

УДК 621.941

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БОРОСИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ СЕРДЕЧНИКА СВЕЧИ ЗАЖИГАНИЯ ДЛЯ ГТД

А. Н. Ильин

aleksandr.ilin.71@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 01.02.2020

Аннотация. Проведено исследование возможности применения боросиликатных стекол для герметизации свечей зажигания, а также влияния различных материалов центрального электрода свечи зажигания на обеспечение герметичности спаев металл-стекло-керамика, различных технологических схем, режимов пайки боросиликатным стеклом молибденовой группы. Показано, что возможна пайка боросиликатным стеклом в окислительной среде при сочетании определенных пар металл-стекло-керамика и определенном режиме пайки с обеспечением герметичности и термостойкости узла. Установлено, что предлагаемая технология пайки позволяет механизировать и автоматизировать процесс изготовления керамических сердечников.

Ключевые слова: титановый сплав; керамика; стекло; спаи; гермовводы; герметизация; сплав ковар; боросиликатные стекла.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение герметичности свечей зажигания различного назначения является важной составляющей системы обеспечения безопасности эксплуатации объектов, построенных на базе газотурбинных установок (ГТУ). Прорыв горячих газов из камеры сгорания ГТД может привести к пожару на объекте. Если этот объект – газоперекачивающая станция или летательный аппарат (ЛА), то последствия от аварии могут быть серьезными. Поскольку свеча зажигания является элементом горячего тракта ГТУ, то и решение вопросов обеспечения герметичности весьма актуально.

Традиционным решением обеспечения герметичности свечей зажигания в мировой практике является герметизация стеклокомпозициями (пайка стеклом), которую еще называют «горячей армировкой».

В отечественных конструкциях свечей зажигания и производстве сложились определенные традиционные конструкторско-технологические решения герметизации сердечника, или так называемая герметизация по центральному электроду методом горячей армировки стеклогерметиком СГИ-11КЗ, 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.

Рассмотрим технологию герметизации на примере сердечников искрообразующих узлов плазменных свечей зажигания для ГТД СПЛ-03, СПЛ-117, СПЛ-01, СПЛ-03-3 (рис. 1).



Рис. 1. Конструкция искрообразующего узла

Суть ее состоит в том, что в полость изолятора помещается электрод, производится засыпка стеклогерметика (представляющего собой свинцовистую стеклокомпозицию) и его уплотнение с помощью пуансона. Полученный узел помещается в разогретую до определенной температуры печь (до температуры на 50–70 °С выше, чем температура размягчения стеклогерметика), выдерживается определенное время, после стеклогерметик уплотняется на ручном прессе через армировочный пуансон, проверяется узел на герметичность пневматическим давлением определенного значения, контролируется по рентгенограммам узлов на соответствие их контрольным образцам и на недопустимость определенного вида дефектов.

Как видно, данная технология не предполагает возможность механизировать и автоматизировать процесс изготовления сердечников.

В то же время в мировой практике широко распространена технология герметизации 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 ЭАЗ, г. Энгельс).

Данная технология представляет собой конвейерную линию, на которой через питатели и бункеры последовательно подаются составляющие конструкции с определенным шагом, где происходит сборка узла. Далее он поступает в конвейерную печь с различными температурными зонами, где

происходит разогрев узлов по определенному закону до некоторой температуры выше температуры размягчения стеклокомпозиции и выдержка с подачей под пресс для армировки, настроенный на определенное значение давления. Стабильность и качество процесса герметизации в данном случае определяются свойствами стеклогерметика и правильно выбранными технологическими режимами. Для линий герметизации сердечников автомобильных свечей зажигания применяют стеклогерметик СГИ-12 на основе свинцовистого стекла (УАПО (УЗЭТИ)).

В работах [6, 7] указывается, что применение свинцовистых стекол нежелательно. Одной из причин указывается тот факт, что во время горячей армировки происходит восстановление свинца, и он выделяется в виде крупных капель на центральном электроде, что в последующем приводит к нарушению герметичности конструкций.

Конструктивные особенности свечей зажигания для ГТД и их узлов таковы, что применить технологию герметизации сердечников автомобильных свечей зажигания с целью автоматизации и механизации технологического процесса, для конструкций свечей для ГТД в нынешнем состоянии не представляется возможным. Одной из причин является отсутствие необходимых материалов герметизации.

