



**НПО
ЛАВОЧКИНА**

Акционерное общество
«Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина»
(АО «НПО Лавочкина»)

Ленинградская ул., д. 24, г. Химки, Московская область, 141402, ОГРН 1175029009363, ИНН 5047196566
тел.: +7 (495) 573-56-75, факс: +7 (495) 573-35-95, e-mail: npol@laspace.ru, www.laspace.ru

Экз. №__

«___» _____ 20__ г. № _____

На № _____ от _____

Ученому секретарю
диссертационного совета
24.2.327.05
на базе ФГБОУ ВО «МАИ (НИУ)»
к.т.н., доценту А.Р. Палтиевичу
121552, г. Москва,
ул. Оршанская, д. 3, ауд. №523А

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального
директора по научной работе
доктор технических наук,
профессор


С.Н. Шевченко
« 12 » _____ 2021 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Морозова Вячеслава Андреевича
«Разработка процесса пайки сотового уплотнения газотурбинного
двигателя с использованием пластифицированного порошкового
припоя в виде ленты», представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 2.5.8– «Сварка,
родственные процессы и технологии».

Тема диссертации актуальна и обусловлена необходимостью
выполнения высокотемпературной пайки сотовых уплотнений в условиях

разнотолщинности конструкции и при неравномерном зазоре, а также требованием точного и равномерного нанесения припоя вследствие большого количества паяных соединений на единицу площади.

В настоящее время, при пайке сотовых уплотнений горячей зоны газотурбинных установок критично обеспечение стабильности качества паяных соединений. Однако, конструктивные особенности сотовых уплотнений (разнотолщинность, различный сток тепла из-за массивного корпуса, а также вертикальный неравномерный зазор) могут приводить к чрезмерному взаимодействию припоя с материалом тонкостенного сотового блока (вплоть до его растворения), наплывам припоя, непропаю между корпусом и сотовым блоком. Поэтому, для решения проблемы получения качественного паяного соединения, автором, была разработана технология высокотемпературной пайки сотового уплотнения с использованием пластифицированного порошкового припоя в виде ленты.

В.А. Морозов вполне оправданно для достижения главной цели и решения поставленных задач применял современные экспериментальные (электронная металлография образцов паяных зазоров) и теоретические методы исследований (математическое моделирование распределения температур при пайке с помощью пакета ProCast). Примененные методы исследований и полученные результаты не вызывают сомнений.

Во-первых, В.А. Морозов обосновал основные причины появления дефектов при пайке: неточное неравномерное дозирование порошкового припоя и неравномерный нагрев разнотолщинной детали. Автор остановился на способе нанесения припоя порошковыми лентами на органических пластифицированных связующих. Данный способ технологичен, обеспечивает стабильность и равномерность дозировки. Кроме того, автором были рассмотрены различные технологические приемы для выравнивания температур (ступенчатый нагрев, экранирующая оснастка), а также предварительное моделирование процесса методом

конечных элементов. Таким образом, В.А. Морозов провел комплексное исследование процесса пайки (способ введения припоя и особенность °нагревания) конструкции типа «сотовое уплотнение».

Далее, В.А. Морозов разработал технологический процесс изготовления порошкового припоя в виде ленты на пластифицированном связующем, состоящий в длительном замешивании порошка припоя в смеси каучука и сольвента, отливки шликера и сушки при температуре 80°C. Исследование влияния формы и размера частиц на свойства порошковой ленты на припоях с различным разбросом фракций (с широким, с малым, мелкодисперсная фракция), а также с различной формой частиц (сферической и пластинчатой). Опытным путем найдено, что минимальный разброс масс образцов ленты имеет припой с мелкодисперсной фракцией, в то время как форма частиц определяла среднюю плотность лент: ленты, изготовленные из пластинчатого припоя, оказались наименее плотными. В результате автор выбрал порошок с размерами частиц 40...70 мкм сферической формы.

Затем автором исследовался процесс заполнения вертикального неравномерного зазора стали ХН78Т расплавом припоя ВПр11-40Н, разработанного ФГУП «ВИАМ» для пайки жаропрочных материалов с большим, неравномерным зазором. В.А. Морозов установил, что при температуре пайки 1040°C с увеличением количества припоя в два раза характер заполнения зазора меняется: кривая заполнения зазора отклоняется от классической гиперболической формы, количество втянутого жидкого расплава увеличивается в три раза. Автор объясняет данное явление диффузионными процессами на границе «припой-основной металл», действующими дополнительно к капиллярным силам.

