

УДК 629.7:666.001.5(091)

Е.Г. Сентюрин¹, И.В. Мекалина¹, М.К. Айзатулина¹, Ю.А. Исаенкова¹**ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ МАТЕРИАЛОВ САМОЛЕТНОГО ОСТЕКЛЕНИЯ И ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ**

(к 75-летию лаборатории полимерных материалов со специальными свойствами)

DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-3-81-86

Описаны результаты работ с момента образования «Лаборатории самолетного остекления» в мае 1942 г. до настоящего времени – с начала создания и применения прозрачной брони, создания теплоустойчивых конструктивных оргстекел линейного строения до современных частично сшитых оргстекел, освоенных промышленностью, а также будущих теплоустойчивых стекол, атмосферостойкого поликарбоната и слоистых материалов остекления.

Описаны результаты работ с 1964 г. до наших дней по созданию и применению в авиакосмической отрасли непрозрачных термопластов: литые, термоэластопластов, стекло-, угле- и органоластов, вибропоглощающих и тканепленочных материалов, пенополиимидов, фтороластов.

Ключевые слова: броня, полиметилметакрилат, ориентация, отжиг, термостабильность, термопласты.

The results of work have been described since the establishment of the «Laboratory of aircraft glazing» in May 1942 up to the present time. These results include the following information: from the beginning of production and application of transparent armor; development of structural heat-resistant organic glasses of the linear structure up to modern partially cross-linked organic glasses mastered by industry, future heat-resistant glasses, weather-resistant polycarbonate and laminated glazing materials.

The results of work on production and application of nontransparent thermoplastics as follows: molding, thermoplastic elastomers, glass, coal and organic plastics, vibration-absorbing materials, foamed polyimides, fluorine plastics in the aerospace industry have been described since 1964 to our days.

Keywords: armor, poly methyl methacrylate, orientation, annealing, thermal stability, thermoplastics.

¹Федеральное 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

В настоящее время еще мало открытых публикаций об особенностях развития науки и технологий создания и применения конструктивных термопластов – от решения частных практических задач к общим научным основам авиационного материаловедения по применению термопластов [1, 2].

В данной статье показано, как в начале работы ВИАМ по созданию прозрачной авиационной брони были разработаны различные виды прозрачных термопластов – полиметилметакрилатных органических стекол для авиационного остекления, а также как на основе этих работ создан широкий круг авиационных термопластов конструкционного и функционального назначения [3–6].

В июне 2017 г. ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ отметило 85-летний юбилей со дня образования. Среди многих проблем авиационного материаловедения, решавшихся в ВИАМ, создание авиационной брони стало одной из ярких и славных страниц в истории института, авиации и науки.

Многие авторитетные авиационные конструкторы предвоенных лет не верили в возможность

создания бронированного самолета, видели в бронировании только утяжеление и ущерб главным качествам самолета. Тем не менее в 1934 г. основатель ВИАМ И.И. Сидорин со свойственной ему прозорливой дальновидностью поставил задачу по изысканию авиационной брони.

Усилиями созданной в ВИАМ группы специалистов совместно с работниками заводов и конструкторских бюро казавшиеся нереальными задачи стального бронирования первого штурмовика Ил-2 уже в начале войны были решены [7]. Особое место в изысканиях института по проблеме боевой живучести самолетов занимает прозрачная броня.

В начале войны кабины пилотов были негерметичными, щитки и колапки из оргстекел предназначались для защиты глаз и лица летчика. В некоторых случаях для удобства пилотирования на самолетах вообще не было остекления [8].