В зарубежных свечах зажигания для ГТД в качестве герметизирующих материалов широкое применение нашли боросиликатные стекла.

Ввиду данного обстоятельства необходимо было проверить возможность применения боросиликатных стекол для герметизации сердечников свечей зажигания.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Задача создания герметичного узла состоит из решения нескольких задач. Одна из них – решение вопроса по согласованности температурного коэффициента расширения (ТКР) материалов керамики, металлического электрода и самого стекла. Другая – обеспечение требуемой термостойкости. Следующая – обеспечение технологичности и снижения себестоимости, технологического цикла, возможность механизации и автоматизации.

В связи с необходимостью обеспечения этих требований работы велись в нескольких направлениях. Это поиск стекла, производимого специализированными стекольными предприятиями, способного удовлетворить заданным требованиям, и разработка нового стекла.

Из литературных источников известно, что число металлов, способных образовывать спаи со стеклом, обширно и согласованные с ними по коэффициенту термического расширения (КТР) стекла подразделяют на группы. Основные группы следующие: кварцевая, вольфрамовая (согласованные спаи с вольфрамом), молибденовая (согласованные спаи с молибденом и коваром), титановая (согласованные спаи с титаном), платинитовая (согласованные спаи с платинитом), железная (согласованные спаи с малоуглеродистой сталью), переходная.

Наибольшее распространение и применение нашли стекла молибденовой группы, образующие спаи с молибденом и с коваром в вводах для микроэлектроники, в качестве стекла ламп-фар, стекла электронно-лучевых трубок и т. д. [4–7].

В зависимости от условий работы стекло-металло-керамическое соединение должно частично или полностью удовлетворять требованиям механической прочности, герметичности, электрической прочности, термостойкости. Для реализации данных требований соединяемые стекло и металл должны иметь КТР, согласованные во всем рабочем диапазоне температур. Это необходимо, чтобы образующиеся в спае механические напряжения не превышали прочность спая. Помимо прочего для обеспечения герметичности спая необходимо наличие на поверхности металла тонкой пленки оксида, хорошо смачиваемого и растворяющегося в размягченном стекле.

Известно, что сплав 29НК (ковар) был создан под существующие стекла С49-1, С49-2, С52-1, С47-1, С48-1 и Corning 7052 и согласован с ними по ТКР в диапазоне температур от -70 до $+420$ °С, сплав 33НК – под стекло С72-4 и согласован с ним в диапазоне температур от -70 до $+450$ °С.

В нашем случае стекло должно быть согласовано по КТР с керамикой и металлом. В качестве материала изолятора свечей зажигания применяют керамические массы «Синоксаль» (С-49 или М7), «5М4», «Хилумина», «ВК-95-2», представляющие класс высокоглиноземистой керамики или корундовой (алюмооксидной) керамики с содержанием Al_2O_3 не менее 94 %.

Наиболее согласованными по КТР с керамикой из С-49, 5М-4, ВК-95-2 и «Хилумина» являются стекла молибденовой группы С-49, С-52. Со стеклами этой группы хорошо согласуются сплавы типа ковар 29НК и 33НК, а также молибден.

Из литературных данных [4–7] известно, что пайка ковара, молибдена со стеклом молибденовой группы проводится либо в восстановительной среде водорода, либо в инертной среде аргона, либо в вакууме по специальной технологии и длительными подготовительными операциями.

Для решения вопроса обеспечения герметичности узлов и свечей зажигания в целом необходимо решить несколько задач.

Первая из них – это выбор и согласование материалов керамического изолятора, центрального электрода и стекла по коэффициенту термического расширения.

Вторая – обеспечение адгезионного или диффузионного взаимодействия стекла с керамикой и металлом в процессе герметизации.

Третья – обеспечение необходимой термостойкости соединения керамика-стекло-металл.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Для проведения исследований были определены следующие материалы: техническая керамика С-49 (Синоксаль), 5М-4, стекла С-49 и С-52, металлы 33НК (ковар), ВТ-3 (титан), ХН-78Т, 20Х13, Мо (молибден). Изготовлены узлы (по 3 шт. каждого варианта) в соответствии с данными, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Структура и технологические режимы изготовления образцов узлов