Далее, соискатель выполнил компьютерное моделирование тепловых процессов, протекающих при пайке макета сотового уплотнения по двум режимам: с непрерывным нагревом до 1200°C, с нагревом до 1200°C и

технологической выдержкой при 1000°C. Автор установил, что вне зависимости от режима нагрева отставание сотового блока от корпуса составляет 20...25°C. Компьютерное моделирование было подтверждено экспериментом.

В заключении автором была разработана технология пайки сотового уплотнения. В.А. Морозов разбил технологический процесс на следующие этапы: подготовка паяемых поверхностей, нанесение порошкового пластифицированного припоя, сборка сотового блока с корпусом, фиксация деталей с помощью точечной контактной сварки, нагрев в вакуумной печи с осуществлением пайки, контроль качества паяных соединений. Дополнительно автором был проведен расчёт необходимого для заполнения зазоров припоя.

По автореферату можно сделать вывод о том, что диссертационная работа является завершённой, цель достигнута, поставленные задачи решены. Полученные результаты удовлетворяют всем признакам научной новизны, доведены до практического использования и прошли апробацию на практике (предприятия ПК «Салют» и ОАО «Металлист-Самара») и конференциях. По теме диссертации автор имеет 9 опубликованных работ, в том числе 3 в журналах, рекомендованных ВАК.

Разработанная технология пайки сотового уплотнения газотурбинного двигателя с использованием пластифицированного порошкового припоя в виде ленты согласно автореферата позволяет получить качественное паяное соединение при неравномерном зазоре и в условиях разнотолщинности конструкции. Однако, отсутствуют сведения по влиянию продуктов распада органического связующего и остатков растворителя при высокотемпературном нагреве во время пайки на качество паяных соединений.

В качестве недостатков к работе можно отметить следующее:

1. Автором не исследован вопрос влияния продуктов распада органического связующего и остатков растворителя при пайке на характеристики соединений и возможных механизмов нейтрализации этого влияния. Действительно, несмотря на наличие технологии производства высокотемпературных припоев в виде лент на органическом связующем, обеспечивающей фиксацию частиц припоя на паяемые поверхности и их равномерное дозирование, актуальным является вопрос обоснования способности связующего удаляться при нагреве без образования зольного остатка и интенсивного газообразования, а также ограниченность по сроку хранения. Выбор состава органического связующего для изготовления лент порошковых припоев и определение его технологических характеристик очень важно при отработке технологии пайки. Желательно приведение результатов теоретических изысканий, экспериментальных данных, подтверждаемых анализом металлографических исследований, спектральным анализом зон паяного соединения минимальную пористость (отсутствие интенсивного газообразования), малое содержание неметаллических включений (зол, окислов). Кроме того, в качестве лимитирующего фактора необходимо указать срок хранения припоя в виде ленты. Вероятно, эти данные приведены в диссертации как самостоятельное исследование или, например, в ссылке на труды А.Н. Афанасьева-Ходыкина, В.И. Лукина, В.С. Рыльникова и др.

2. Автором указаны в качестве методов контроля визуальный на наличие растворения сотового блока и ультразвуковой на наличие непропаев. Однако, автор упустил наличие новых неразрушающих методов контроля: например, термическое тестирование.

3. В приведенном списке работ приведено 8 источников, в то время как в разделе «Общая характеристика работы» указаны 9.

Данные замечания не снижают общую ценность выполненных работ.

Судя по автореферату, диссертационная работа «Разработка процесса пайки сотового уплотнения газотурбинного двигателя с использованием пластифицированного порошкового припоя в виде ленты», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.8 – «Сварка, родственные процессы и технологии», соответствует требованиям, изложенным в пунктах 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Морозов Вячеслав Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по названной специальности.

Главный сварщик

АО «НПО Лавочкина»

Пономарёв К.Е.

Пономарёв Константин Ефимович, т. раб. 8(495)5755035, e-mail: kerp@laspace.ru Адрес: 141400, г.Химки, Московская обл., Юбилейный проспект, д.68, кв.118

Ведущий инженер, к.т.н.

Стрельников И.В.

Стрельников Илья Владимирович (специальность 05.02.10 «Сварка, родственные процессы и технологии»), т. моб. 89040228714, e-mail: i.v.str@yandex.ru Адрес: 170043, г.Тверь, ул. Можайского, д.56, кв.80