

Непрерывное развитие и совершенствование боевой авиационной и ракетной техники приводит к необходимости разработки и создания все более эффективных авиационных средств поражения в целях обеспечения обороноспособности и безопасности государства. На протяжении нескольких последних десятилетий ключевым средством данного типа является управляемое ракетное вооружение, в качестве исполнительного элемента которого применяются управляемые ракеты (далее – УР), обеспечивающие поражение как наземных, так и воздушных целей.

Одним из важнейших и неотъемлемых элементов конструкции современных и перспективных УР является головной антенный радиопрозрачный обтекатель (далее – РПО), предназначенный для придания конструкции УР аэродинамической формы и защиты антенного устройства УР от внешних воздействующих факторов (тепловых, силовых, механических, климатических, спец. факторов и т.д.) в процессе эксплуатации (рис. 1).



Рис.1 – Внешний вид РПО УР производства АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина» (г. Обнинск, Калужская область)

Работоспособность конструкции РПО наряду с его техническими характеристиками фактически определяют тактико-технические характеристики ракеты в целом, формируя ее аэродинамическое качество, точность наведения на

цель и воспринимаемая на себя основные внешние нагрузки в полете. В связи с этим, к конструкции РПО предъявляется комплекс особых технических требований, включая высокую термостойкость и механическую прочность, низкую теплопроводность, минимальную массу, герметичность конструкции и, одно из ключевых требований – радиопрозрачность, как способность материала пропускать без искажений электромагнитное излучение, принимаемое и передаваемое антенной системы управления.

Перечисленные требования существенно ограничивают область материалов, пригодных для использования в конструкции РПО. В настоящий момент всем необходимым требованиям удовлетворяют два основных материала. Это *кварцевая керамика*, используемая преимущественно в конструкциях РПО высокоскоростных УР различного класса, обладающих скоростью полета от 5 до 10 Мах и более, к ним относятся УР ЗКС С-300, ЗРК С-400, крылатые ракеты типа «Калибр» и другие самые современные и перспективные образцы ВВСТ, а также *стеклокерамические материалы* или *ситаллы*, используемые, как правило, для РПО УР аэродромного, корабельного и открытого базирования, к которым относятся УР ЗРК «БУК», ЗРК «Штиль» и другие.

В настоящее время разработка и производство керамических радиопрозрачных обтекателей для УР различного класса осуществляется в Государственном научном центре РФ АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина» (далее – ОНПП «Технология»). С 2012 года в рамках обеспечения Государственного оборонного заказа (ГОЗ) происходит непрерывное увеличение объема заказов на поставку РПО для УР (рис. 2), производимых организациями оборонно-промышленного комплекса РФ, прежде всего АО «Корпорация «ТРВ» и АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей». К 2013-2014 годам в ОНПП «Технология» были достигнуты предельные возможности производства РПО, изначально созданного для проведения НИОКР на новые конструкции РПО, их наземную отработку и изготовление опытных партий.

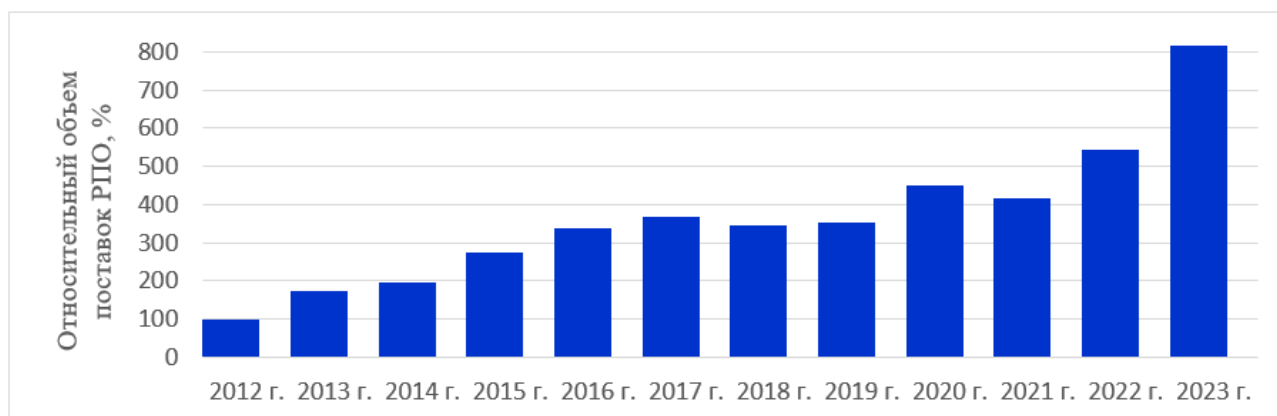


Рис. 2 – Динамика изменения относительного объема поставок керамических РПО за последние годы

