

***К ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗОНЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ СВАРНОГО ШВА
"СОПЛО НБ5В2МЦ + СОПЛОВОЙ НАСАДОК ОТ4-1"
НА ЗАКРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ СОПЛА ЖРДМТ ТЯГОЙ ОТ 250 Н***

В.А. Давыдов

Федеральное государственное унитарное предприятие
"Научно-исследовательский институт машиностроения"
г. Нижняя Салда Свердловской области.

В статье представлены основная последовательность и задачи, которые необходимо решить по выбору оптимальной температурной зоны расположения сварного шва "сопло + сопловой насадок" в конструкции ЖРДМТ с соплом из сплава НБ5В2Мц, снабженным сопловым насадкой из титанового сплава ОТ4-1.

Ключевые слова: ЖРДМТ, сопло, титановый сплав, сварной шов.

***STATEMENT OF PROBLEM OF OPTIMUM TEMPERATURE ZONE DETERMINATION FOR NOZZLE/NOZZLE EXTENSION WELD LOCATION IN OVER 250 H LTRE DESIGN WITH НБ5В2МЦ NOZZLE PROVIDED WITH
ОТ4-1 TITANIUM ALLOY EXTENSION***

V.A. Davidov

Federal State Unitary Enterprise Research & Development Institute of Mechanical Engineering
Nizhnyaya Salda, Sverdlovsk region.

This paper presents the main line and the problems which are necessary to be solved to choose the optimum temperature zone for the nozzle/nozzle extension weld location in the LTRE design with a НБ5В2Мц nozzle provided with a ОТ4-1 titanium alloy extension.

Key words: LTRE, nozzle titanium alloy, weld.

При разработке ракетно-космической техники, как правило, предъявляются повышенные требования к минимизации массы изделий. В процессе создания ЖРДМТ также возникает необходимость в новых технических решениях, направленных на уменьшение их массы.

В данной работе для снижения массы ЖРДМТ тягой свыше 250 Н рассматривается применение в закритической части сопла насадка из титанового сплава ОТ4-1.

Одним из главных вопросов при реализации данного технического решения является выбор оптимальной температурной зоны расположения сварного

шва "сопло (НБ5В2Мц) + сопловой насадок (ОТ4-1)".

Решение поставленной задачи необходимо провести в следующей последовательности.

1. Анализ возможности использования титанового сплава ОТ4-1 и сварного шва НБ5В2Мц + ОТ4-1 в условиях воздействия высоких температур и агрессивной среды продуктов сгорания компонентов ракетного топлива.

При этом должны быть проанализированы его жаростойкость при температурах от 650 °С и стойкость к воздействию агрессивных окислительных сред.

2. Анализ экспериментальных данных, полученных при огневых испытаниях макета сопла с насадком, на подтверждение достаточной жаростойкости и жаропрочности насадка при температуре стенки сопла в зоне сварного шва 650...675 °С.

С целью имитации температурной зоны расположения сварного шва в диапазоне температур 650...675 °С были выполнены предварительные экспериментальные работы с использованием макета камеры сгорания с соплом из ниобиевого сплава Nb5B2Mц с жаростойким дисилицидмолибденовым покрытием MoSi₂ и титанового сплава в зоне расширяющейся части сопла.

Макет камеры сгорания уже изготовлен на базе штатного двигателя тягой 130 Н с соплом, имеющим степень расширения Fa = 53. Насадок приваривали к срезу сопла, подвергнутому механической обработке, посредством электронно-лучевой сварки. Сопло с титановым насадком представлено на рисунке 1.

Огневые испытания макета проводились в высотных условиях. В процессе испытаний контролировались:

- температуры стенки сопла T₂, T₃, T_{max} (измерялись термовизором);
- температура в зоне сварного шва "сопло (Nb5B2Mц) + сопловой насадок (OT4-1)" T_{шов2}, T_{шов3} (измерялась двумя контактными термопарами группы ХА).



Рисунок 1. – Экспериментальное сопло с титановым насадком.

Максимальные температуры конструкции, полученные в ходе испытаний, приведены в таблице 1, места измерения температур представлены на рисунке 2.

Таблица 1 – Максимальные температуры конструкции при испытаниях

τ _{вк}	T ₂	T ₃	T _{max}	T _{шов2}	T _{шов3}
с	°С				
250	1044	1116	1125	619	601
250	1078	1188	1191	657	653
2000	1118	1249	1255	667	665

τ_{вк} – длительность включения при огневом испытании;
T_{max} – максимальное значение температуры стенки сопла в зоне между T₂ и T₃.

