Авиационные ориентированные органические стекла АО-120 и АО-120А Aviation oriented organic glasses AO-120 and AO-120A

Е.Г. СЕНТЮРИН, И.В. МЕКАЛИНА, М.К. АЙЗАТУЛИНА, И.В. ОРЛОВА

E.G. SENTJURIN, I.V. MEKALINA, M.K. AIZATULINA, I.V. ORLOVA

ФГУП «ВИАМ», Москва

All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials, Moscow

glass627@viam.ru

Описано, как на основе теоретических представлений об ориентационных явлениях в полимерах впервые в ВИАМ разработана и широко реализована в промышленности технология ориентации авиационных органических стекол, обладающих высокими физико-механическими свойствами и долговечностью в эксплуатации. Органическое стекло АО-120 стало основным материалом остекления многих самолетов. Описано восстановление производства авиационных оргстекла в период кризиса конца 90-х годов, создание стекла АО-120А с более высокими физико-механическими и оптическими свойствами.

Ключевые слова: органические стекла, полиметилметакрилат, ориентация, авиационное остекление.

It is described how, based on theoretical concepts of orientation phenomena in polymers, the technology of orientation of aviation organic glasses with high physicomechanical properties and durability in operation was developed and widely implemented in the industry for the first time in VIAM.

Organic glass AO-120 has become the main glazing material for many aircraft. The restoration of the production of aviation organic glasses during the crisis of the late 90s and the creation of AO-120A glass with higher physicomechanical and optical properties are described.

Keywords: organic glass, polymethylmethacrylate, orientation, aviation glazing.

DOI: 10.35164/0554-2901-2019-5-6-60-62

Фундаментальные научные исследования о связи молекулярного строения полимеров с их физическими свойствами, особенностях их стеклообразного и высокоэластического состояния послужили основой для практической реализации при создании теплостойких органических стекол, использованных в авиации в качестве конструкционных материалов. Только в ВИАМ возможно комплексное решение проблем остекления не только в направлении создания оргстекла и слоистых материалов на их основе, но и творческое участие специализированных лабораторий по созданию герметиков, крепежных лент, прозрачных эластомеров, лакокрасочных материалов, методов испытаний всех материалов остекления. При этом опыт эксплуатации не только учитывается при создании новых материалов, но и является основанием для постоянного совершенствования серийных материалов с учетом изменившихся требований к авиационной технике [1–3].

В настоящее время основными материалами, предназначенными для изготовления деталей остекления авиационной техники, являются органические стекла. На примере работ по созданию авиационных органических стекол видна характерная для Федерального Государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов», Государственный научный центр Российской Федерации, система научной работы на всем пути создания материалов, начиная с исходных продуктов, получения основных материалов, технологии их переработки, совершенствования материалов и конструкций на их основе по результатам опытных летных испытаний и эксплуатации [1–2].

Авиационные оргстекла являются важнейшими конструкционными неметаллическими материалами внешнего контура самолета. Они должны обеспечивать необходимые прочностные характеристики изделия, обладая при этом высокими оптическими свойствами. Длительное время для остекления самолетов использовалось пластифицированное полиметилметакрилатное стекло (СО-95). Оргстекло с рабочими температурами в интервале $\pm 60^\circ\text{C}$ продолжает эксплуатироваться и сегодня для остекления самолетов со скоростью до 1М.

Отечественная авиация никогда не останавливала своего развития. Потребовалось создать скоростные истребители (со скоростью $\geq 2,5\text{М}$). Необходимо было создать тяжелые самолеты, способные летать со скоростью $\geq 2\text{М}$ в течение нескольких часов. Отсюда новые задачи для материалов авиационного остекления [4–5].

Начиная с 1954 года, в соответствии с Постановлением правительства о создании теплостойких стекол, начальник лаборатории «самолетного остекления» ВИАМ М.М. Гудимов сумел привлечь большой коллектив инженеров ОКБ и производственных предприятий, ученых НИИ АН СССР, химической и авиационной промышленности, институтов Высшей школы. К участию в решении этой проблемы был приглашен академик В.А. Каргин.

На основании этих работ были созданы и исследованы десятки составов теплостойких стекол.

В отличие от зарубежных, отечественные оргстекла создавались на базе линейных полимеров, что обеспечивало их высокую технологичность при переработке, надежность и длительный ресурс в эксплуатации (более 15 лет) [6–7].

С учетом теоретических положений об ориентационных явлениях в полимерах впервые в нашей стране в ВИАМ разработана, а в дальнейшем широко реализована в промышленности технология ориентации органических стекол [8–9].

Ориентированные стекла изготавливаются методом плоскостного растяжения при температуре выше температуры размягчения. Ориентация органического стекла значительно повышает его пластические свойства. Ударная вязкость возрастает в 1,5–2 раза, разрывные удлинения – в 1,5–2 раза, стойкость к растрескиванию под напряжением – в 10–1000 раз. Температура начала проявления вынужденно эластических деформаций (температура хрупкости) смещается в область низких температур. Ориентированное оргстекло менее чувствительно к концентраторам напряжений, обладает, в отличие от неориентированного органического стекла, локальным разрушением при ударных испытаниях, в том числе и в условиях избыточного давления [10–11].