Стандартным путем решения проблемы увеличения производственных мощностей в целях обеспечения возрастающего объема ГОЗ могло быть привлечение бюджетных средств на проектирование и строительство новых производственных корпусов, закупку дополнительного оборудования и изготовление технологической оснастки. Стоимость реализации данного проекта еще в ценах 2016 года составляла более 6 млрд. рублей, а срок выполнения не менее 4 лет, что делало невозможным выполнение ГОЗ по поставке РПО для УР в требуемых для страны объемах.

Детальный анализ сложившейся ситуации показал, что наиболее целесообразным и эффективным путем решения задачи обеспечения ГОЗ является разработка и внедрение технологических инноваций, направленных на снижение технологических потерь и увеличение ресурса работы технологического оборудования и оснастки, применение инновационных подходов к расширению производства в условиях имеющихся площадей, а также создание благоприятного инновационного климата на предприятии. Итогом аналитической работы стало решение о проведении комплексной работы по совершенствованию технологического процесса изготовления РПО с последующим внедрением в производство инновационных разработок на базе передовых научных изобретений.

Важным шагом в представленной работе стала разработка и создание в ОНПП «Технология» специализированной MES системы. Впервые в производстве керамических РПО для сбора объективных данных о состоянии технологических цепочек производства в режиме реального времени, обнаружения проблем, сокращения времени на их решение и выяснения причин возникновения брака продукции разработан и внедрен в производство программно-аппаратный управленческий комплекс «ПАУК» с использованием принципов гибкой методологии разработки AGILE. Внедрение комплекса «ПАУК» позволило обеспечить пооперационный учет движения изделий между участками, проводить фиксацию выполнения каждой отдельной операции конкретным исполнителем, осуществлять видеофиксацию выполнения технологических операций, проводить централизованное управление и мониторинг состояния производственного оборудования, выполнять расчеты уровня технологических потерь для каждого конкретного изделия (рис. 3).

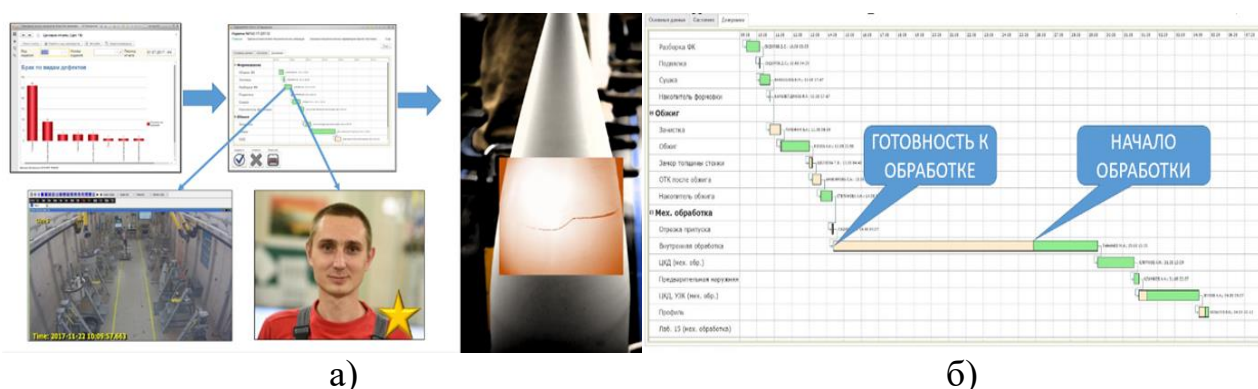


Рисунок 3 – Визуализация функциональных возможностей системы ПАУК:

а) установление и анализ причин возникновения брака; б) поиск технологических простоев

В ходе проведенной работы установлено, что одной из основных причин возникновения брака при изготовлении оболочек РПО из стеклокерамического материала ОТМ-357, получаемого из литийалюмосиликатного (LAS) стекла, является наличие существенного градиента физико-технических свойств по объему изделия. Эта особенность наиболее важна для крупногабаритных изделий высотой от 600 мм до 1200 мм, поскольку существенно затрудняет получение изделий с заданным уровнем радиотехнических характеристик.

