

А. Н. Ильин

## РАЗРАБОТКА ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ СОСТАВОВ ДЛЯ СВЕЧЕЙ ЗАЖИГАНИЯ НА ОСНОВЕ ТАЛЬКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Разработаны герметизирующие составы и выполнены их сравнительные испытания на термическую стойкость, подачу повышенного пневматического давления (герметичность), устойчивость к воздействию керосина и воды. Показано, что композиции глиноземо-тальковая, талько-органосиликатная и материал на основе терморасширенного графита наиболее предпочтительны для решения задач герметизации свечей зажигания и обеспечивают высокие эксплуатационные характеристики, выдвигаемые современными камерами сгорания газотурбинных двигателей (ГТД). *Свечи зажигания; материалы для герметизации; способы герметизации вводов-выводов аппаратуры*

Традиционно в отечественных свечах зажигания, применяемых для воспламенения топливо-воздушной смеси (ТВС) в камерах сгорания газотурбинных двигателей (ГТД), используется закрепление элементов свечи и их герметизация с помощью стеклокомпозиций (горячая армировка). При этом процесс изготовления свечей не предполагает автоматизацию и механизацию. Особенности сложившейся технологии таковы, что технологический цикл изготовления свечей длительный, энергозатратный, себестоимость высокая, высока доля ручного труда и влияния человеческого фактора. При этом высоки технологические потери, связанные с браком. Все это в совокупности резко снижает конкурентоспособность отечественной продукции.

Анализ конструктивного исполнения свечей зажигания поверхностного разряда, производимых рядом ведущих фирм, предполагает разработку и внедрение новых технологических решений, ориентированных на массовое производство, низкую себестоимость, высокую степень автоматизации, механизации процессов изготовления и контроля готовой продукции, а также применение типовых конструкторско-технологических решений.

Известно, что мировым лидером в этой области является американская фирма «Champion».

Декомпозиция конструкций свечей фирмы «Champion» (см. рис. 1) [6], свечей отечественных производителей [7, 8, 9] и последующий анализ показал, что в процессе воспроизводства подобных свечей зажигания необходимо решить следующие задачи:

1 – закрепление искрообразующего сердечника в корпусе свечи (подбор новых материалов или разработка спецсоставов для закрепления, отработка вариантов закрепления, подбор технологических режимов, оборудование и оснастка);

2 – закрепление изолятора высоковольтного вывода узла герметизации в корпусе с одновременной герметизацией сердечника по корпусу (подбор новых материалов или разработка спецсоставов для закрепления, отработка вариантов закрепления, подбор технологических режимов, оборудование и оснастка);

3 – закрепление вывода центрального электрода в канале изолятора высоковольтного вывода узла герметизации с одновременной герметизацией высоковольтного вывода по сердечнику (подбор материала стеклокомпозиции для пайки (герметизации) металла и керамики, отработка технологических режимов пайки (герметизации), оборудование и оснастка).

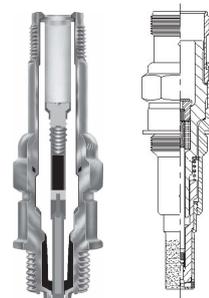


Рис. 1. Конструктивно-технологическая преемственность свечей зажигания различного применения

Решению одной из этих задач (закрепление изолятора и герметизация) посвящена данная работа. Достаточно очевидно, что существует

несколько конструктивно-технологических вариантов решений:

- первый – это вариант обжатия втулки, ограничивающей искрообразующий изолятор в трех точках по корпусу. Однако он имеет недостатки, связанные с возможностью формирования (зарождения) трещин в керамическом материале изолятора при обжимке. В этом случае происходит передача усилий (в тангенциальном направлении) через втулки на боковую поверхность изолятора, что при определенных условиях может дать зарождение и рост трещины и, как следствие, отказу свечи при эксплуатации на объекте;

