

А. Н. Ильин

ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МАТЕРИАЛА ГРАФЛЕКС И ТЕХНОЛОГИИ «ХОЛОДНОЙ» ГЕРМЕТИЗАЦИИ СВЕЧЕЙ ЗАЖИГАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО РАЗРЯДА ГТД ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Рассмотрены проблемы герметизации свечей зажигания для газотурбинных двигателей (ГТД). Проведено исследование по применению терморасширенного графита (графлекс) в качестве герметизирующего материала. Приведены результаты по изготовлению, испытанию узлов и вновь разработанных свечей зажигания с применением нового материала по разработанным технологиям. Установлено, что предлагаемые технологии изготовления свечей зажигания, основанные на герметизации графлексом, позволяют механизировать и автоматизировать процесс изготовления свечных изделий. *Свечи зажигания; керамика; уплотнения; гермоводы; герметизация*

В отечественных конструкциях свечей зажигания и в производстве сложились определенные традиционные конструкторско-технологические решения герметизации свечей зажигания поверхностного разряда. Это технология герметизации (армировки) сердечника или так называемая герметизация по центральному электроду методом горячей армировки стеклогерметиком СГИ-11К3 и армировка по корпусу стеклогерметиками С-2, СГН-6, СГН-2, которые предполагают применение исключительно ручного труда с высокой квалификацией исполнителей при постоянном технологическом контроле. Многие операции не поддаются формализации и детальному описанию, что связано исключительно с интуицией и опытом исполнителя. Подобное положение дел не способствует повышению производительности и конкурентоспособности отечественной продукции.

В связи с этим назрела острая необходимость создания новых материалов, конструктивных элементов и технологий, позволяющих автоматизировать процесс проектирования, изготовления и испытаний свечей зажигания для ГТД.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕРМЕТИЗАЦИИ СВЕЧЕЙ ЗАЖИГАНИЯ

Традиционная технология, существующая в отечественном свечном производстве, базируется на герметизации сердечника (цепь центрального электрода в канале изолятора) и по корпусу.

Суть ее состоит в том, что в полость изолятора помещается электрод, затем производится засыпка стеклогерметика, его уплотнение, размягчение в печи, последующее уплотнение пуансоном под давлением и охлаждение.

Данные технологии не позволяют механизировать и автоматизировать процесс изготовления свечей зажигания, и готовые узлы имеют ограничения по температуре эксплуатации 600–650°C.

В то же время в мировой практике широко распространена технология герметизация сердечников автомобильных свечей зажигания (практически у всех зарубежных производителей), где процесс механизирован и частично автоматизирован. В России она имеется на предприятиях УАПО (УЗЭТИ, г. Уфа), «Генрих Бош» (бывший ЭЗАЗ, г. Энгельс).

В зарубежных свечах зажигания для ГТД в качестве герметизирующих материалов широкое применение нашли боросиликатные стекла, тальковые составы и термоосадка. В работах [1–3], указывается, что применение свинцовистых стекол не желательно.

Известно, что в тех конструкциях, где искрообразующие узлы и узлы герметизации функционально и конструктивно разделены (узел герметизации вынесен в зону вентиляторного контура ГТД и температура в этой зоне не превышает 400–450 °С) [4–6], возможно применение других материалов стекла, как это сделано в зарубежных свечах зажигания.

Проблема создания герметичного узла состоит из решения нескольких задач. Одна из них – решение вопроса по согласованности температурных коэффициентов расширения (ТКР) материалов керамики, металлического электро-

да и самого стекла или иного материала (композиции). Из-за разности ТКР в рабочем интервале температур возникают значительные растягивающие напряжения, которые приводят к разрушению спая, появлению трещин, свилей или к потере герметичности узла с течением времени, либо после термических циклов нагружения ввиду слабого адгезионного взаимодействия расплава стекла с металлом. Другая – обеспечение требуемой термостойкости. Следующая – обеспечение технологичности и снижения себестоимости, технологического цикла, возможность механизации и автоматизации.

Анализируя конструкции автомобильных свечей зажигания, свечей зажигания поршневых двигателей и авиационных свечей зажигания разных производителей, можно отметить преемственность конструкторских и технологических решений, применяемых в свечах различного назначения. Это заключается в широком применении герметизации по корпусу методом «термоосадки», либо в применении тальковой композиции в качестве уплотнительного элемента, заневоленной под давлением.