Работы по прозрачному бронированию самолетов были начаты уже в первый год Великой Отечественной войны. В мае 1942 г. руководством ВИАМ было принято решение о создании лаборатории «Самолетное остекление» в



Рис. 1. Начальник лаборатории, д.х.н., профессор Б.В. Ерофеев



Рис. 2. Заместитель начальника лаборатории М.М. Гудимов

г. Куйбышеве, куда ВИАМ был эвакуирован в начале войны. Начальником лаборатории был назначен доктор химических наук, профессор Б.В. Ерофеев (рис. 1), его заместителем – М.М. Гудимов (рис. 2). Главной задачей лаборатории в период войны стало создание прозрачной брони, в первую очередь для самолета-штурмовика Ил-2. Требовалось создать защиту от бронебойных пуль калибра 7,62 мм. Сложность состояла в том, что броня должна была обладать не только пулестойкостью, но и высокими оптическими свойствами.

Потребовалось проведение широких экспериментальных и теоретических исследований, которые позволили выявить особенности взаимодействия снаряда и брони, установить механизмы внедрения снаряда в бронестеклоблок и его торможения. Параллельно шла напряженная работа по созданию, изготовлению и совершенствованию бронеблоков на заводе «Рулон» в г. Дзержинске (впоследствии ОАО «Дзержинское оргстекло»).

Если для стальной бронезащиты принцип гетерогенности использовался частично в броневых спинках, то в прозрачной броне он являлся единственным средством для решения поставленной задачи. Для освоения выпуска прозрачной брони на заводе была создана межведомственная научно-исследовательская бригада «К-01», работу которой возглавил зам. начальника лаборатории «Самолетное остекление» ВИАМ – М.М. Гудимов.

Защитные свойства прозрачной брони обеспечивались конструкцией, состоящей из бронезащиты – закаленного силикатного стекла («сталинит») и тыльного слоя – «подушки» из органического полиметилметакрилатного стекла. Задачей бронезащиты являлось раздробление бронебойной пули – «подушка» гасила кинетическую энергию пули за счет высокой энергоемкости и вязкости.

Необходимо было также решить проблему локальности при поражении брони, что должно было обеспечивать защиту от поражения одно-

временно несколькими пулями, но при этом частично сохранять прозрачность и возможность пилотирования.

Комплект брони штурмовика Ил-2 состоял из пяти деталей. На «подушки» деталей из оргстекла наклеивалось 17 пластин из закаленного силикатного стекла. При разрушении одной, двух и даже более силикатных пластин сохранялась прозрачность остальных частей остекления. Таким образом была решена задача – совместить высокую пулестойкость и идеальную прозрачность остекления. Опытные образцы брони, изготовленные на заводе, сразу же устанавливали на боевые самолеты. Параллельно с созданием и выпуском прозрачной брони для самолета Ил-2 (рис. 3) велись работы по созданию и прозрачному бронированию самолетов-истребителей Як-1, Як-3, Як-9, Ла-5, Ла-7.



Рис. 3. Самолет Ил-2

Для обеспечения бронирования самолетов пришлось решать многие научные и технологические задачи, которые в дальнейшем – по мере развития и усложнения авиационной техники – стали началом развития самостоятельных научных направлений авиационного материаловедения и технологий.

Анализ всех возможных причин образования дефектов в бронестеклах позволил найти технологические приемы, решить в короткие сроки все задачи, связанные с созданием качественной прозрачной авиационной брони. Это стало началом



Рис. 4. Коллектив лаборатории авиационного остекления и термопластов (1982 г.)

планомерных работ, которые получили развитие при создании деталей остекления, материалов и конструкций остекления по мере усложнения требований к остеклению новых самолетов.

За разработку и освоение прозрачной брони для самолетов генеральных конструкторов С.В. Ильюшина, А.С. Яковлева и С.А. Лавочкина двум сотрудникам ВИАМ – Б.В. Ерофееву и М.М. Гудимову, а также четырем сотрудникам завода №148 была присуждена Сталинская премия.