- второй – это втулка, закрепляющая изолятор, соединенная проплавной заклепкой к корпусу [9]. Этот вариант также может приводить к зарождению и росту трещин в керамике за счет термических напряжений, возникающих из-за локального термоудара (неравномерного распределения градиента температур по поверхности свечи и по объему) при выполнении операции «сварка». Это также при определенных условиях может дать зарождение и рост трещины, а в дальнейшем привести к отказу свечи при эксплуатации на объекте;

- третий – это вариант обжимки изолятора металлической втулкой;

- четвертый вариант – это то, как сделано в зарубежных свечах (автомобильных, поршневых, искровых для ГТД) (см. рис. 1) и отечественных автомобильных свечах зажигания, где применена завальцовка на бурт изолятора через втулку (технология термоосадки автомобильных свечей зажигания).

В качестве одного из материалов втулки может быть применен металл. Другим материалом может быть тот, что применяет фирма «Champion» в автомобильных свечах зажигания, (отечественного аналога нет), предположительно, это композиция на основе талька [1–5].

Таким образом, проведенный анализ конструктивно-технологических решений свечей зажигания и направление движений технических требований по перспективным камерам сгорания ГТД позволяет сформировать следующие технические требования (ТТ) к материалу:

- Температурный диапазон эксплуатации узла от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+500^{\circ}\text{C}$ , не хуже.

- Среда эксплуатации окислительная и восстановительная.

- Эксплуатация в условиях морского тумана и росы.

- Устойчивость к воздействию влаги (воды), керосина, масел, паров топливовоздушной смеси (ТВС).

- Необходимость сохранения формоустойчивости и герметичности деталей и узла при одновременном воздействии повышенных температур и давлений до  $40 \text{ кгс/см}^2$ .

- Срок эксплуатации узла (сохранение физико-механических свойств) 20 лет.

- Материал должен хорошо формироваться и извлекаться из формы.

- Материал должен быть предпочтительно электроизоляционным.

Проведенный литературный и патентный поиск показал, что в качестве герметизирующих составов может применяться как непосредственно тальк, так и возможны его комбинации с различными пластификаторами [2, 3, 4].

Разработка герметизирующих составов на основе талька и его композиций может иметь широкое применение в конструкциях свечных изделий отечественных производителей.

Необходимо только правильно подобрать угол отсыпки, который будет определяться грансоставом материалов [1, 2, 3, 4]. Известны соединения талька с органическими связующими, но их применение ограничено температурами не выше  $350\text{--}400^{\circ}\text{C}$ . Это связано с тем, что выше этих температур происходит выгорание органической связки и герметизирующий элемент перестает выполнять свои функции.

Решение этой технической задачи предполагает движение в двух направлениях. Это разработка минералокерамических составов на основе тальковой композиции и поиск новых материалов.

Первым этапом работ являлась разработка составов для получения отпрессованных колечек, которые можно помещать в полость для герметизации. Работы по изготовлению оснастки и макетов свечей были выполнены на базе НПФ «Теплофизика».

Опробованы следующие варианты герметизирующих составов:

1. Тальк + жидкое стекло, Тальк +  $\text{TiO}_2$  +  $\text{SiO}_2$  + жидкое стекло, Термоцемент ТЦ-3 + жидкое стекло, Тальк +  $\text{TiO}_2$  + жидкое стекло.

В результате отработок выяснилось, что при съеме с пуансона, при малейшем перекосе колечки ломаются. К тому же колечки приклеиваются к элементам формы, и это создает трудности при выпрессовывании из корпуса-имитатора.