В качестве такого уплотнительного материала фирма «Champion» в автомобильных свечах зажигания применяет композицию на основе талька (у предприятий РФ такого состава нет).

Для того, чтобы искать решение в этом направлении, необходимо проведение целого комплекса конструкторско-технологических и исследовательских работ, которые длительны по времени и не совсем ясны их дальнейшие перспективы. К тому же этот вариант имеет ряд недостатков. Главный из них – это создание нового технологического процесса по производству самого материала и технологии его применения в свечных конструкциях, а это влечет за собой значительные финансовые, материальные и кадровые затраты.

Реальной альтернативой всем перечисленным (известным) решениям, которая позволит решить данную проблему, является поиск материала, выпускаемого промышленностью и имеющего широкое применение в авиации, который будет удовлетворять всем необходимым требованиям, предъявляемым к данному узлу.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Декомпозиции известных конструкций свечей [4–7] и дальнейший их анализ показал, что в процессе воспроизводства подобных свечей

зажигания необходимо решить следующие задачи:

1 – закрепление искрообразующего сердечника в корпусе свечи;

2 – закрепление изолятора высоковольтного вывода узла герметизации в корпусе с одновременной герметизацией сердечника по корпусу;

3 – закрепление вывода центрального электрода в канале изолятора высоковольтного вывода узла герметизации с одновременной герметизацией высоковольтного вывода по сердечнику.

Анализ требований к материалу герметизации, обоснованный в работе [8], а также проведенный поиск подходящего материала позволил предположить возможность применения терморасширенного графита в качестве материала, из которого будет выполнен уплотнительный элемент.

В соответствии с [9] он предназначен для изготовления различных видов уплотнений, используемых в различных отраслях народного хозяйства, в том числе и на предприятиях авиационной промышленности. Согласно техническим характеристикам, уплотнения из листовых прокладочных материалов (ЛПМ) на основе граффлекса могут эксплуатироваться в окислительной среде при температурах $-20...+450$ °С и в инертной среде или в вакууме при температурах $-200...+1200$ °С, а так же могут применяться в рабочих средах: вода, пар, нефть и нефтепродукты.

Однако по опубликованным данным [9] и интернет-информации от производителя, применение граффлекса нашло в основном в фланцевых и торцевых уплотнениях, а также в качестве сальниковой набивки в арматуре трубопроводов. В свечном производстве для реализации задач герметизации данный материал не применялся.

Анализ приведенных выше свойств граффлекса на соответствие требований к материалу [8] дает основания предположить, что применение данного материала даст определенные конструктивные и технологические преимущества, выражающиеся в виде сокращения трудоемкости изготовления, снижения уровня разряда исполнителей, значительного сокращения технологического цикла, сокращение числа элементов конструкции. А также не потребуются разработки специального процесса, поскольку является покупным материалом, широко применяется в авиадвигателестроении, производится

рядом предприятий и не является дефицитным материалом.

Поскольку материал обладает упругими свойствами, то следует предположить, что согласования по ТКР в таких конструкциях не требуется, поскольку он сам будет компенсировать возникающие напряжения.

В связи с таким положением дел необходимо проведение комплекса работ по выяснению возможности применения граффлекса в качестве герметизирующего элемента и разработки соответствующей технологии.

Таким образом, целью данной работы является выявление:

- условий применения граффлекса в конструкциях свечей зажигания для ГТД;
- условий проведения «холодной» герметизации как по корпусу на различных диаметрах, так и по центральному электроду;
- возможности и условия технологического обеспечения герметичности узлов на основе анализа результатов испытаний на термостойкость с последующей проверкой герметичности;
- условий обеспечения герметичности узлов;
- возможности изготовления свечей зажигания, герметизированных «графлексом»;
- границ применимости исследуемого материала.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

Ниже описываемые работы проводились на предприятиях ЗАО «Авиапирс» [10], НПФ «Теплофизика» и частично УНПП «Молния» [11–13].

Исходя из технических характеристик материала, было предложено провести опытные работы по отработке возможности так называемой «холодной герметизации» элементов свечей зажигания для ГТД (герметизация без температурных воздействий).

Для этого подготовлены образцы керамических изоляторов из серийно выпускаемых промышленностью, изготовлены по заказам центральные электроды, корпуса и макеты свечей на НПФ «Теплофизика».