Вариант узла	Соединение (состав узла)			Технологический режим		
	керамика	стекло	металл	среда	температура, °С	время выдержки, мин
1	С-49	С-49 и С-52	33НК	вакуум	1100	30
2	С-49	С-49 и С-52	33НК	вакуум	1100	20
3	С-49	С-49 и С-52	33НК	вакуум	1050	20
4	С-49	С-49 и С-52	33НК	вакуум	1050	30
5	С-49	С-49 и С-52	33НК	окислит	1000	20
6	С-49	С-52	33НК	водород	980	15
7	С-49	С-49	Мо	вакуум	1100	30
8	С-49	С-49	Мо	вакуум	1100	20
9	С-49	С-52	Мо	окислит	1000	20
10	С-49	С-52	ВТ-3	вакуум	1100	30
11	С-49	С-52	ВТ-3	вакуум	1100	20
12	С-49	С-52	ВТ-3	вакуум	1050	20
13	С-49	С-52	ВТ-3	вакуум	1050	30
14	5М-4	С-49	ВТ-3	вакуум	1100	30
15	5М-4	С-49	ВТ-3	вакуум	1100	20
16	5М-4	С-49	ВТ-3	вакуум	1050	20
17	5М-4	С-49	ВТ-3	вакуум	1050	30
18	С-49	С-52	ВТ-3	окислит	1000	20
19	С-49	С-49	ХН-78Т	окислит	1000	20
20	С-49	С-49	ХН-78Т	окислит	1000	30
21	С-49	С-52	ХН-78Т	окислит	960+1000	30+20
22	С-49	С-52	20Х13	окислит	1000	20

Проведение пайки в вакуумных печах и отработка технологических режимов осуществлялись на базе предприятий УАПО (УЗЭТИ) в 2003–2004 гг. и УНПП «Молния» в 2009 г. Проведение пайки узлов в муфельных печах в окислительной среде – на базе Центра коллективного пользования ГОУ ВПО УГАТУ в 2010–2012 гг., НПФ «Теплофизика» в 2018–2019 гг., УАПО «Технодинамика» в 2017–2019 гг.

Проверка изготовленных узлов на герметичность проводилась пневматическим давлением до 35 кг/см² на стенде в спирте, визуально – по пузырькам в течение 30 с. При необходимости узлы дополнительно проверяются на герметичность путем нанесения жирорастворимых составов (красителей) типа фуксина с высокой проникающей способностью, выдержкой их в течение суток и осмотром противоположной стороны на предмет проявления состава под 16-кратным увеличением на микроскопе МБС-9.

Циклические испытания на теплостойкость осуществлялись в муфельных печах типа «Снол» по режиму: 1) нагрев до 300 °С, выдержка – 1 ч, охлаждение до температуры не выше 40 °С и проверка герметичности

давлением до 35 кг/см² на стенде в спирте после каждого цикла (выполняется 5 циклов); 2) нагрев до 400 °С, выдержка – 1 ч, охлаждение до температуры не выше 40 °С и проверка герметичности давлением до 35 кг/см² на стенде в спирте после каждого цикла (выполняется 5 циклов); 3) нагрев до 450 °С, выдержка – 1 ч, охлаждение до температуры не выше 40 °С и проверка герметичности давлением до 35 кг/см² на стенде в спирте после каждого цикла (выполняется 5 циклов).

Далее проводилось рентгенографирование узлов после изготовления, после испытаний на теплостойкость и герметичность на предмет качества паяного соединения (формирование галтели, отсутствие свилей и трещин).

По совокупности результатов испытаний было сделано заключение о годности узлов и технологий для рекомендации их к применению в конструкциях свечей зажигания.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведенные опытные работы по пайке керамики С-49 с коваром 33НК стеклами как С-49, так и С-52 в вакууме при темпера-

туре 1100 °С с выдержкой 30 мин показали удовлетворительные результаты после испытаний на теплостойкость и последующую проверку герметичности (узлы выдержали испытания теплосменами по 5 циклов нагревом до температуры 450 °С и охлаждением на воздухе до температуры 20 °С, а также проверку пневматическим давлением 35 кгс/см² в течение 2 мин). Пайка при температуре ниже 1050 °С при различной выдержке, также при температуре 1100 °С с выдержкой 20 мин дает негерметичные узлы. Аналогичные результаты были получены при пайке керамики С-49 с титановым сплавом ВТ-3 стеклом С-52, керамики 5М-4 с молибденом стеклом С-49.

Обобщенные результаты проведенных работ представлены в табл. 2.