Рис. 2. Приспособления для поиска составов

2. Тальк + ТЦ-3 + декстрин, затворенный на воде. Прессуется, но при съеме кольца ломаются.
3. ТЦ-3+  $TiO_2$  + декстрин, затворенный на воде. Прессуется, получается хрупкое кольцо, при съеме ломается.
4. Тальк + декстрин +  $TiO_2$ , затворенный на воде. Прессуется, кольцо получается, но хрупкое. При малейшем перекосе во время съема ломается.
5. Тальк + декстрин на воде. Прессуется, кольцо снимается, не прилипает. Вариант для дальнейших работ.
6. Тальк, замешанный на яичном белке. Ничего не получается.
7. Тальк, замешанный на яичном желтке. Вариант для дальнейших работ.
8. Тальк + декстрин + яичный желток. Вариант непригодный.
9. Тальк + декстрин, затворенный на бутилацетате. Вариант непригодный.
10. Тальк + декстрин, затворенный на лаке НЦ. Вариант непригодный.
11. Тальк, затворенный на бутилацетате. Вариант непригодный.
12. Тальк + глина Часовяровская. Вариант непригодный.
13. Тальк +  $SiO_2$  + поливиниловый спирт. Кольца получаются.
14. Тальк + поливиниловый спирт. Кольца получаются.
15. Тальк +  $Al_2O_3$  (обоженный глинозем). Вариант непригодный.
16. Тальк +  $Al_2O_3$  (обоженный глинозем) +  $SiO_2$  + спирт. Кольца получаются.
17. Тальк + ТЦ-3 + спирт. Кольца получаются.
18. Тальк + ТЦ-3 +  $TiO_2$  + спирт. Кольца получаются.
19. Тальк + глина Часовяровская, затворенная на воде. Вариант не пригодный.
20. Тальк +  $SiO_2$ , затворенные на воде. Кольца получаются.

21. Тальк +  $Al_2O_3$  (обоженный глинозем) +  $SiO_2$ , затворенные на воде. Кольца получаются.

22. Тальк +  $Al_2O_3$  (обоженный глинозем), затворенный на воде. Кольца получаются.

23. Тальк + ТЦ-3, затворенный на воде. Кольца получаются.

24. Тальк + органосиликатная композиция ОС-52-05 зеленая. Кольца получаются.

25. Новый материал на основе волокон терморасширенного графита (графлекс). Кольца получаются.

Для оценки результатов проведения сравнительных испытаний был взят состав с автомобильной свечи «Champion» в качестве эталона. Он был размолот, разведен на воде, взбит до однородной тестообразной массы, затем помещен в форму, отпрессован на ручном прессе давлением  $250 \text{ кг/см}^2$ . В результате получено кольцо, которое легко снимается даже с перекосом. Кольцо имеет возможность быть деформированным, при этом оно не ломается. Кольцо имеет возможность перепрессовываться.

Проведены опытные работы. Порошок талька помещался в форму и отпрессовывался на ручном прессе давлением  $200\text{--}300 \text{ кг/см}^2$ . Получили кольцо, его съем легкий. При этом происходит перекосяк, но кольцо при этом не ломается, а только деформируется. Результат отчасти напоминает результат с материалом с автомобильной свечи «Champion». Только при засыпке талька в форму и при приложении давления он стремится вытечь через зазоры из формы. Таким образом, приходится неоднократно делать подсыпку.



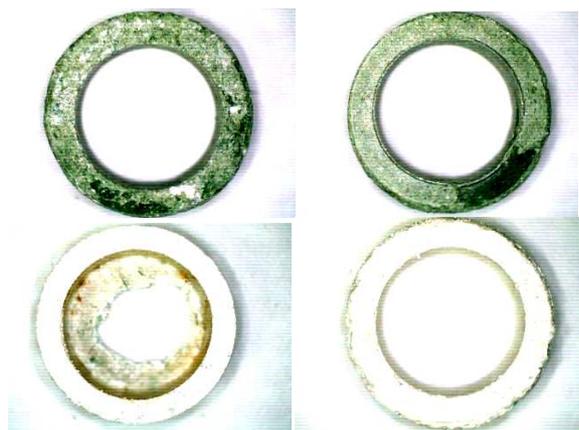
Рис. 3. Колечки, полученные формованием: верхний ряд – тальк + органосиликатная композиция ОС, нижний ряд – тальк + + термоцемент ТЦ-3

В результате проведенных поисковых работ были получены несколько составов, которые поддаются формовке и могут быть извлечены из формы без нарушения целостности конструкции (см. рис. 3).