С первых дней создания в ВИАМ лаборатории «Самолетное остекление» она стала центром создания материалов и технологий для конструкций авиационного остекления. Только в ВИАМ стало возможным не только комплексное решение проблем остекления в направлении создания оргстекла и слоистых материалов на их основе, но и творческое участие в работе специализированных лабораторий и организаций по созданию специальных герметиков, клеев, крепежных лент, прозрачных эластомеров, лакокрасочных материалов, методов испытаний всех материалов остекления. Стало нормой проведение всех работ по остеклению с участием ОКБ, институтов и предприятий авиационной и химической промышленности, Академии наук и высшей школы.

В послевоенное время объем работ по остеклению и их значимость не уменьшились. По инициативе ВИАМ было создано специальное конструкторское бюро (ГСПКБ), призванное решать вопросы конструирования бронестекления, которое позже было реорганизовано в Научно-исследовательский институт технического стекла (АО «НИТС»).

Для обеспечения непрерывного производства исходных химических продуктов при заводе «Оргстекло» был создан филиал ГосНИИОХТ – ведущего института по разработке и производству химически опасных веществ. В настоящее время это ФГУП «НИИ полимеров им. академика В.А. Каргина» с опытным заводом.

В связи с созданием самолетов со скоростями полета, превышающими скорость звука, на всех самолетах начали применяться герметичные кабины. Органическое стекло, применяемое для остекления герметичных кабин, становится типичным конструкционным материалом [9].

Длительное время для остекления самолетов использовалось пластифицированное органическое стекло (СОЛ – ныне оргстекло марки СО-95). Оргстекло СОЛ с рабочими температурами в интервале $\pm 60^{\circ}\text{C}$ успешно применяется для остекления самолетов со скоростью полета до 1 М. Начиная с 1954 г., в соответствии с Постановлением Правительства, при ведущей роли ВИАМ были созданы и исследованы десятки составов теплостойких стекол, паспортизированы пять марок теплостойких стекол СТ-1 (СО-120), 2-55 (СО-140), ТСТ-1, Т-255 и Э-2. В этих работах постоянное участие принимал академик В.А. Каргин. Так, практические результаты исследований и внедрения новых стекол в авиации, осуществившихся сотрудниками ВИАМ (рис. 4), стали основой теоретического обоснования в работах В.А. Каргина, посвященных связи молекулярного и надмолекулярного строения полимеров с их физическими свойствами, особенностям их стеклообразного (вынужденно эластического) и высокоэластического состояний [10].

Основы науки о полимерах были практически реализованы при создании теплостойких органических стекол, впервые использованных в авиации в качестве конструкционных материалов. В дальнейшем, 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.

Ориентированное стекло в отличие от неориентированного при локальном ударе разрушается без трещин – образуется локальное отверстие. Ориентированные стекла получали методом



Рис. 5. Самолет МиГ-31

плоскостного растяжения. В этих работах участвовали ведущие инженеры и научные сотрудники лаборатории, сотрудники НИАТ, ОКБ и заводов. Работы по ориентации были обобщены в докторской диссертации Б.В. Перова [11].

Разработанные органические стекла и технологические процессы их переработки позволили решить важнейшую задачу своевременного обеспечения всех летательных аппаратов остеклением с рабочими температурами до 200°C, а при необходимости и выше. Наиболее теплостойкое фторакрилатное стекло Э-2 по всем показателям превосходило все зарубежные оргстекла и позволило создать остекление самолета МиГ-25, на котором был установлен мировой рекорд скорости. Специалистам ВИАМ совместно с конструкторами и технологами завода «Оргстекло» приходилось участвовать в решении конструктивных задач, корректировать технологию изготовления деталей остекления и их конструкцию по результатам испытания деталей и опыта эксплуатации. Для получения деталей двойной кривизны из оргстекла Э-2, впервые в отечественной практике требовалось проводить полимеризацию высокотоксичного мономера в смонтированных по окончательно профилю деталей формах из полированного силикатного стекла.

Авиационная техника эксплуатируется в достаточно жестких условиях – начиная с 1969 г. в течение 7 лет было зафиксировано 32 случая растрескивания стекол в условиях полета. Для предотвращения случаев растрескивания деталей остекления на основе стекла Э-2 и продления их ресурса на срок более 5 лет, был проведен комплекс работ по созданию новых технологических процессов и материалов, изготовлены детали остекления для стендовых и летных испытаний, а также эксплуатации.