Отработка велась в нескольких направлениях. Первое – закрепление искрообразующего узла в корпусе, второе – герметизация по центральному электроду и третье – герметизация по корпусу.

В связи с этим были проведены работы по проектированию и изготовлению оснастки для вырубки граффлексовых шайб. Из рис. 1, *а*, *б* видна простота установки граффлексовых шайб на сердечник с сохранением формы и целостности конструкции. Следует отметить, что выполнение подобной операции тальковыми композициями весьма проблематично. И усугубляется это при установке узла в корпус, поскольку шайбы плотно прилегают к внутренним стенкам корпуса.

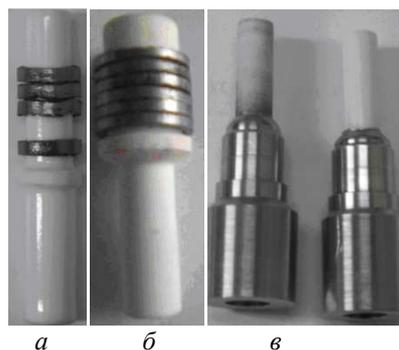


Рис. 1: *а* – сердечник искрообразующий с шайбами из граффлекса; *б* – изолятор узла герметизации с шайбами из граффлекса; *в* – сердечник, закрепленный в корпусе завальцовкой через шайбы граффлекса

Для сравнения результатов работ по обоим направлениям были разработаны и изготовлены макеты, в которые помещались конструктивные элементы (шайбы) как из тальковой композиции, так и из граффлекса. На этих макетах были отработаны технологические режимы завальцовки в соответствии с программой. Установлено, что для тальковых композиций размер под завальцовку должен быть $1^{+0.2}$ мм, для граффлекса возможна установка заподлицо. Определено, что завальцовка может быть осуществлена как на токарном станке (обкатка роликами), так и на прессе при помощи сменных пуансонов [11].

После технологических отработок макеты были подвергнуты испытаниям на термическую стойкость. Испытания проводились по режиму: $+400\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 мин с охлаждением на воздухе (4 цикла), затем $+650\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 мин с охлаждением на воздухе (4 цикла), затем $+700\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 60 мин с охлаждением под струей воды (2 цикла), затем $+900\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 мин с охлаждением на воздухе (2 цикла). После чего был проведен визуальный контроль на отсутствие видимых внешних повреждений. Со-

стояние макетов после испытаний удовлетворительное, трещин на керамике не обнаружено.

Макет, в котором находились графлексовые шайбы, был зафуксинен, после подвергнут разрезке и дефектации (рис. 2). Состояние графлексовых шайб удовлетворительное. При осмотре через микроскоп МБС-9 с 16-ти кратным увеличением трещин на керамике не обнаружено, узел герметичен.



Рис. 2. Завальцовка и графлексовые шайбы после испытаний

Поскольку после сравнительных испытаний существенных отличий в поведении макетов с различными материалами-наполнителями под завальцовку, а также в состоянии самой завальцовки не обнаружено, то принято решение по дальнейшей отработке конструкции с графлексовыми шайбами. В результате этого происходит упрощение решений всех технических вопросов, начиная с самого материала, его получения, сокращения технологического времени на выполнение подготовительных, сборочных и окончательных операций (технологического цикла изготовления узла), снижения требований к квалификации выполнения работ.

В результате проведения опытных работ по отработке операций «завальцовка» была получена следующая технология:

1. Вырубить из листа графлекса 3 шайбы просечкой.
2. Промыть и высушить 4 шайбы из материала НП-2.
3. Скомплектовать: 4 шайбы из НП-2, 3 шайбы из графлекса, изолятор искрообразующий, корпус имитатора свечи.
4. Установить на бурт изолятора искрообразующего 2 шайбы из НП-2, поверх одеть 1 шайбу из графлекса, затем 1 шайбу из НП-2, далее 1 шайбу из графлекса, опять 1 шайбу из НП-2, далее 1 шайбу из графлекса.
5. Протереть ножку изолятора тампоном или салфеткой, очищая от натиров, налетов, потемнений и грязи.
6. Установить полученную конструкцию в корпус имитатора свечи. Для этого одеть спе-

циальный пуансон на ножку изолятора искрообразующего. Установить торец корпуса на ровную плоскую поверхность и поджать специальным пуансоном набор шайб на изоляторе до посадки их по месту под завальцовку.

