

Проведя анализ аэроупругих процессов по предложенной схеме, можно заключить, что рассмотренный пример относится к типу несинхронных аэроупругих колебаний.

Библиографический список

1. Селезнёв В.Г., Головченко И.Ю., Ильинская О.И. Об интерпретации результатов фазовых измерений при исследовании колебаний рабочих колес турбомашин // Научные

труды (Вестник МАТИ). 2014. № 25(97). С. 57-65.

2. Магнус К. Колебания: Введение в исследование колебательных систем. Пер. с нем. М.: Мир, 1982. 304 с.

3. Drolet M. Refinement of non-synchronous vibrations prediction in axial compressors. Master's thesis. Montreal, 2010. 114 p.

УДК 621.454.2

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ЖИДКОСТНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С АГРЕГАТАМИ, РАЗРАБОТАННЫМИ ПО ИННОВАЦИОННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

© 2016 А.В. Солодовников, И.А. Акиншин, В.В. Голубятник, А.В. Кривоногов

Военная академия им. Петра Великого (филиал в г. Серпухов Московской области)

ASSESSMENT OF A POSSIBILITY THE CREATION OF THE LIQUID ROCKET ENGINE WITH UNITS WHICH ARE PRODUCED ON INNOVATIVE TECHNOLOGIES

Solodovnikov A.V., Akinshin I.A., Golubyatnik V.V., Krivonogov A.V. (The Military Academy the Great Peter, Serpukhov, Moscow Region, Russian Federation)

The article deals with the concept of the liquid rocket engine creation with units which are produced on innovative technologies. Comparative engineering and economic analysis of the engine parts created by traditional and perspective means of production is done.

Одним из перспективных направлений повышения энергомассовых характеристик жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) является применение инновационных технологий при производстве деталей и сборочных единиц (ДСЕ).

Согласно докладу Сколковского института науки и технологий (Skoltech) к инновационным технологиям, применяемым в ракетной технике, можно отнести:

- аддитивные технологии (AF - Additive Manufacturing), т. е. метод послойного селективного лазерного плавления гранул металлических сплавов;

- композиционные материалы (КМ) на основе углерод - углеродных (углерод – керамических) композиционных нитей.

Современные традиционные технологии изготовления ЖРД основаны на создании деталей путём удаления избыточного материала с последующим соединением их сваркой, пайкой и т. п. в единое целое.

Авторами статьи предлагается концепция создания инновационного ЖРД, в кото-

ром агрегаты, а также их ДСЕ, выполнены по новым технологиям.

Известно, что общую стоимость (трудоемкость) ЖРД в основном определяют семь основных агрегатов ($\approx 60\%$ трудоемкости): камера сгорания (КС), турбонасосный агрегат, газогенератор, дроссель и регулятор, а также пусковые клапаны окислителя и горючего. Остальные ДСЕ (более 50 наименований) имеют незначительную трудоемкость, поэтому рассматривать их в рамках данной работы нецелесообразно.

Авторами предлагается концепция инновационного ЖРД, в котором металлическую КС регенеративного охлаждения заменить новой конструкцией:

- смесительная головка (СГ) изготавливается по AF-технологии из никель – хромового сплава (коррозионностойкой стали);

- цилиндр КС с соплом – из углерод – углеродного (углерод-керамического) КМ;

- соединение двух элементов осуществляется фланцевым болтовым соединением за зоной СГ (уплотнитель - материал IZOLOCK

С-200), в месте, где отсутствует тепловое воздействие горячих газов на конструкцию.

Преимущества данной конструктивной схемы КС ЖРД следующие:

1. Исключение регенеративного охлаждения позволяет при сохранении температуры генераторного газа увеличить давление в камере сгорания (до 30 МПа).

2. Снижение массы КС за счёт использования КМ в конструкции.

Для подтверждения концепции создания инновационного ЖРД авторами были проведены теоретические исследования.

Анализ данных показал, что СГ, выполненная по АФ - технологии, в 3,5 раза дешевле традиционной, а подготовка производства уменьшается в сотни раз.