Таким образом, определен технологический режим, обеспечивающий получение герметичных узлов. Однако данная технология пайки стеклом (в восстановительной среде и в вакууме) для получения металло-стеклянных спаев имеет ряд недостатков, препятствующих применению ее в серийном и массовом производстве. Они выражены в следующем:

– длительный подготовительный цикл материалов перед пайкой, связанный с необходимостью предварительного окисления металлов, и последующая очистка (обезжиривание);

– длительность самого процесса пайки, связанного с созданием вакуума, последующего нагрева;

– длительность самой пайки и охлаждения (малая производительность определяется объемом камеры печи);

– высокие энергозатраты на сам процесс, наличие (необходимость) дорогостоящего оборудования (вакуумные печи);

– в случае пайки в среде водорода – требования взрывобезопасности и необходимость размещения производства за чертой города в специализированных помещениях (взрывобезопасных).

Несмотря на удовлетворительные результаты опытных работ по пайке в вакууме, было решено провести работы по отработке режимов пайки в окислительной среде, что определило круг работ (в муфельных печах фирмы Noberterm с температурой до 1250 °С).

Таблица 2

Результаты изготовления образцов узлов в вакууме и проведения их проверок

Вариант узла	Соединение (состав узла)			Технологический режим			Проверка пневмодавлением 35 кг/см ²
	керамика	стекло	металл	среда	температура, °С	время выдержки, мин	
1	С-49	С-49 и С-52	33НК	вакуум	1100	30	герметичны
2	С-49	С-49 и С-52	33НК	вакуум	1100	20	негерметичны
3	С-49	С-49 и С-52	33НК	вакуум	1050	20	негерметичны
4	С-49	С-49 и С-52	33НК	вакуум	1050	30	негерметичны
6	С-49	С-52	33НК	водород	980	15	герметичны
7	С-49	С-49	Мо	вакуум	1100	30	герметичны
8	С-49	С-49	Мо	вакуум	1100	20	негерметичны
10	С-49	С-52	ВТ-3	вакуум	1100	30	герметичны
11	С-49	С-52	ВТ-3	вакуум	1100	20	негерметичны
12	С-49	С-52	ВТ-3	вакуум	1050	20	негерметичны
13	С-49	С-52	ВТ-3	вакуум	1050	30	негерметичны
14	5М-4	С-49	ВТ-3	вакуум	1100	30	герметичны
15	5М-4	С-49	ВТ-3	вакуум	1100	20	негерметичны
16	5М-4	С-49	ВТ-3	вакуум	1050	20	негерметичны
17	5М-4	С-49	ВТ-3	вакуум	1050	30	негерметичны

Первоначально была проверена возможность пайки керамики С-49 со стеклом С-49 и С-52. Для этого были взяты специально подготовленные керамические пластины, на них помещен стеклодрот из С-52, затем они были отправлены в печь, разогретую до температуры 1000 °С, выдержаны в течение 20 мин. Результаты пайки представлены на рис. 2. На нем наблюдается краевой угол смачивания менее 30°, что говорит о хорошей смачиваемости керамики данным стеклом.



Рис. 2. Результаты расплавления стеклодрота из С49 на керамической подложке С-49

Исходя из результатов исследований [6], можно сделать вывод о хорошей адгезии стекла к керамике по краевому углу смачивания. Вероятнее всего, что взаимодействие происходит по стеклофазе керамики. Один образец № 2 с одной стороны обработали жирорастворимым красителем (фуксин) и выдержали в течение трех суток. Протекания красителя по истечении срока не обнаружено. Это говорит о том, что спай получен герметичный. Данные эксперименты показали, что в окислительной среде расплавление стекол С-49 и С-52 происходит при температуре 1000 °С и выше, хотя, согласно

техническим условиям (ТУ), размягчение материала должно происходить при температуре 500 °С.

В последующем были проведены работы по совместной пайке керамики, стекла и металла для получения герметичного стекло-металло-керамического узла электрического высоковольтного ввода-вывода.

Стекло было испытано на пайку с керамикой С-49 и сплавами ковар (33НК), титан (ВТ-3), молибден, хромоникелевым (ХН78Т), коррозионностойкими (12Х13 и 20Х13) в окислительной среде. Пайка стекла коваром (33НК) не проводилась, поскольку известно [4, 6, 7] промышленное применение такого рода пайки при серийном изготовлении электротехнических изделий.