7. Установить собранный узел корпуса в проем ручного пресса на слесарном участке. Поставить сверху пуансон № 1 с углом 30° и, плавно надавливая, произвести ориентацию по углу (показания по манометру 25). Далее поставить пуансон № 2 с углом 60° и подпрессовать на прессе (показания по манометру 30). Установить пуансон № 3 с углом 90° и допрессовать (показания по манометру 30).

8. Снять корпус с пресса и проверить подвижку изолятора со стороны рабочего торца путем надавливания. Отсутствие подвижки свидетельствует о достаточности завальцовки. При наличии подвижки провести допрессовку через пуансон № 4 с углом 180° (показания по манометру 20–25).

В результате выполнения операции «завальцовка» был получен узел, показанный на рис.1, в, который в дальнейшем сварен с корпусом.

Для дальнейшего продолжения работ по отработке герметизации по корпусу различными составами были разработаны разборные макеты узлов свечей, которые в дальнейшем были изготовлены и последующие работы проводились на них [12, 13].

На специальных макетах были собраны свечи, загерметизированные шайбами из графлекса по корпусу, с отверстием под изоляторы 8 мм, 9 мм, 10 мм.

Для оценки качества герметизации проводились испытания по следующей методике:

- собранный и загерметизированный узел подвергается циклическим испытаниям на стойкость к теплосменам;
- после окончания теплосмен узел визуально осматривается на наличие или отсутствие внешних повреждений;
- после визуального осмотра узел подвергается проверке на герметичность пневматическим давлением с выдержкой при каждом из значений не менее чем 1 мин в спирте. Оценка проводится визуально по пузырькам.

При проведении отработок были попытки положить два графлексовых кольца и провести уплотнение (герметичность на этапе сборки не обеспечивается). Установлено, что герметизация обеспечивается лишь в том случае, когда

количество шайб не менее 6 шт. Прокладывание дополнительных прокладок из материала НП-2 через две графлексовые шайбы не дает удовлетворительных результатов. Такие же результаты, как без прокладок, получаются, если прокладывать их через три шайбы из графлекса. При этом уплотнение (герметизация узла) осуществлялось в приспособлении для проверки герметичности с поджатием втулки затяжкой за шестигранник до обеспечения герметичности 35 кг/см^2 . Для обеспечения герметичности после испытаний на теплосмены, после получения герметичного узла проводилась дотяжка по резьбовому соединению на пол-оборота динамометрическим ключом. Показания динамометрического ключа при этом оказались не показательными, поскольку имеют широкий разброс показаний во время проведения операции, поэтому они не могут быть рекомендованы для регламентации выполнения работ по герметизации.

Дополнительно был опробован для герметизации модифицированный глиноземо-тальковый состав. Он был помещен в камеру герметизации насыпанием гранулированного состава с последующим уплотнением через пуансон прессом давлением 2 т (при приложении давления 3 т и более происходит разрушение керамического изолятора). После чего от руки состав был зафиксирован резьбовой втулкой. Узел герметичен при испытании пневматическим давлением 35 кг/см^2 .

Оба узла (уплотнение графлексом и уплотнение модифицированное «жидким стеклом» глиноземо-талькового состава) были подвергнуты двум термоударами 400°C в течение 1 ч с последующим охлаждением в воде до комнатной температуры. После чего узлы проверены на герметичность пневматическим давлением 5, 10, 15, 20, 25, 30 кг/см^2 с выдержкой при каждом из значений в течение 3 мин. Узлы герметичны.

После получения такого результата было решено провести сравнительные испытания узлов, герметизированных глиноземо-тальковым составом, составом свечи «Champion», модифицированным «жидким стеклом» глиноземо-талькового состава и графлексом на термостойкость и герметичность.

Все четыре узла были подвергнуты термоудару по режиму: нагрев и выдержка при 500°C в течение 1 ч с последующим охлаждением первых двух вышеуказанных узлов на воздухе до комнатной температуры, а следующие два узла с последующим охлаждением в струе проточной (холодной) воды – до комнатной темпера-

туры. После макеты были проверены на герметичность пневматическим давлением 10 кг/см^2 (узел с материалом со свечи «Champion» абсолютно негерметичен, остальные узлы герметичны), 20 кг/см^2 (узел с глиноземо-тальковым составом умеет утечку 4–5 пузырей за 30 сек, остальные узлы герметичны), 30 кг/см^2 (оставшиеся два узла герметичны), с выдержкой при каждом из них в течение 2 мин.