При проведении поисковых работ был разработан состав на основе талька и органосили-

катной композиции ОС-52-05 зеленой в качестве герметизирующего средства.

Этот состав представляет собой эластичную резиноподобную структуру. При слишком большом содержании талька происходит охрупчивание и осыпание материала с возможным дальнейшим разрушением. Наличие избытка талька в составе способствует изменению цвета ОС композиции с зеленоватого со светлыми вкраплениями на светлый цвет с зеленоватыми просветами и прожилками (см. рис. 4).



**Рис. 4.** Состояния отпрессованных колец составов с различным содержанием ОС композиции

Были проведены опытные работы по установке (закреплению) этих составов на изолятор. После отработки технологии установки на изоляторы, полученные узлы и заготовки в виде шайб были подвергнуты испытаниям на воздействие воды (узлы и заготовки помещались в сосуд с водой и выдерживались в течении 2-х суток), керосина (узлы и заготовки помещались в сосуд с керосином и выдерживались в течении 2-х суток), затем на воздействие теплосмен ((+300 °С, выдержка 30 мин и охлаждение на воздухе до комнатной температуры, три термоудара, после +600 °С, выдержка 30 мин и охлаждение на воздухе до комнатной температуры, 4 термоудара, (+800 °С, выдержка 30 мин и охлаждение на воздухе до комнатной температуры, 2 термоудара)).

По результатам испытаний составов на устойчивость к воздействию керосина, воды, а также теплосмен (см. рис. 5) и из условий обеспечения технологичности (формуемости), был выбран состав, удовлетворяющий установленным нами требованиям. Это композиция, состоящая из талька и термоцемента ТЦ-3.



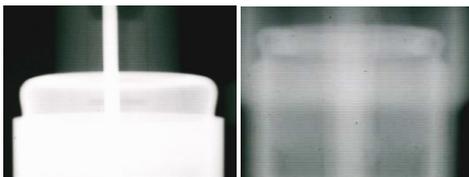
**Рис. 5.** Состояние узлов с помещенными на них составами после испытаний

Для отработки составов по закреплению искрообразующего изолятора в канале корпуса с последующей завальцовкой на бурт были сделаны следующие составы: 1 – чистый тальк, 2 – тальк смешанный с жидким стеклом, 3 – тальк +  $TiO_2 + SiO_2$  + жидкое стекло, 4 – термоцемент ТЦ-3+ жидкое стекло.

1. В корпус помещен изолятор, проведена засыпка тальком с последующим прессованием от руки через специальный пуансон. Когда тальк достиг края под завальцовку произвели запрессовку через пуансон ручным прессом АР-3 давлением 200 кг/см<sup>2</sup>. Далее провели завальцовку на прессе ручном гидравлического действия при помощи набора сменных пуансонов. Качество завальцовки удовлетворительное, высыпания талька не обнаружено. Полученные узлы были подвергнуты термоударам (4 нагрева на 550°С и охлаждения на воздухе, 2 нагрева на 600°С и охлаждение корпуса под струей проточной воды). После испытаний узлы проверены: высыпания талька не обнаружено, закрепление изолятора прочное без подвижек в корпусе. В дальнейшем узлы помещены в ванночку с керосином и выдержаны двое суток. После испытаний тальк не вымывается, не высыпается из корпуса и обеспечивается прочное закрепление изолятора.

Поскольку после запрессовки изоляторов с составами в корпус наблюдать за их поведением не представляется возможным, результаты рентгенографирования не дают никакой информации, поскольку составы на пленке отображаются в виде пустот, то составы были нанесены на изоляторы (см. рис. 6).

Следует отметить, что выполнение подобной операции тальковыми композициями несколько проблематично. И усугубляется это при установке узла в корпус, поскольку шайбы плотно прилегают к внутренним стенкам корпуса.