В качестве примера результатов коллективной работы отечественных ученых и инженеров при ведущем участии коллектива

ВИАМ можно привести создание авиационного ориентированного стекла марки АО-120. В качестве исходного для ориентации применено полиметилметакрилатное стекло линейного строения СО-120А, которое первое время применялось на всех самолетах с максимальной скоростью полетов в течение 3–15 минут до 2,1М при температуре на внешней поверхности до 100°C. Ресурс – до 5 лет [12–13].

Ориентированное полиметилметакрилатное стекло АО-120 на основе технологии ориентации стекла СО-120А, получаемого на основе исходного мономера высокой частоты, до сих пор остается основным материалом остекления многих эксплуатирующихся отечественных самолетов. Максимальная скорость в течение 3–15 минут – до 2,35М при температуре на внешней поверхности до 135°C.

Первоначально стекло АО-120 производилось на каждом авиационном предприятии по технологии ВИАМ на оборудовании, проектируемом и производимом НИАТ. Однако потребности в стекле быстро увеличивались.

Во времена СССР на заводах самолетов производили больше, чем во всем мире. Соответственно, требовалось создание технологий получения оргстекла, обеспечивающих многотоннажное производство оргстекла для высокоскоростных самолетов.

Такое производство было создано на заводе «Оргстекло» в г. Дзержинске (ДОС). Производство включало все стадии сложной технологии – производство исходных химических продуктов, разработку исходного метилметакрилата (ММА), полимеризацию и изготовление неориентированных стекол и их ориентацию [14–15].

Произошедшие в стране в конце 90-х годов политико-экономические изменения отразились на объемах производства авиационной техники. Сократились предприятия химического производства. Из-за отсутствия полномасштабных заказов снизилось качество основных авиационных стекол СО-120А и АО-120, полностью прекратилось производство не имеющего себе равных в мире теплостойкого стекла Э-2, и оно не может быть восстановлено по экологическим и экономическим причинам.

Для решения возникших проблем было предложено в рамках государственно-частного партнерства организовать научно-производственную кооперацию на базе соглашения между ФГУП ВИАМ, ФГУП «НИИ Полимеров им. Академика В.А. Каргина» и малого предприятия по производству ориентированного стекла ООО «Рошибус». Это предложение было поддержано и реализо-

вано под руководством Генерального директора ФГУП «ВИАМ» академика РАН Е.Н. Каблова.

Созданный научно-производственный союз позволил не только сохранить достижения в области производства и обеспечения предприятий авиационной промышленности высококачественными отечественными авиационными стеклами, но и до настоящего времени обеспечивает создание новых оргстекол и технологических процессов, необходимых для развития отечественного авиастроения [16].

Большим успехом следует считать результат совместных исследований с ООО «Рошибус», работающим по лицензионному договору с ФГУП «ВИАМ», существенное усовершенствование технологии изготовления ПММА ориентированного стекла линейного строения на основе неориентированного стекла СО-120А, производство которого налажено на опытном заводе ФГУП «НИИ Полимеров». ООО «Рошибус» выпускает ориентированное стекло АО-120А, предназначенное для остекления самолетов с повышенными требованиями по оптическим характеристикам. Стекло АО-120А по показателям физико-механических и оптических характеристик значительно превосходит серийное стекло АО-120.

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики ориентированных оргстекол АО-120 и АО-120А.

Ориентированное стекло АО-120А изготавливается в крупногабаритных листах с максимальными линейными размерами до 2050×2300 мм толщиной от 2 до 18 мм по технологическому регламенту, разработанному в соответствии с производственными ФГУП «ВИАМ».

Предельные отклонения от толщины у стекла АО-120А ниже, чем у стекла АО-120 при равной или более высокой степени ориентации. По оптическим показателям «угловое смещение» и «игра изображения» у обоих ориентированных стекол величины установлены равными неориентированным стеклам такой же толщины (методика определения и нормы в соответствии с ГОСТ 10667-90). Для стекол АО-120А дополнительно впервые применена методика контроля оптических характеристик по разработанной технологической инструкции АО «НИТС» для силикатных стекол. Методика заключается в измерении отклонения теневой картины ячеек эталонной сетки при проектировании на экран через испытываемые стекла. При этом угол проектирования эталонной сетки и контролируемая зона стекла устанавливается индивидуально, по заданию конкретного потребителя.

Таблица 1. Сравнительные характеристики ориентированных оргстекол АО-120 и АО-120А.