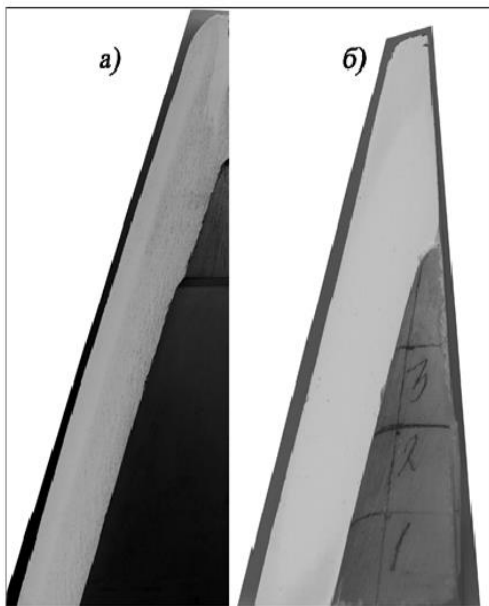


Рис.4 – Рентгенограммы структуры стеклокерамики: а) ОТМ-357; б) ОТМ-357-О

Более равномерную структуру (рис. 4) удалось получить путем разработки нового стеклокерамического материала ОТМ-357-О, при получении которого в качестве сырья применяется закристаллизованное (LAS) стекло. Для кристаллизации LAS стекла разработан инновационный способ кристаллизации с использованием специальных керамических коробов, что позволило в 4 раза увеличить производительность процесса и только за последние 2 года принесло экономический эффект от внедрения более 25 млн. рублей.

Для снижения уровня технологических потерь, образующихся на разных этапах изготовления оболочек РПО, также был применен инновационный подход и проведены работы по глубокому совершенствованию технологии изготовления РПО.

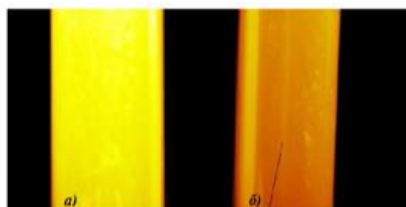


Рис. 5 Термограммы контрольного образца кварцевой трубы (а) и кварцевой трубы с кристобалитом (б).

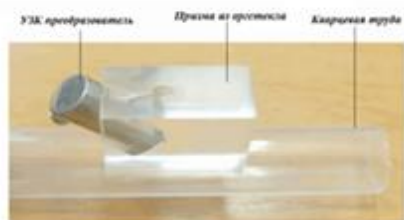


Рис. 6 Схема контроля шероховатости кварцевой трубки, методом УЗК

В результате работ, направленных на обеспечение высокого качества исходного сырья (кварцевого стекла) для изделий из кварцевой керамики, разработаны инновационные способы неразрушающего контроля кварцевых труб, определения склонности их к кристаллизации по наличию кристаллической фазы – кристобалита, заключающиеся в последовательном проведении сплошного теплового (рис. 5) и ультразвукового (рис. 6). Внедрение новых способов позволило улучшить качество контроля и сократить длительность входного контроля сырья на 15 %.

Для снижения количества критических дефектов в виде трещин в заготовках и изделиях из кварцевой керамики проведены исследования по оптимизации технологических параметров приготовления шликера кварцевого стекла, с учетом его кислотности и присутствия коллоидного компонента (кремнезоля). Анализ выявленных закономерностей позволил уменьшить количество брака по трещинам в 2,5 раза.

С целью снижения дефектов в керамических заготовках РПО в виде инородных включений, появляющихся в шликере преимущественно при помоле, были проведены работы по совершенствованию материала керамических футеровочных элементов (плиток) мельниц, используемых для помола и приготовления шликера. Разработан новый корундовый материал ОТМ-943 и технология прессования футеровочной плитки, обладающей бóльшим эксплуатационным ресурсом (ресурс работы плитки увеличен в 8-10 раз).

