекло толщиной 10 мм	
	СО-120С	АО-120С
В исходном состоянии	22,2	38,7
Прогрев при 80°С в течение, ч:		
500	22,7	45,9
1000	19,5	43,0
УФ облучение в течение 50 ч	22,4	35,6
Прогрев 160°С, 2 ч	26,7	–

Оргстекла СО-120С и АО-120С имеют высокие показатели коэффициента светопропускания, стабильные при тепловом, ультрафиолетовом и атмосферном старении (табл. 4).

Таблица 4

Показатели оптических свойств* (ГОСТ 10667–90) оргстекло СО-120С и АО-120С

Вид испытания	Коэффициент пропускания, % (ГОСТ 15875–80)	Угловое смещение, мин (ММ 1.2.074–2007)	Игра изображения, мин (ММ 1.2.077–2007)
В исходном состоянии	93,5/93,5	(0–4)/(0–4)	(0–3)/(0–4)
Тепловое старение при 80°С в течение 1000 ч	93,6/93,3	(0–4)/(0–4)	(4–7)/(0–4)
Ультрафиолетовое старение в течение 50 ч	93,6/92,8	(0–3)/(0–5)	(0–3)/(0–1)
Атмосферное старение в Московском центре климатических испытаний (МЦКИ) в течение 12 мес	92,8/93,3	(1–5)/(1–4)	(0–5)/(0–4)
Атмосферное старение в Геленджикском центре климатических испытаний (ГЦКИ) в течение 6 мес	93,5/93,3	(1–3)/(1–4)	(0–3)/(2–4)

* В числителе – показатели для оргстекла СО-120С, в знаменателе – для АО-120С.

Оргстекла высокотехнологичны при производстве и переработке в детали остекления. В ближайшие годы они станут не только основными материалами авиационного остекления новых изделий, но и способны заменить серийные оргстекла на эксплуатирующейся технике при ремонте.

Авторы статьи выражают благодарность принимавшим участие в работе сотрудникам ВИАМ – Т.С. Тригуб, Ю.А. Фролкову, М.К. Айзатулиной, С.С. Тригубу, Ю.А. Хохлову, В.В. Сухину и сотрудникам ООО «Рошибус» В.Х. Розенблюму, ФГУП «НИИПолимеров» Ю.П. Горелову, И.А. Шалагиновой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гудимов М.М., Перов Б.В. Органическое стекло. М.: Химия. 1981. С. 5–140.
2. Марек О., Томка М. Акриловые полимеры. М: Химия. 1966. С. 52–69.
3. Мекалина И.В., Тригуб Т.С., Богатов В.А., Сентюрин Е.Г. Новое высокотеплостойкое ориентированное оргстекло марки ВОС-2АО //Авиационные материалы и технологии. 2010. №3. С. 14–19.
4. Сентюрин Е.Г., Мекалина И.В., Тригуб Т.С., Климова С.Ф. Модифицированные органические стекла для перспективной авиационной техники //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №2. С. 2–4.
5. Мекалина И.В., Сентюрин Е.Г., Тригуб Т.С., Айзатулина М.К. Стойкость авиационных органических стекол к концентраторам напряжений //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №4. С. 30–33.

REFERENCES LIST

1. Gudimov M.M., Perov B.V. Organicheskoe steklo [Plexiglass]. M.: Himija. 1981. S. 5–140.
2. Marek O., Tomka M. Akrilovye polimery [Acrylic polymers]. M: Himija. 1966. S. 52–69.
3. Mekalina I.V., Trigub T.S., Bogatov V.A., Sentjurin E.G. Novee vysokoteplostojkoe orientirovannoe orgsteklo marki VOS-2AO [New highly heat-resistant oriented Plexiglas brand VOS-2AO] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2010. №3. S. 14–19.
4. Sentjurin E.G., Mekalina I.V., Trigub T.S., Klimova S.F. Modificirovannye organicheskie stekla dlja perspektivnoj aviacionnoj tehniki [Modified organic glass for advanced aircraft] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravochnik. 2012. №2. S. 2–4.
5. Mekalina I.V., Sentjurin E.G., Trigub T.S., Ajzatulina M.K. Stojkost' aviacionnyh organicheskikh stekol k koncentratoram naprjazhenij [Persistence aviation organic glasses to stress concentrators] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravochnik. 2012. №4. S. 30–33.