Пайка узлов проводилась по режиму 1000 °С в течение 20 мин в муфельной печи типа «Снол» с последующим охлаждением печи до температуры не выше 100 °С. После охлаждения узлы проверены на герметичность постепенным поднятием испытательного давления с 5 до 30 кг/см² и электропрочность постепенным поднятием испытательного напряжения от 0,5 до 4 кВ.

Обобщенные результаты проведенных работ представлены в табл. 3.

В результате пайки установлено, что применение коррозионностойких сплавов (12Х13 и 20Х13), титана (ВТ-3), ковара (29НК, 33НК) не пригодно, поскольку происходит очень сильное окисление поверхностей металла с образованием хрупкого переходного слоя в спае при температуре выше 700 °С, что приводит в большинстве случаев к потере герметичности узла и нестабильности технологического процесса.

Таблица 3

Результаты изготовления узлов в окислительной среде и проведения их проверок

Вариант узла	Соединение (состав узла)			Технологический режим			Проверка давлением 35 кг/см ²
	керамика	стекло	металл	среда	температура, °С	время выдержки, мин	
5	С-49	С-49 и С-52	33НК	окислит	1000	20	негерметичны
9	С-49	С-52	Мо	окислит	1000	20	негерметичны
18	С-49	С-52	ВТ-3	окислит	1000	20	негерметичны
19	С-49	С-49	ХН-78Т	окислит	1000	20	негерметичны
20	С-49	С-49	ХН-78Т	окислит	1000	30	негерметичны
21	С-49	С-52	ХН-78Т	окислит	960+1000	30+20	герметичны
22	С-49	С-52	20Х13	окислит	1000	20	негерметичны

На рис. 3 для примера приведены фото и рентгенснимки узлов (С-49 – С-52 – 33НК), на которых видно, что электрод сильно переокислен и окисная пленка отрывается от его поверхности. Кроме того, на рентгенснимке отчетливо наблюдается наличие множества пузырей и отсутствие признаков хорошего угла смачивания электрода (отсутствие мениска при пайке).

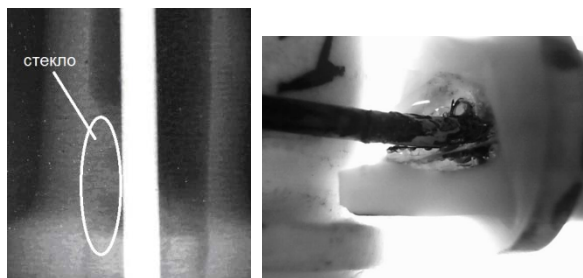


Рис. 3. Пайка стеклом С-52, электрод 33НК

Ниже приведены фото узлов (Синоксаль – С-52 – ХН-78Т), расколотых для осмотра и определения качества спаев (рис. 4).

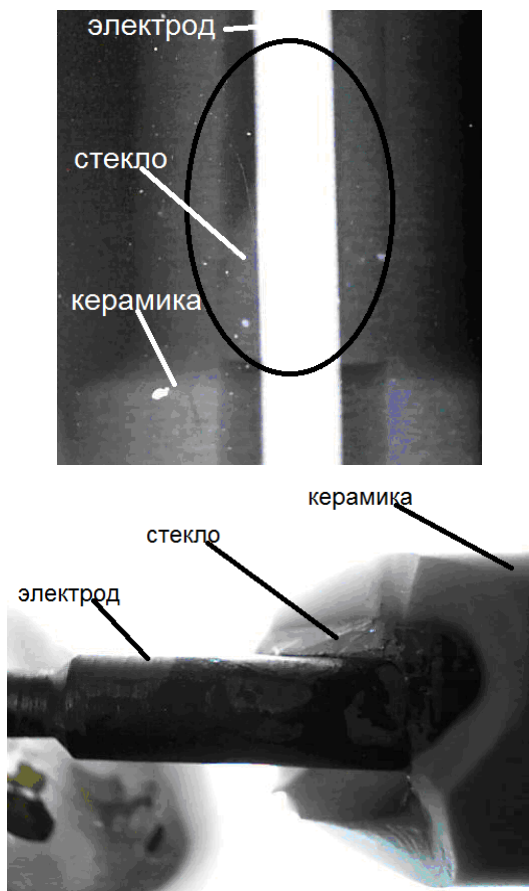


Рис. 4. Пайка стеклом С-52 и электрод ХН78Т

На рентгенснимке (рис. 5) приведены результаты армировки изолятора стеклом С-52-1 по центральному электроду из ХН78Т. Режим армировки: выход

на 1000 °С в течение 3 ч, выдержка – в течение 30 мин. Узел негерметичен. На снимке наблюдается одностороннее расплавление стекла.