Оставшиеся два узла (уплотнение графлексом и уплотнение, модифицированное «жидким стеклом» глиноземо-талькового состава) были подвергнуты термоударам 600°C в течение 1 ч с последующим охлаждением в воде до комнатной температуры (три термоудара). После чего узлы проверены на герметичность пневматическим давлением 5, 10, 15, 20, 25, 30 кг/см^2 с выдержкой при каждом из значений в течение 3 мин. Узлы герметичны.

Дополнительно узлы, уплотненные графлексом, подверглись двум термоударам по режиму нагрев до 900°C , выдержка 30 мин и охлаждение на воздухе до комнатной температуры. Проверка узлов на герметичность пневматическим давлением 40 кг/см^2 с выдержкой 2 мин показала, что узлы герметичны.

После окончания испытаний узлы были рентгенографированы (по снимкам ничего не видно, поэтому этот метод для контроля качества подобных конструкций узлов не пригоден).

Для оценки состояний элементов конструкции узлы макетов были разобраны и подвергнуты дефектации (рис. 3–4)

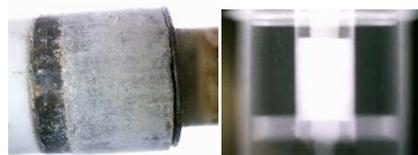


Рис. 3. Состояние материала со свечи Champion после проведения испытаний в макетах и рентгенограмма узла (справа)

В результате проведенных работ установлено, что в том конструктивном исполнении узел с материалом со свечи «Champion» по сравнению с материалами испытанными совместно с ним, имеет ограничение по эксплуатационным режимам (температура эксплуатации $400\text{--}450^\circ\text{C}$ и рабочее давление $22\text{--}25 \text{ кг/см}^2$), что подтверждает данные [14–18].

Результаты дефектации макета с графлексом см. на рис. 4. На рис. 3 и 4 показаны элементы разобранного макета свечи после испытаний на

теплосмены и проверку герметичности. В результате проведенной дефектации выявлена адгезия графлекса к металлическим элементам конструкции. Особенно это проявляется после термических циклов нагружений. Однако к керамическим частям конструкции адгезия графлекса отсутствует. Установлено, что особенно адгезия проявляется, если имеются технологические зазоры между корпусом и втулкой (кольцом, шайбой) и обеспечивается условие пластического течения материала в зазоры, представляющие собой капиллярную трубку.



Рис. 4. Состояние макета с графлексом после испытаний и рентгенограмма узла (справа)

Материал из терморасширенного графита (графлекс) был опробован на разные посадочные диаметры и сечения уплотнительного элемента. При этом получены стабильные результаты.

Полученные положительные результаты по герметизации по корпусу позволили подойти к решению проблемы обеспечения герметичности в цепи центрального электрода. Проведена отработка герметизации по центральному электроду (с разрывом цепи центрального электрода и без разрыва), по корпусу (на малых диаметрах и на больших).

При этом установлено, что для обеспечения герметичности достаточный минимальный размер после уплотнения равен 8–10 мм. Возможно несколько способов герметизации. Первый – подготовленными кольцами (вырубленными или вырезанными), второй – остатками после вырубки (крошкой), либо специально подготовленными гранулами. Таким образом, производство технологии уплотнения «графлексом» является безотходным.

В любом случае для успешной герметизации необходимо получение зазоров определенной величины. При этом создаются условия, при которых происходит упруго-пластическое течение материала и он заполняет капиллярные зазоры как при пайке различных материалов [2, 3]. При этом удельные давления не являются главным фактором. В результате проведенного комплекса работ установлено, что величина за-

зора должна находиться в диапазоне 0,15...0,5 мм.

Наиболее важным является выполнение условия пластического течения материала в зазоры. При этом герметизирующий материал из различных кусков превращается в монолит и при определенной скорости перемещения пуансона создаются условия для адгезионного сцепления с металлическими поверхностями центрального электрода и корпуса. При превышении определенного значения давления (3 т) либо скорости деформации, при уплотнении происходит раздутие материала корпуса либо разрушение керамического изолятора. Установлено, что наиболее рациональным является обеспечение давления в 2,5 т.