**Рис. 6.** Рентгенснимки узлов после испытаний на термическую стойкость

Для сравнения результатов работ были разработаны и изготовлены макеты, в которые помещались конструктивные элементы (шайбы) из тальковой композиции. На этих макетах были отработаны технологические режимы завальцовки в соответствии с программой.

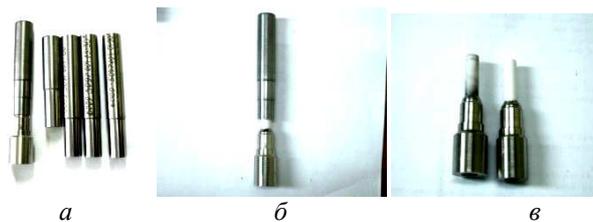


**Рис. 7.** Узлы после испытаний на термическую стойкость

Установлено, что для тальковых композиций размер под завальцовку должен быть  $1^{+0,2}$  мм. Определено, что завальцовка может быть осуществлена как на токарном станке (обкатка роликами), так и на прессе при помощи сменных пуансонов.

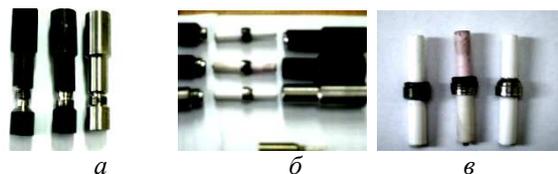
После технологических обработок макеты были подвергнуты испытаниям на термическую стойкость. Испытания проводились по режиму:  $+400$  °C в течении 30 мин с охлаждением на воздухе (4 цикла), затем  $+650$  °C в течении 30 мин с охлаждением на воздухе (4 цикла), затем  $+700$  °C в течении 60 мин с охлаждением под струей воды (2 цикла), затем  $+900$  °C в течении 30 мин с охлаждением на воздухе (2 цикла). После чего был проведен визуальный контроль на отсутствие видимых внешних повреждений. Состояние макетов после испытаний (см. на рис. 7) удовлетворительное, трещин на керамике не обнаружено.

Поскольку после сравнительных испытаний существенных отличий в поведении макетов с различными материалами наполнителями под завальцовку, а также состояния самой завальцовки не обнаружено, то работы с этими составными были продолжены.



**Рис. 8.** Последовательность выполнения завальцовки

В связи с этими сомнениями были собраны и сварены три узла, два из которых были подвергнуты термическим испытаниям ( $+600$  °C в течении 60 мин с последующим охлаждением на воздухе до комнатной температуры, 2 цикла, затем  $+700$  °C в течении 60 мин с последующим охлаждением под струей холодной воды до комнатной температуры). После испытаний все узлы были зафуксинены, разрезаны (рис. 9, а), разобраны (рис. 9, б) и подвергнуты дефектации.



**Рис. 9.** Узлы после испытаний на термоудары

Были осмотрены изоляторы узлов, показанные на рис. 9, в, на предмет наличия (отсутствия) трещин на керамике, состояния завальцовки при 16-ти кратном увеличении на микроскопе МБС-9. Трещин на керамике не обнаружено, состояние завальцовки удовлетворительное.

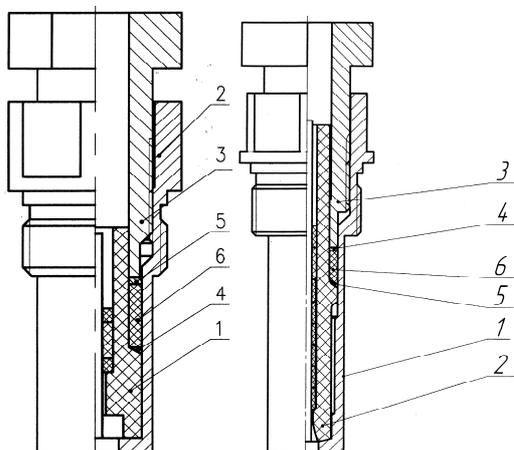
Несмотря на положительные результаты испытаний и очевидные технические и технологические преимущества были проведены работы по возможности завальцовки искрообразующего изолятора, установленного после сварки силового корпуса с корпусом искрообразующего узла.