В результате оптимизации процесса помола разработан и внедрен способ дискретного помола закристаллизованного стекла, заключающийся в поэтапной загрузке материала в заданных массовых соотношениях. Помол стекла дискретным способом позволил сократить длительность операции помола в 3 раза.

Проведен комплекс исследований по увеличению срока службы гипсовых форм, в которых осуществляется формовка керамических заготовок. В результате определен оптимальный состав формовочной смеси с учетом срока ее схватывания, пористости полученного гипсового материала и кинетики набора керамической массы заготовки, позволивший увеличить прочность гипсового материала и срок службы каждой формы в 2-2,5 раза.

Для повышения качества элементов формовой оснастки, увеличения сроков эксплуатации, а также для сокращения технологических потерь на операции формования заготовок проведены исследования процесса формования крупногабаритных керамических заготовок РПО. В результате разработана модернизированная конструкция формового комплекта с применением новой

конструкции сердечника, рабочая поверхность которого изготовлена из



Рис.7 – Сердечник формового комплекта РПО модернизированной конструкции

специального эпоксидно-керамического материала (рис. 7). Новая конструкция формового комплекта позволила обеспечить высокую геометрическую точность рабочей поверхности сердечника, уменьшить отклонения от шаблона до 0,15 мм и снизить шероховатость поверхности до 0,2-0,6 мкм. Кроме того, был разработан и внедрен способ сборки формового комплекта с построением цифровой 3D модели поверхности деталей, что, благодаря оптимизации взаимного расположения деталей, позволило уменьшить фактор разнотолщинности заготовки и снизить вероятность образования в них трещин.

Внедрены усовершенствованные способы формования крупногабаритных керамических изделий с применением локального увлажнения гипсовой формы перед формованием, применены инновационные способы сушки керамических изделий и способы изготовления бомз-подставок для обжига заготовок, что в совокупности позволило снизить технологические потери на 25-30%, а также уменьшить издержки на изготовление дополнительной оснастки.

Для повышения качества и надежности изготавливаемых РПО впервые в стране разработан комплекс новых методов неразрушающего контроля изделий из конструкционной керамики, включающий способ цветной капиллярной дефектоскопии керамических заготовок с последующим удалением индикаторной жидкости из керамического материала, способ визуально-оптического контроля, основанный на эффекте ослабления интенсивности светового потока при прохождении света через дефект в структуре керамики, способы ультразвукового контроля, которые в совокупности, благодаря

своевременной идентификации дефектов позволили на 20 % снизить технологические потери на операциях механической обработки и сборки РПО.

Практическая реализация комплекса передовых изобретений и инновационных разработок, наряду с освоением и оптимизацией серийного производства РПО в условиях, имеющихся в ОНПП «Технология» производственных площадей, позволила успешно выполнить восьмикратно возросшие (с 2012 года) объемы производства РПО для широкой номенклатуры УР и гарантированно обеспечить выполнение ГОЗ по поставке продукции ключевым предприятиям ОПК страны.

Полученные при выполнении ГОЗ инновационные разработки керамических материалов и технологий были успешно использованы для увеличения номенклатуры и объемов гражданской продукции в ОНПП «Технология», в том числе в рамках импортозамещения наукоемкой продукции из керамики на отечественном рынке (рис. 8).