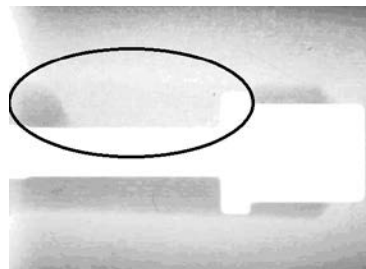


Рис. 5. Рентгенограмма пайки стеклом С-52 материала ХН78Т и керамики С-49

Данный факт объясняется двумя причинами. Первая – это недостаточный первоначальный объем стекла. Вторая – недостаточное время выдержки при температуре. Можно увеличить время выдержки до 45–50 мин либо поднять температуру до 1100–1200 °С с выдержкой 20–25 мин.

Поэтому в данный узел было добавлено стекло С-52 и он был нагрет до температуры 960 °С и выдержан при температуре 960 °С 30 мин, а затем при температуре 1000 °С 20 мин. Узел охлажден при комнатной температуре и зафуксинен. По истечении трех суток протекания фуксина на противоположную сторону от зоны герметизации не обнаружено. Рентгенограммы узла приведены на рис. 6.

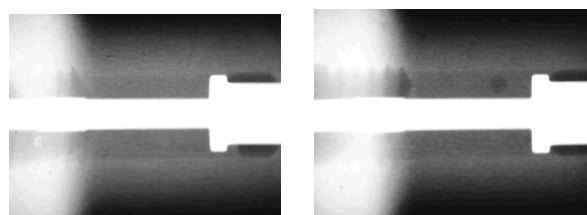


Рис. 6. Рентгенограммы пайки стеклом С-52 материала ХН78Т и керамики С-49 в двух ортогональных проекциях

В дальнейшем узел был проверен на герметичность пневматическим давлением 40 кгс/см² в течение 5 мин. Узел герметичен.

Таким образом, в результате проведенных поисковых работ определены наиболее предпочтительные составляющие материалов узла герметизации в окислительной среде: керамика С-49, жаропрочный сплав на никелевой основе ХН-78Т и боросиликатное стекло молибденовой группы С-49 либо С-52.

Экспериментально установлено, что предлагаемое конструкторско-технологическое решение применимо в конструкциях свечей зажигания для ГТД с разделенными искробразующими узлами и узлами герметизации [1–3], где температура эксплуатации в зоне герметизации не превышает 400–450 °С.

Реализация данного технологического решения в конструкциях свечей зажигания и в серийном производстве позволит:

– сократить количество элементов конструкции свечи (исчезает керамическое армировочное кольцо, служащее для технологических целей);

– сделать центральный электрод цельным, а не составным (в настоящее время он сварной и состоит из двух разных материалов);

– повысить производительность труда процесса герметизации (в настоящее время ограничение составляет 4–5 штук за одну загрузку в печь, а предлагаемый способ ограничивается объемом камеры печи);

– повысить стабильность, воспроизводимость процесса и качество продукции;

– перейти к комплексной автоматизации технологического процесса (в данном случае имеется возможность применить линию герметизации автомобильных свечей зажигания);

– провести конструкторско-технологическую унификацию узлов герметизации свечных изделий, что даст сокращение номенклатуры и повысит среднюю загрузку оборудования;

– снизить затраты производства, себестоимость изготовления и повысить конкурентоспособность продукции.

ВЫВОДЫ

Экспериментально подтверждена возможность герметизации узлов свечей зажигания боросиликатными стеклами молибденовой группы в вакууме либо в восстановительной среде и определены технологические режимы пайки при применении в качестве электродов материалов 3ЗНК, Мо, Ti.

Впервые установлена техническая возможность герметизации узлов свечей зажигания боросиликатными стеклами молибде-

новой группы в окислительной среде и выявлено, что их расплавление в окислительной среде происходит при температуре 1000 °С и выше.