Заводом «Оргстекло» и НИИ полимеров была усовершенствована технология изготовления мономера стекла Э-2. Получен мономер первого сорта для изготовления стекла Э-2 с повышенной термостабильностью для получения стекла Э-2 в ориентированном состоянии и формования криволинейных заготовок остекления из листового

стекла. Ориентированное стекло Э-2У превосходит неориентированное по физико-механическим свойствам и стойкости к растрескиванию при тепловом ударе, рекомендовано взамен неориентированного для многослойного остекления.

Показано, что отжиг и полировка оргстекол позволяют повысить физико-механические свойства стекол и стойкость к поверхностному растрескиванию. Рекомендовано ввести отжиг и полировку оргстекол в процессе их эксплуатации для увеличения ресурса.

Разработаны слоистые материалы из ориентированного и неориентированного стекла Э-2 для изготовления формованных боковых козырьковых и лобовых частей фонаря с применением заливочных слоев. Опыт создания остекления самолета МиГ-25 был учтен при создании остекления самолетов МиГ-31, Ту-144, Ту-160 и др. Для самолета МиГ-31 (рис. 5) на основе стекла Э-2 было разработано еще более теплостойкое сополимерное стекло СО-200.

Созданные в лаборатории органические стекла и технологии актуальны и в настоящее время, являются научной основой при создании остекления отечественной авиационной техники [12].

Помимо проблем остекления, решались и задачи по созданию специальных светофильтрующих покрытий для обеспечения регулируемой способности отражения и поглощения различных видов излучения. Специалисты ВИАМ внесли большой вклад в совместные с НПП «Звезда» работы по созданию светофильтров и остекления гермошлемов космонавтов (рис. 6 и 7).

В 1964 г. в лаборатории остекления было открыто новое научное направление – «Разработка и применение термопластичных материалов в авиакосмической отрасли», а также инициированы работы по созданию, изучению свойств, переработке и применению в авиационной технике различных типов термопластичных материалов для интерьера и внутреннего оборудования самолетов, приборов и агрегатов.

Проведены важные работы по модификации и изучению свойств фторопластов, созданию технологических процессов изготовления фторопластовых



Рис. 6. Детали остекления гермошлемов летчиков и космонавтов



Рис. 7. Остекление гермошлема космонавта

рукавов для топливных систем, работоспособных при температурах от -200 до $+250^{\circ}\text{C}$ в агрессивных средах, что позволило увеличить ресурс рукавов с 10 до 500 ч и более. В лаборатории были начаты и продолжаются работы по изготовлению и внедрению авиационных деталей из термопластов методами литья и экструзии, по нанесению защитных и декоративных покрытий методом напыления.

Произошедшие в стране в конце 1990-х годов политико-экономические изменения отразились на объемах производства авиационной техники. Прекратилась работа многих предприятий химического производства. Из-за отсутствия полномасштабных заказов снизилось качество основных авиационных органических стекол СО-120 и АО-120, полностью прекратилось производство стекла Э-2.

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 предприятием по производству ориентированного стекла ООО «Рошибус». Это предложение было поддержано и реализовано под руководством Генерального директора ФГУП «ВИАМ» академика Е.Н. Каблова.

Ученые и молодые сотрудники объединенной лаборатории «Полимерные материалы со специальными свойствами» в XXI веке продолжают развивать исследования по основным направлениям создания и применения авиационных конструктивных термопластов, начало которым положено в XX веке.

Современные материалы остекления

В результате совместных исследований ФГУП «ВИАМ», ФГУП «НИИ полимеров им. академика В.А. Каргина» и ООО «Рошибус» разработано и

организовано производство оргстекла частично сшитой структуры типа АО-120С с повышенной «серебростойкостью» для замены стекла АО-120, а также стекло ВОС-2АО для замены теплостойкого стекла Э-2 [13–15].