Решение вопроса в лоб не дает положительных результатов. Поскольку происходит перекос изолятора из-за кривизны его поверхности во время установки в корпус. При этом не обеспечивается центрация ножки изолятора относительно оси корпуса. Это приводит к заклиниванию пуансона при выполнении операции завальцовки. После окончания операции не видны

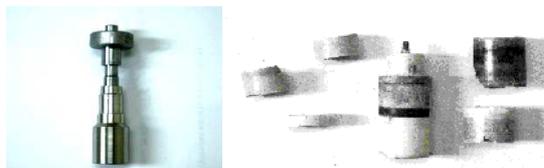
результаты и отсутствуют объективные способы контроля качества выполнения операции.

Проанализировав результаты выполнения операции и возникающие при этом проблемы, пуансоны были перепроектированы и вновь изготовлены. В дальнейшем подобраны технологические режимы выполнения операции, которые привели к удовлетворительным результатам, а для осуществления контроля предложено проводить рентгенографию узла.

Для дальнейшего продолжения работ по отработке герметизации по корпусу различными составами были разработаны разборные макеты узлов свечей, которые в дальнейшем были изготовлены на НПФ «Теплофизика» и последующие работы проводились на них (см. рис. 10, 11, 12).



**Рис. 10** Конструкции макетов для отработки герметизации



**Рис. 11.** Приспособление для формовки колец и кольца, используемые для герметизации



**Рис. 12.** Последовательность сборки макетов узлов свечей

После разнообразных обработок с собственными составами решено провести работы с материалом, изъятый из автомобильных свечей «Champion» в сравнении с глиноземо-тальковыми составами собственного приготовления и новым материалом на основе волокон из терморасширенного графита (графлекс).

Для этого был взят материал со свечи «Champion» и помещен в корпус от руки, запрессован на ручном прессе и поджат резьбовым соединением за шестигранник рожковым ключом. Проверка пневматическим давлением  $5 \text{ кг/см}^2$  показала негерметичность узла.

После анализа конструкции макетов и конструкции узла свечи «Champion» было принято решение помещать состав со свечи «Champion» между двумя керамическими кольцами и приложить давление прессования 2,5 тонны. Данное мероприятие позволило получить герметичный узел при подаче на него пневматического давления  $30 \text{ кг/см}^2$ . Испытание на термостойкость показало, что после первого термоудара на  $350 \text{ }^\circ\text{C}$  с охлаждением на воздухе до температуры окружающей среды узел дает степень негерметичности 3–5 пузырей за 40 с при подаче давления  $22\text{--}25 \text{ кг/см}^2$  (при давлении  $15 \text{ кг/см}^2$  узел герметичный).

Аналогичным образом были собраны узлы на разработанных составах. При подтяжке за шестигранник удается получить герметичный узел при подаче на него пневматического давления  $35\text{--}40 \text{ кг/см}^2$ . Однако, после первого термоудара на  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  с охлаждением на воздухе до температуры окружающей среды узлы дают степень негерметичности 3–5 пузырей за 40 с при подаче давления  $25 \text{ кг/см}^2$  (при давлении  $15 \text{ кг/см}^2$  узел герметичный), т. е. получен такой же результат, что и с материалом со свечи «Champion».

Последующие 2-й, 3-й, 4-й термоудары узлов, собранных с разработанным составом и составом свечи «Champion» термоудара на  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  с охлаждением на воздухе до температуры окружающей среды узлы дают ту же степень негерметичности, что и была после 1-го термоудара (3–5 пузырей за 40 с при подаче давления  $25 \text{ кг/см}^2$ ).