Впервые определено сочетание элементов стекло-металло-керамического узла в виде технической керамики С-49, жаропрочного сплава на никелевой основе ХН-78Т, стекла С-52 и получен технологический режим пайки в окислительной среде, обеспечивающие получение герметичного, электропрочного и термостойкого узла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установленная техническая и технологическая возможность применения боросиликатных стекол молибденовой группы для герметизации узлов свечей зажигания, выявленные сочетания материалов конструкции свечи в совокупности с режимами и разработанной технологией пайки в окислительной среде позволяют перейти на новый этап создания и производства современных свечей зажигания, обеспечивающих конкурентоспособность на мировом рынке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Либман Г. А., Мурысев А. Н., Поротова А. А. Полупроводниковая свеча зажигания для ГТД. Патент RU 20228023 C1 6 H01T13/00, 27.01.93, УАКБ «Молния». [G. A. Libman, A. N. Murysev, A. A. Porotova, "Semiconductor spark plug for gas turbine engine", Patent RU 20228023 C1 6 H01T13/00, 1993.]
2. Либман Г. А., Мурысев А. Н., Киселевич В. М. Полупроводниковая свеча зажигания. Патент RU 2007004 C1 5 H01T13/00, Опубл. 30.01.94, УАКБ «Молния». [G. A. Libman, A. N. Murysev, V. M. Kiselevich, "Semiconductor spark plug", Patent RU 2007004 C1 5 H01T13/00, 1994.]
3. Champion Aerospace [Электронный ресурс]. URL: <https://www.championaerospace.com> (дата обращения: 15.05.2018). [(2018, May 15). *Champion Aerospace* [Online]. Available: <https://www.championaerospace.com>]
4. Ковалевский Р. Е., Чемрев А. А. Конструирование и технология вакуумноплотных паяных соединений. М.: Энергия, 1968. 208 с. [R. E. Kovalevsky, A. A. Chemrev, *Design and technology of vacuum-tight soldered joints*, (in Russian). М.: Energiya, 1968.]
5. Моряков О. С. Производство корпусов полупроводниковых приборов: учеб. пособие. М.: Высш. школа, 1968. 168 с. [O. S. Moryakov, *Production of housings of semiconductor devices*, (in Russian). М.: Vyssh. shkola, 1968.]
6. Преснов В. А., Новодворский Ю. Б., Якубеня М. П. Основы техники и физики спая. Томск: Изд. Томского университета, 1961. 232 с. [V. A. Presnov, Yu. B. Novodvorsky, M. P. Yakubeny, *Fundamentals of Junction Engineering and Physics*, (in Russian). Tomsk: Izd. Tomskogo universiteta, 1961.]

7. Веклич П. М., Ощипков Ф. П., Фролов В. К. Технология электровакуумного стекла. М.: Гос. Энергетическое изд-во, 1961. 264 с. [P. M. Veklich, F. P. Oshchipkov, V. K. Frolov, *Technology of vacuum glass*, (in Russian). M.: Gos. Energeticheskoe izd-vo, 1961.]

ОБ АВТОРЕ

ИЛЬИН Александр Николаевич, доцент кафедры стандартизации и сертификации УГАТУ. Дипл. инженера по специальности Автоматизация технологических процессов (УГАТУ, 1995). Канд. техн. наук по автоматизации технологических процессов (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. создания перспективных свечей и систем зажигания, автоматизации технологических процессов, диагностики технических объектов.

METADATA

Title: Study of the possibility of using borosilicate glasses for sealing the core of a spark plug for gas turbine engine.

Author: A. N. Ilin

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: aleksandr.ilin.71@mail.ru

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 24, no. 1 (87), pp. 46-54, 2020. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: A study was made of the possibility of using borosilicate glasses for sealing spark plugs, as well as the effect of various materials of the central electrode of the spark plug on the tightness of metal-glass-ceramic junction and various technological schemes, modes of soldering with a molybdenum borosilicate glass. It has been shown that it is possible to solder with borosilicate glass in an oxidizing environment with the combination of certain metal-glass-ceramic pairs and a certain soldering mode to ensure tightness and heat resistance of the assembly. It was found that the proposed soldering technology allows to mechanize and automate the process of manufacturing ceramic cores.

Key words: titanium alloy; ceramics; glass; junctions; pressure glands; sealing.

About author:

ILIN, Alexander Nikolaevich, Docent, Dept. of Standardization and Certification. Dipl. engineer (USATU, 1995). Ph.D. (USATU, 2000). The investigator in the field of advanced spark plugs and systems creation, technological processes automation, technical objects diagnosis.