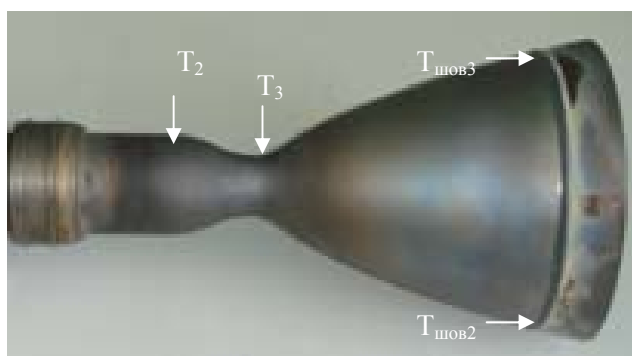


Рисунок 2. – Места измерения температур при огневых испытаниях.

Анализ металлографических исследований сварного шва подтвердил, что титановый сплав OT4-1 имеет достаточную жаростойкость и жаропрочность в исследуемом диапазоне температур (см. рисунок 3).



Рисунок 3. – Сопло с титановым насадком после огневых испытаний.

3. Термодинамический расчёт сопла двигателя в условиях наиболее не-

благоприятных сочетаний воздействующих факторов при эксплуатации двигателя.

Для определения теоретического температурного состояния стенки сопла необходимо провести расчет, которым предполагается определить распределение скорости продуктов сгорания, газодинамические параметры ПС, температуры стенки.

4. Выбор минимально допустимой длины соплового насадка, определяющей эффективность использования титанового сплава в конструкции сопла ЖРДМТ.

Основным параметром при этом является масса соплового насадка, которая должна обеспечивать снижение массы сопла, по сравнению с идентичным полноразмерным соплом из материала Н65В2Мц, более чем на 300 г.

5. Анализ ограничений по технологии изготовления соплового насадка методом ротационной вытяжки.

Сопловой насадок предполагается изготавливать методом ротационной вытяжки листового материала из титанового сплава ОТ4-1 в холодном состоянии. Поэтому требуется найти его оптимальные геометрические параметры для последующей механической обработки места соединения с соплом с учётом возможностей технологического оборудования (станка модели 1722).

6. Анализ теплового состояния сопел аналогичных отработанных ЖРДМТ тягой от 10 до 40 кгс для проверки сходимости расчётных и экспериментальных данных.

Данный анализ следует провести, чтобы установить погрешность термо-

динамического расчёта с целью последующего сокращения объёмов ресурсных огневых испытаний и, соответственно, снижения затрат на них при отработке двигателя с титановым насадком.

7. Выбор геометрических параметров соплового насадка из титанового сплава ОТ4-1.

Выбранная оптимальная геометрия соплового насадка должна обеспечить возможность выполнения сварного шва "сопло (Н65В2Мц) + сопловой насадок (ОТ4-1)", в том числе сопряжения внутренних контуров сопла, отвечающего требованиям достаточной жаростойкости.

8. Огневые испытания макета двигателя с соплом, имеющим сопловой насадок из титанового сплава ОТ4-1.

Цель указанных испытаний - подтверждение точности расчёта и правильности выбора температурной зоны изучаемого сварного шва на макете двигателя. Будет определено действительное температурное состояние сопла с последующим контролем сварного шва на прочность и герметичность, проведением металлографического анализа.

9. Оценка результатов.

Оценка результатов расчётных и экспериментальных данных позволит при необходимости откорректировать расчётную часть.

10. Формирование предложений.

Предложения по использованию сопловых насадков из титановых сплавов будут применены в конструкциях вновь разрабатываемых и модернизируемых ЖРДМТ.

Сведения об авторе:

Владимир Алексеевич Давыдов, инженер-конструктор ФГУП «НИИМаш» г. Нижняя Салда. Тел. (34345) 36-572. E-mail: vladimir.davidov-NS@yandex.ru, mail@niimashspace.ru. Область научных интересов: расчётно-теоретические и экспериментальные исследования рабочих процессов в жидкостных ракетных двигателях малой тяги.

Author information

V.A. Davidov, design-engineer, FSUE R&D Institute of Mechanical Engineering, Nizhnyaya Salda, Sverdlovsk region, phone: (34345) 36-572. E-mail: vladimir.davidov-NS@yandex.ru, mail@niimashspace.ru. Area of research: design-theoretical and experimental research of operation processes in low-thrust rockets.