Во время проведения опытно-исследовательских работ было замечено, что если заменить материал талькового компонента со светлого талька на коричневый, то после нагрева на  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  и охлаждения на воздухе полную негерметичность узла уже при подаче давления  $5 \text{ кг/см}^2$ .

В результате были опробованы десять вариантов составов, но улучшения результатов получено не было.

Дополнительно был опробован для герметизации модифицированный глиноземо-тальковый состав. Он был помещен в камеру герметизации насыпанием гранулированного состава с последующим уплотнением через пуансон прессом развиваемым давлением две тонны (при приложении давления 3 тонны и более происходит разрушение керамического изолятора). После чего от руки состав был зафиксирован резьбовой втулкой. Узел герметичен при испытании пневматическим давлением 40 кг/см<sup>2</sup>.

Оба узла (уплотнение новым материалом и уплотнение модифицированным глиноземо-тальковым составом) были подвергнуты двум термоударами 400 °С в течении 1 ч с последующим охлаждением в проточной воде до комнатной температуры. После чего узлы проверены на герметичность пневматическим давлением 5, 10, 15, 20, 25, 40 кг/см<sup>2</sup> с выдержкой при каждом из значений в течение 3 мин. Узлы герметичны.

После получения такого результата было решено продолжить сравнительные испытания узлов герметизированных глиноземо-тальковым составом, составом свечи «Champion», модифицированным глиноземо-тальковым составом и новым материалом графлекс на термостойкость и герметичность.

Все четыре узла были подвергнуты термоудару по режиму: нагрев и выдержка при 500 °С в течении 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 температуры (рис. 13).



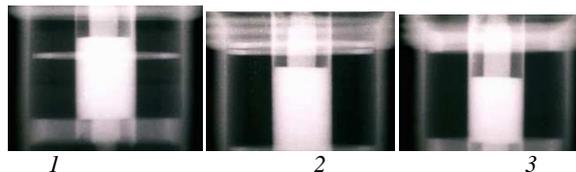
**Рис. 13.** Макеты после испытаний: 1 – глиноземо-тальковый состав, 2 – материал со свечи Champion, 3 – модифицированный глиноземо-тальковый состав, 4 – новый материал графлекс

После макеты были проверены на герметичность пневматическим давлением 10 кг/см<sup>2</sup>

(узел с материалом со свечи «Champion» абсолютно негерметичен, остальные узлы герметичны), 20 кг/см<sup>2</sup> (узел с глиноземо-тальковым составом имеет утечку 4–5 пузырей за 30 с, остальные узлы герметичны), 3–5 кг/см<sup>2</sup> (оставшиеся два узла герметичны), с выдержкой при каждом из них в течение 2 мин.

Оставшиеся два узла (уплотнение новым материалом и уплотнение модифицированным глиноземо-тальковым составом) были подвергнуты термоудару 600 °С в течении 1 ч с последующим охлаждением в воде до комнатной температуры. После чего узлы проверены на герметичность пневматическим давлением 5, 10, 15, 20, 25, 35 кг/см<sup>2</sup> с выдержкой при каждом из значений в течение 3 мин. Узлы герметичны.

После испытаний узлы были рентгенографированы. В результате установлено, что этот метод для контроля качества подобных конструкций узлов не пригоден. Рентгенснимки представлены на рис. 14.



**Рис. 14.** Рентгенснимки: 1 – глиноземо-тальковый состав, 2 – материал со свечи Champion, 3 – модифицированный глиноземо-тальковый состав

После этого узлы макетов были разобраны и подвергнуты дефектации (см. рис. 15, 16)



**Рис. 15.** Состояние материала со свечи Champion после проведения испытаний в макетах



**Рис. 16.** Состояние макета с нашим составом после испытаний

Собран макет с кольцами из тальковой композиции (на бурте) и сверху кольцо из ОС-52-05 с тальковым наполнителем, поджатое экраном-пуансоном (резьбовым) рожковым ключом от руки до остановки (металлические ограничивающие кольца не ставились). Следует отметить удобство и простоту сборки (кольца легко помещаются во внутрь макета) узла.