Для подтверждения достоверности проведенного комплекса работ были специально разработаны, изготовлены и испытаны на герметичность на специальном стенде свечи зажигания. Варианты свечей с различными рабочими частями испытаны на бесперебойность искрообразования и на выброс выделившегося объема плазмы от стандартного агрегата зажигания с накопленной энергией 3 Дж.

В результате проведенных обработок были разработаны свечи с конкретными выходными параметрами для комплектации газоперекачивающих агрегатов, которые прошли автономную отработку на горелках и поставлены в опытную эксплуатацию на станции. Результаты обработок и опытной эксплуатации положительные.

После окончания комплекса испытаний часть свечей подверглась разборке с целью проведения дефектации. Результаты приведены на рис. 5.

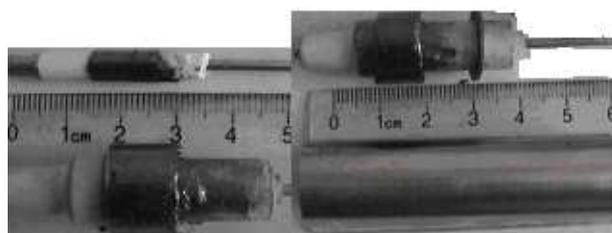


Рис. 5. Результаты дефектации свечей после испытаний

На рис. 5 видно, что элементы конструкции свечи целые (без разрушений), уплотнительные элементы представляют собой монолит.

Таким образом, можно сказать, что отработаны технологические приемы и режимы изготовления свечей, которые не требуют уникаль-

ного дорогостоящего оборудования, обеспечивают требуемый уровень герметичности.

На следующем этапе работ проведена отработка герметизации по корпусу на больших диаметрах изоляторов и корпусных элементах [12, 13]. Полученные результаты проведенных работ аналогичны вышеописанным.

В результате проведенных работ по отработке узла «холодной» герметизации (уплотнения) на больших диаметрах изоляторов определено, что минимальное количество графлексовых шайб, обеспечивающих необходимый уровень герметичности, равно шести штукам. Прокладывание дополнительных металлических шайб из материала НП-2 существенного влияния на получаемый результат не оказало.

Установлено, что нет необходимости устанавливать медное уплотняющее кольцо на опорную поверхность изолятора. Вместо него достаточно установить одно кольцо из графлекса. В этом случае выполняется двойная функция.

Установлены и подтверждены полученные ранее результаты при отработке герметизации на изоляторе малого диаметра:

- после уплотнения графлексовые кольца приобретают форму и свойства монолита;
- после уплотнения величина уплотненного слоя, обеспечивающего необходимые значения герметичности, составляет 10 мм;
- после снятия нагрузки не происходит разупрочнения деформированного слоя, образованного кольцами графлекса, что позволяет использовать различные конструктивно-технологические приемы и схемы закрепления элементов узла.

В результате проведенных работ по отработке наиболее важных технических решений, было сформировано и реализовано конструктивно-технологическое лицо свечи зажигания, интегрированной с запальным устройством (рис. 6).

Таким образом, были разработаны и изготовлены свечи с реализацией способов герметизации «графлексом» по центральному электроду и по корпусу. Это положило основу разработки методики проектирования перспективных свечей зажигания на новых принципах, которые включают разработку не только конструкторской документации (КД), но и технологии изготовления свечей, оснастки, их унификацию, разработки производственных схем и циклов изготовления в зависимости от вида производства (опытное, единичное, серийное, массовое),

а также механизацию и автоматизацию производства.

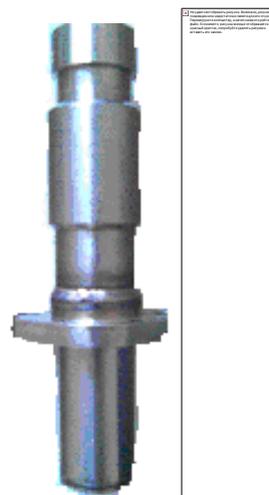


Рис. 6. Свеча интегрированная с запальным устройством и рентгенограмма свечи (справа)

Проведенные испытания изготовленных свечей показали, что обеспечивается термостойкость до $+800^{\circ}\text{C}$ и герметичность уплотнения до 40 кгс/см^2 , бесперебойность искрообразования.