В лаборатории успешно развивается научное направление по ионно-плазменной обработке полимерных материалов. С использованием этого метода наносят тепло- и радиозащитные покрытия на акрилатные и поликарбонатные стекла для слоистых многофункциональных материалов – теплоотражающее, радиопоглощающее и электрообогреваемое остекление, электрохромный пленочный материал [16].

Совместно с АО «Институт Пластмасс» проведен комплекс работ по созданию нового атмосферостойкого оптически прозрачного поликарбоната марки ВТП-8/ПК-ЭА-7,0 (ТУ2256-539-00209349–2015), а также по разработке технологии его формования для использования при создании перспективных образцов военной и гражданской авиационной техники.

Конструктивные непрозрачные термопласты

В последние годы в лаборатории разработаны функциональные материалы, многие из которых нашли применение в промышленности: литьевые термопласты и термоэластопласты, термопластичные стекло-, угле- и органопласты, пенополиимиды. Разработан ряд вибропоглощающих материалов и фторопластов, а также тканепленочные материалы для средств спасения.

В рамках научно-технической политики по стратегическому развитию с 2002 г. реализуется предложенное академиком Е.Н. Кабловым и поддержанное Президентом Российской Федерации В.В. Путиным направление создания в институтах малотоннажных высокотехнологичных производств материалов и компонентов.

Так, разработанная в лаборатории полировочная паста марки ВИАМ-3 для органического стекла [17] нашла широкое применение на многих предприятиях авиационной и других отраслей промышленности. В лаборатории организован производственный участок по ее изготовлению мощностью до 2000 кг/год.

Лаборатория поставляет образцы из непрозрачных термопластов, таких как литые полиамиды марок ПА 610 и ПА-12, окрашенные в различные цвета; листовой стеклопластик КТМС-1П со связующим на основе полисульфона; заготовки из пенополиимида ВКП-5 и др.

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. №8. 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. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2008. №3. С. 2–14.
6. Каблов Е.Н. Роль химии в создании материалов нового поколения для сложных технических систем // *XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: докл. в 5 т. УрО РАН*. 2016. Т. 1. С. 25–26.
7. Скляр Н.М. Путь длиной в 70 лет – от древесины до суперматериалов. М.: МИСИС–ВИАМ, 2002. С. 370–373.
8. Левадный Н.Д. 80 лет для ВВС: от И-5 до МиГ-31. К 80-летию военного представительства на Нижегородском авиастроительном заводе «Сокол» / *Нижегородский авиастроительный завод «Сокол»*. Нижний Новгород, 2012. С. 30–49.
9. 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. М.: ВИАМ, 2013. 25 с.
10. Каргин В.А., Слонимский Г.Л. Краткие очерки по физико-химии полимеров. М.: Химия, 1967. 228 с.
11. Гудимов М.М., Перов Б.В. Органическое стекло. М.: Химия, 1981. 216 с.
12. Мекалина И.В., Сентюрин Е.Г., Климова С.Ф., Богатов В.А. Новые «серебростойкие» органические стекла // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №4. С. 45–48.
13. Богатов В.А., Тригуб Т.С., Мекалина И.В., Айзатулина М.К. Оценка эксплуатационных характеристик новых теплостойких органических стекол ВОС-1 и ВОС-2 // *Авиационные материалы и технологии*. 2010. №1. С. 21–26.
14. Петров А.А., Мекалина И.В., Сентюрин Е.Г., Богатов В.А. Исследование особенностей изготовления деталей остекления из частично сшитых органических стекол // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. №2. С. 32–34.
15. 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.
16. Приемопередающее устройство: пат. 2203804 Рос. Федерация; заявл. 19.12.00; опубл. 10.05.03.
17. Приемопередающее устройство: пат. 20011003081/04 Рос. Федерация; заявл. 09.01.01; опубл. 10.03.03.