

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу А.А. Лабутина «Разработка синтеза малогабаритных оболочечных конструкций из слоистого композита Nb/Mo с защитным покрытием на основе метода магнетронного распыления», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5. «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

### Актуальность темы диссертации

Диссертация Лабутина А.А. посвящена повышению эксплуатационной надежности и срока службы космических аппаратов (КА) путем проведения научных исследований в области разработки технологий получения новых слоистых металлокомпозитов и методов переработки их в готовые изделия. Одним из видов подобных изделий являются оболочечные конструкции с постоянным или переменным радиусом кривизны по длине изделия – например камеры сгорания специальных двигателей малой тяги, имеющие к тому же диаметр критической части порядка 1 мм. Важной является также задача нанесения качественного защитного покрытия на внутреннюю стенку малогабаритной оболочки.

Наиболее подходящими для создания оболочечных конструкций КА из слоистых металлокомпозитов (СМК) являются различные вакуумные методы нанесения покрытий. Они позволяют напылять как слои металлов, так и различные химические соединения – оксиды, нитриды, карбиды и другие. К настоящему времени методом вакуумно-дугового напыления были изготовлены тонкостенные оболочки из СМК. Однако, низкая производительность метода и ряд негативных свойств СМК показали необходимость дальнейших исследований. Поэтому исследования и разработка более эффективного метода изготовления различных неохлаждаемых малогабаритных оболочечных конструкций, в том числе

камер сгорания двигателей малой тяги, из жаропрочного СМК с жаростойким покрытием на ее внутренней стенке весьма актуальны.

### **Научная новизна работы**

Научная новизна работы Лабутина А.А. заключается в разработке синтеза методом напыления системой инвертированных магнетронов тонкостенных жаропрочных оболочечных конструкций с постоянным и переменным по длине оболочки радиусом кривизны из слоистых металлокомпозитов, выявлении условий и оптимальных параметров процессов нанесения монослойных Nb и Mo покрытий и формирования СМК Nb/Mo с минимальными остаточными напряжениями, сущ.

При этом было установлено, что при формировании оболочечных конструкций из СМК Mo/Nb оптимальные значения напряжения смещения на подложке, обеспечивающие образование плотной структуры покрытия при удовлетворительной адгезии покрытия к подложке, составляют  $U_n = -60$  В при напылении слоев молибдена и  $U_n = -200$  В при напылении слоев ниобия и оказывающие существенное влияние на текстуру слоев.

Следует отметить, что представленный новый метод формирования оболочек из СМК может применяться для изготовления подобных изделий из разных металлов и работающих в различных условиях эксплуатации

### **Практическая ценность диссертации**

Разработана опытная технология изготовления тонкостенной оболочечной конструкции с постоянным и переменным по длине изделия радиусом кривизны из СМК Nb/Mo на базе напыления слоев системой инвертированных магнетронов.

Представлена опытная гибридная технология изготовления макетов камер сгорания малогабаритных двигателей КА с жаростойким покрытием на внутренней стенке, полученного силицированием, и изготовлены опытные макеты камер сгорания.

Разработано оборудование для изготовления системой инвертированных магнетронов многослойных тонкостенных оболочечных конструкций из СМК без капельной фазы в напыленных слоях.

### **Достоверность полученных результатов**

Достоверность полученных результатов обеспечивается необходимым объемом экспериментальных исследований, применением комплекса современных методов исследований и испытаний, использованием сертифицированного оборудования, воспроизводимостью результатов измерений.

### **Соответствие автореферата диссертации**

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

Автореферат дает правильное и всестороннее представление о проделанной работе, содержит в кратком виде необходимую информацию, характеризующую полученные результаты, основные положения и выводы диссертации.

### **Объем и структура диссертации.**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 110 наименований и приложений. Работа содержит 113 страницы машинописного текста, 47 рисунков, 13 таблиц.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 7 научно-технических конференциях, опубликованы в 12 научных работах, в том числе в 4 статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК.

### **Замечания по диссертационной работе**

По содержанию и оформлению диссертации можно сделать следующие замечания:

1. В работе многократно приводится значение температуры подложки в разных экспериментах по напылению. Однако методики ее измерений не приводятся.

2. Недостаточное обоснование выбора методик исследования химического и структурно-фазового состава и при дальнейшем анализе не учтены недостатки выбранных методов – стр. 55.

3. Не раскрыта последовательность операций 3-его этапа гибридной технологии формирования СМК Nb/Mo – дополнительное напыление слоя Nb для увеличения толщины оболочки на ее критической части – стр. 89.

4. Из текста неясно, проверка на герметичность камер сгорания с помощью обдувания объекта испытаний контрольным газом по ОСТ 92-1527-89 должна проводиться для всех изделий или только для контрольных – стр. 95.

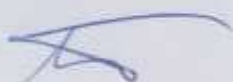
5. Неясно проводилась ли проверка состояния внутренней поверхности обечайки после вытравливания трубки – стр. 91.

Приведенные замечания в целом не меняют общего положительного впечатления о представленной диссертационной работе. Тема диссертации соответствует заявленной специальности, а полученные результаты соответствуют поставленной цели и задачам работы. Диссертация выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной, практической ценностью, является самостоятельной и законченной научно - исследовательской работой. В диссертации решена важная задача по разработке метода синтеза тонкостенных оболочечных конструкций с постоянным и переменным радиусом кривизны по длине изделия из жаропрочных СМК на основе напыления слоев магнетронными распылительными системами с жаростойким покрытием на внутренней стенке.

Диссертационная работа удовлетворяет критериям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Лабутин Александр Андреевич, заслуживает присуждения ему ученой

степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5. «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Официальный оппонент кандидат технических наук, младший научный сотрудник Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В.Скобельцына Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»



Ткаченко Никита Владимирович

Подпись к.т.н., Ткаченко Н.В. удостоверяю

Директор НИИЯФ МГУ

06.03.2023



д.ф.-м.н. Боос Э.Э.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына

Почтовый адрес; 119234, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2

Тел.: +7(495)939-18-18 E-mail: info@sinp.msu.ru