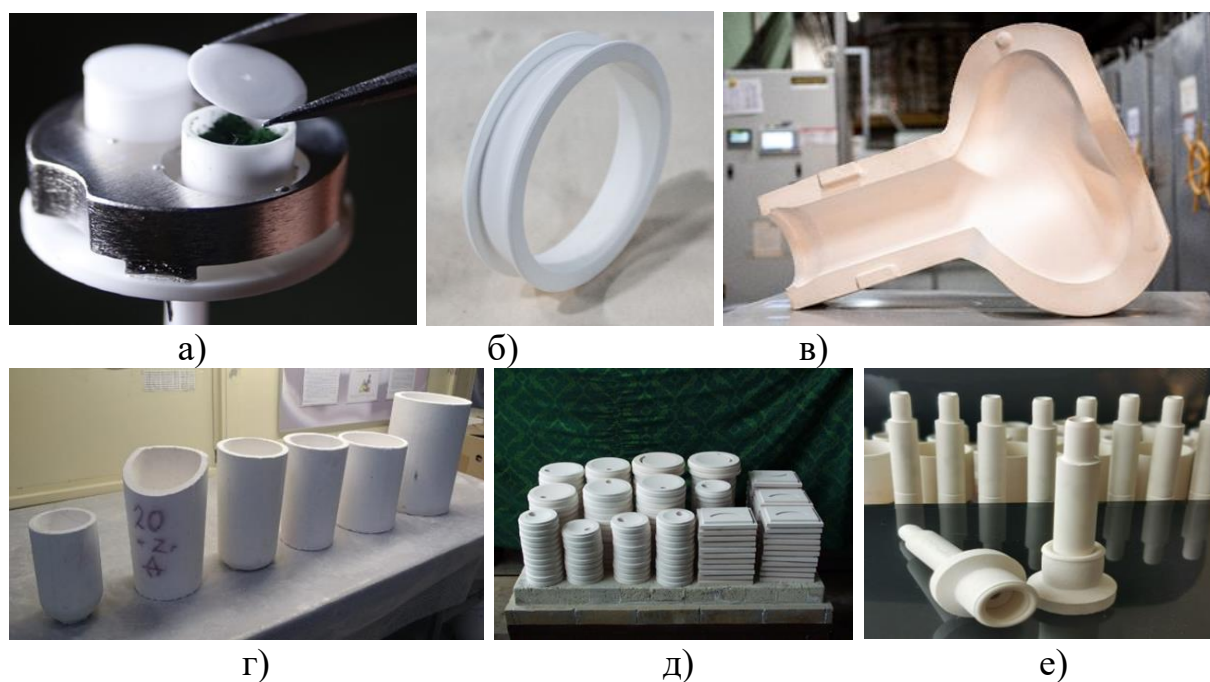


Рис. 8 – Научно-технические керамические изделия гражданского и двойного назначения: а) тигли для ДСК-анализа; б) каркас для гироскопических систем; в) специальная оснастка для изделий из оптического стекла; г) плавильные тигли; д) детали для литья металлов и сплавов; е) форсунки для аддитивного производства

Впервые в стране разработаны и изготовлены такие керамические изделия как: тигли для импортных установок синхронного термического анализа; чехлы



для термозондов; каркасы для специальных измерительных приборов. Впервые налажено производство оснастки для приборостроительных предприятий, плавильных тиглей из корундомуллитовой керамики для металлургических предприятий, изделий из волластонита и материалов на основе  $ZrO_2$ . Одним из новых направлений стала разработка нового корундомуллитового материала ОТМ-938 и технологии изготовления из него керамических теплозащитных плиток для газотурбинных установок тепловых станций. Изготовленная в ОНПП «Технология» опытная партия плиток успешно прошла испытания в камере сгорания в течение 8000 часов при температурах до 1500 °С.

В результате выполненной работы путем *практической реализации передовых изобретений и инноваций* решена важная государственная задача по обеспечению стремительно возросшей потребности предприятий ОПК РФ в радиопрозрачных антенных обтекателях современных и перспективных управляемых ракет различного назначения. Основной акцент был сделан на развитии инновационного подхода к снижению уровня технологических потерь, при этом благодаря новым направлениям в технике и технологиях керамических материалов успешно осуществлена трансформации полученных разработок в производство наукоемкой гражданской продукции.

*Научная ценность, оригинальность и новизна технических решений* работы подтверждается 156 опубликованными научными трудами, в том числе: 63 патентами на изобретения РФ (все патенты имеют дату приоритета до 31.12.2022 г.), 34 из которых внедрены в серийное производство, и 4 свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ.

*Экономический эффект от внедрения результатов работы* в 2022 г. только за счет сокращения технологических потерь составил 117 млн. руб., а с учетом экономии федеральных средств на капитальные вложения – более 6 млрд. руб. В 2023 году экономический эффект вырос до 200 млн. руб., что свидетельствует о высокой эффективности внедренных инноваций.