Показатели	АО-120 ТУ 6-02-5757599-121-90		АО-120 ТУ2216-005-2558743-2001	
1. Назначение и габариты	Для остекления самолетов и вертолетов: от 1450×1450 мм, до 1600×2100 мм		Для остекления самолетов с повышенными требованиями по оптическим характеристикам: от 1700×1850 мм до 2050×2300 мм	
2. Номинальная толщина, мм	Предельные отклонения от толщины, мм	Степень ориентации, %	Предельные отклонения от толщины, мм	Степень ориентации, %
2	±0,35	58	±0,25	73
12	±1,00	41	±0,8	58
16, 18	-	-	±1,2	58
3. Внешние качественные показатели: царапины не грубые, шт. точки /шт./ не более ворсинки свыше 6–10 мм, шт., не более	13 Ø 3–10 мм 8		10 Ø 2–8 мм 2	
4. Оптические показатели; отклонение теневой картины в зависимости от угла визирования	Отсутствует контроль		Введена методика контроля	
5. Физико-механические свойства: ударная вязкость, кДж/м ² , не менее, до 4 мм 8–2 мм 16–18 мм предел текучести при растяжении, МПа, не менее до 4 мм 8–12 мм 16–18 мм	28 31–34 – 78,4 83,3 –		35 39 39 80 85 85	
Правила приемки – количество листов в партии:	100		50	

В стеклах АО-120А практически полностью отсутствуют дефекты по показателям «внешнего вида» – царапины, точки, ворсинки, даже те, которые в меньшем количестве и с размерами по сравнению с АО-120 допущены в технических условиях на стекла АО-120А. Эффект повышения качества ориентированного стекла АО-120А достигнут за счет введения в технологию 100% обязательной механизированной шлифовки и полировки оргстекло после ориентации на специальных современных установках, оклейки стекол после ориентации специальной защитной самоклеющейся пленкой, не оставляющей на поверхности стекол следов клея, защищающей поверхность от царапин и потертостей.

Большинство передовых авиационных предприятий перешли на применение стекла АО-120А взамен ранее применявшегося стекла АО-120.

Авторы статьи благодарят директора ООО «Рошибус» Владимира Хаимовича Розенблюма за долголетнюю совместную работу, бескорыстную взаимопомощь в интересах отечественного авиастроения.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного направления 15.4: Оптические материалы и материалы остекления («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года»).

Литература

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» //Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. № S. С. 7–17.
3. Каблов Е.Н. Шестой технологический уклад //Наука и жизнь. 2010. №4. С. 2–7.
4. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение в XXI веке. Перспективы и задачи //Авиационные материалы. Избранные труды ВИАМ 1932–2002. М.: МИСИС – ВИАМ. 2002. С.23–47.
5. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В., Стратегия развития композиционных и функциональных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 231–242.
6. Сентюрин Е.Г., Богатов В.А., Петрова А.П., Мекалина И.В. Гудимов М.М. – 100 лет со дня рождения выдающегося ученого и организатора науки: буклет /под общ. ред. Е.Н. Каблова М.: ВИАМ 2013. 25 с.
7. Каргин В.А. Слонимский Г.Л. Краткие очерки по физико-химии полимеров. М.: Химия. 1967. 228 с.
8. Сляров Н.М. Путь длиною в 70 лет – от древесины до суперматериалов. /под общ. ред. Е.Н. Каблова. //М.: МИСИС – ВИАМ 1994. С. 370-373.
9. Перов Б.В. Основы создания и применения ориентированных органических стекол в авиационной технике. Автореферат на соискание ученой степени доктора технических наук. ВИАМ. 1972.
10. Гудимов М.М., Перов Б.В. Органическое стекло. М.: Химия. 1981. С. 216.
11. Харитонов Г.М., Мякотина Л.С. Работа остекления фонарей скоростных самолетов в условиях полета //Термопласты в авиационной технике: сборник трудов конференции. М.: ВИАМ. 1974. С. 26–32.
12. Яковлев Н.О. Влияние высокоэластической деформации на напряженно-деформированное состояние авиационных органических стекол: Автореферат дис. к.т.н. М.: ВИАМ. 2013. С. 24.
13. Сентюрин Е.Г., Богатов В.А. Авиационные органические стекла. Проблемы и перспективы. //Авиационные материалы и технологии. 2004. № 3. С. 3–6.
14. Акользин С.В., Фролков А.И. Восстановление работоспособности теплостойкого авиационного остекления при ремонте и эксплуатации //Авиационная промышленность. 2014. № 1. С. 41–44.
15. Приемопередающее устройство: пат. 2293742 Рос. Федерация; заявл. 10.12.2000; опубл. 10.05.03.
16. Приемопередающее устройство: пат. 220984 Рос. Федерация; заявл. 02.11.2001; опубл. 10.01.04.
17. Сентюрин Е.Г., Мекалина И.В., Айзатулина М.К., Исаенкова Ю.А. История создания материалов самолетного остекления и полимерных материалов со специальными свойствами (к 75-летию лаборатории полимерных материалов со специальными свойствами) //Авиационные материалы и технологии. 2017. №3. С. 81–86.