Макет проверен на герметичность пневматическим давлением 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 кг/см<sup>2</sup> с выдержкой при каждом из значений в течение 1 мин. Узел герметичен.

Макеты были подвергнуты испытаниям на термическую стойкость. Режим был нагрев и выдержка при 400 °С в течении 1 ч с последующим охлаждением на воздухе до комнатной температуры (два цикла), потом нагрев и выдержка при 450 °С в течении 1 ч с последующим охлаждением на воздухе до комнатной температуры (два цикла), нагрев и выдержка при 500 °С в течении 1,5 ч с последующим охлаждением в струе проточной (холодной) воды до комнатной температуры. После макеты были проверены на герметичность давлением 10 кг/см<sup>2</sup>, 20 кг/см<sup>2</sup>, 30 кг/см<sup>2</sup>, 40 кг/см<sup>2</sup> с выдержкой при каждом из них в течение 2 мин. Макеты выдержали проверку – герметичны. После этого макет был разобран и подвергнут дефектации деталей узла макета.



Рис. 17. Состояние деталей после разборки узла, подвергнутого испытаниям

На рис. 17 видно, что произошло соединение двух колец, причем ОС-52-05 проникло в первое кольцо. Такое проникновение дало возможность плотной посадки герметизирующего состава между корпусом из жаропрочного сплава ХН78Т и керамикой С-49 («Синоксаль»). При разборке оказалось, что кольцо с ОС-52-05 соединилось с экраном-пуансоном и пришлось приложить силу для их расстыковки. Этот факт говорит о хорошей адгезии ОС-52-05 к металлической поверхности (материалам ХН78Т, 12Х13, 20Х13). С цилиндрической поверхности изолятора кольцо снято свободно (адгезии к керамике не наблюдается).

Проведенные исследовательские работы показывают принципиальную возможность решения задачи герметизации по корпусу составами на основе талька.

По полученным экспериментальным данным предлагаемые материалы позволяют добиваться эксплуатации при max температурах 600–700 °С и рабочих давлениях 35–40 кг/см<sup>2</sup>.

На данном этапе работ (испытания макетных образцов) можно сказать, что наиболее перспективными являются составы на основе талькоглиноземной композиции, талько-ОС-52-05 композиции зеленой и материала из терморасширенного графита (графлекс) в качестве герметизирующего средства.

При испытаниях макетных образцов свечей зажигания получены эксплуатационные характеристики (max температура 600–700 °С и рабочее давление 35–40 кг/см<sup>2</sup>), что позволяет говорить о принципиальной возможности решения поставленных изначально задач.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rohde O. C. Патент США US 2020967. Свеча зажигания и метод ее производства. Nov. 12, 1935.
2. Патент GB 1085333. Свеча зажигания с улучшенным уплотнением между корпусом и изолятором.
3. Lentz L. R., Kosydar D. A. Патент США СА 787682. Свеча зажигания с улучшенным уплотнением между корпусом и изолятором.
4. Патент США СА 1125606. Уплотнение свечи зажигания. Mar. 11, 1980.
5. Патент США EP 1168544. Свеча зажигания и метод ее производства.
6. www.Championaerospacelog.
7. Гизатуллин Ф. А. Системы зажигания двигателей летательных аппаратов: Учеб. пособие / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа, 1998. 115 с.
8. Либман Г. А., Мурысев А. Н., Порогова А. А. Патент RU 20228023 C1 6 H01T13/00 УАКБ «Молния» Полупроводниковая свеча зажигания для ГТД, 27.01.93.
9. Либман Г. А., Мурысев А. Н., Киселевич В. М. Патент RU 2007004 C1 5 H01T13/00 УАКБ «Молния» Полупроводниковая свеча зажигания, 30.01.94.

#### ОБ АВТОРЕ

Ильин Александр Николаевич, доц. каф. стандартизации и сертификации. Дипл. инженер по автоматизации 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.