Изготовленные реальные образцы и испытанные на работоспособность в лабораторных и автономных условиях показали практическую возможность механизации и автоматизации изготовления свечей зажигания поверхностного разряда для ГТД различного назначения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По полученным данным предлагаемый способ герметизации материалом из терморасширенного графита (графлекс) позволяет добиваться эксплуатации при температурах $700\text{--}900^{\circ}\text{C}$ и рабочих давлениях $35\text{--}40\text{ кгс/см}^2$.

Проведенный комплекс работ позволил сформировать инженерную методику проектирования подобных конструкций свечей как целого класса с унифицированными элементами и узлами свечей зажигания, позволяющих в короткие сроки проектировать и изготавливать свечи зажигания различного назначения, а также методики расчета технологических режимов изготовления и сборки свечей зажигания. Кроме всего прочего предлагаемые подходы распространяются на высоковольтные узлы ввода-вывода различных электротехнических устройств, в том числе и высоковольтные выводы агрегатов зажигания, пирометрических устройств и устройств контроля пламени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ковалевский Р. Е., Чемрев А. А.** Конструирование и технология вакуумноплотных паяных соединений. М.: Энергия, 1968. 208 с.
2. **Преснов В. А., Новодворский Ю.Б., Якубена М. П.** Основы техники и физики спая. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1961. 232 с.
3. **Веклич П. М., Ощипков Ф. П., Фролов В. К.** Технология электровакуумного стекла. М.: Гос. энергетическ. изд-во, 1961. 264 с.
4. **Либман Г. А., Мурысев А. Н., Поротова А. А.** «Молния» Полупроводниковая свеча зажигания для ГТД: Патент RU 20228023 С1 6 Н01Т13/00 УАКБ. 27.01.93.
5. **Либман Г. А., Мурысев А. Н., Киселевич В. М.** «Молния» Полупроводниковая свеча зажигания: Патент RU 2007004 С1 5 Н01Т13/00 УАКБ. 30.01.94.
6. www.Championaerospacecatalog.
7. **Гизатуллин Ф. А.** Системы зажигания двигателей летательных аппаратов: учеб. пособие; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа, 1998. 115 с.
8. **Ильин А. Н.** Разработка герметизирующих составов для свечей зажигания на основе тальковых композиций // Вестник УГАТУ. 2012. Т. 16, № 1. С. 30–37.
9. Графлекс ТУ 5728-028-1326785-03.
10. **Ильин А. Н.** Научно-технический отчет «Разработка, проектирование конструкций, технологий узлов и непосредственно самих свечей зажигания различного назначения»; Авиапирс Лимитед, Уфа, 2010. 65 с.
11. **Ильин А. Н., Мухаматуллин Р. Ф.** Отчет № 2 – ЗДЗ-2009 «Закрепление искрообразующего изолятора (сердечника) в корпусе свечи», УНПП «Молния», Уфа, 2009. 11 с.
12. **Ильин А. Н.** Отчет № 4 – ЗДЗ-2009 «Закрепление изолятора высоковольтного вывода узла герметизации в корпусе с одновременной герметизацией сердечника по корпусу», УНПП «Молния», Уфа, 2010. 13 с.
13. **Ильин А. Н.** Отчет № 4 – ЗДЗ-2010 «Закрепление изолятора высоковольтного вывода узла герметизации в корпусе с одновременной герметизацией сердечника по корпусу», УНПП «Молния», Уфа, 2010. 15 с.
14. Патент США US 2020967. О. С. RONDE. Свеча зажигания и метод ее производства. Nov. 12, 1935.
15. Патент GB 1085333. Свеча зажигания с улучшенным уплотнением между корпусом и изолятором.
16. **Lenty L. R., Kosydar D. A.** Свеча зажигания с улучшенным уплотнением между корпусом и изолятором: Патент США CA 787682.
17. Патент США CA 1125606. Уплотнение свечи зажигания. Mar. 11, 1980.
18. Патент США EP 1168544. Свеча зажигания и метод ее производства.

ОБ АВТОРЕ

Ильин Александр Николаевич, доц. каф. стандартизации и сертификации. Дипл. инженер по автоматизации технологическ. процессов (УГАТУ, 1995). Канд. техн. наук по автоматизация технологическ. процессов (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. создания перспективных свечей и систем зажигания, автоматизации технологических процессов, диагностики технических объектов.