Дополнительно необходимо отметить, что количество ДСЕ, входящих в комплектацию смесительной головки, уменьшилось в 20 раз, а количество используемого оборудования – в 2,5 раза. При этом отмечается сокращение номенклатуры ДСЕ, необходимых для изготовления СГ, с 20 наименований до 1.

Для выполнения проектно-оценочных работ, авторами разработана математическая модель инновационного ракетного двигателя, учитывающая:

- применение новой КС, изготовленной по инновационным технологиям;

- конструктивное объединение: дросселя с клапаном пуска горючего КС (взамен двух агрегатов применён шаровой кран с электроприводом) и регулятора с клапаном пуска горючего в газогенератор.

Для подтверждения концепции создания инновационного ЖРД были проведены экспериментальные исследования на модельных КС, изготовленных традиционным и инновационным способами.

Экспериментальные исследования включают сравнительный анализ по двум направлениям:

- моделирование технологий (по трудоёмкости) изготовления элементов ЖРД;

- оценка технических параметров, полученных при огневых испытаниях (ОИ) моделей ЖРД, изготовленных по традиционной и инновационной технологиям.

Анализ полученных данных показал, что модельная КС, выполненная по иннова-

ционным технологиям в 3,7 раза дешевле традиционной металлической (теоретические расчёты показали значение 3,5).

Дополнительно можно отметить сокращение номенклатуры деталей (в 3 раза), необходимых для изготовления модельной камеры с 9 (традиционная) до 3 (инновационная) наименований.

ОИ подтвердили, что модельная КС, имеющая в своём составе СГ, изготовленную по аддитивной технологии, и цилиндр камеры с соплом – из КМ, может полностью заменить камеру, изготовленную традиционным способом.

В результате научной работы над концепцией инновационного ЖРД возникли следующие проблемные вопросы:

1. Разработка отечественной технологии получения гранул от 5 до 40 мкм хромоникелевых, титановых и коррозионностойких сталей (в Российской Федерации отсутствует производитель качественных гранульных материалов для промышленных аппаратов лазерного спекания металлов).

2. Отсутствие отечественных промышленных аппаратов лазерного спекания металлов, в особенности для получения крупногабаритных элементов.

3. Необходимо изменение конструкции смесительной головки с целью сокращения тупиковых зон, трубопроводов с малым диаметральной сечением и т. п., что может при производстве изделия по АФ - технологии привести к заплыванию.

4. Изменение программ и методик проведения наземных ОИ ЖРД с композиционной КС перед поставкой товарного двигателя на завод – изготовитель ракет.

Таким образом, подведём следующие итоги проведённой работы:

1. В рамках внедрения инновационных технологий предлагается новый подход к проектированию и изготовлению ДСЕ ЖРД по сравнению с традиционным.

2. Разработанная концепция создания инновационного жидкостного ракетного двигателя на основе новых технологий позволит значительно снизить (до 60%) производственные расходы.

3. Огневые испытания модельной КС, состоящей из СГ, выполненной по аддитивной технологии из никель – хромового спла-

ва и цилиндра камеры с соплом, изготовленного из КМ, подтвердили работоспособность агрегата, созданного по инновационным принципам производства.

4. В целях дальнейшего успешного внедрения инновационных технологий на полноразмерные ЖРД необходимо проведение широкого спектра научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

УДК 536.24

К ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛОТДАЧИ В ОХЛАЖДАЮЩИХ КАНАЛАХ ТУРБИНЫХ ЛОПАТОК

©2016 А.В. Ильинков, А.В. Щукин, И.И. Хабибуллин, В.В. Такмовцев

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А.Н. Туполева - КАИ

ON HEAT TRANSFER ENHANCEMENT IN COOLING CHANNELS OF TURBINE BLADES

Ilinkov A.V., Shchukin A.V., Khabibullin I.I., Takmvtsev V.V. (Kazan national research technical university named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russian Federation)

New heat transfer intensifier submitted by the authors has been investigated. It differs from hemispherical dimple in that there is a stable vortex in each of its hollows. The intensity of the vortex is increased due to the diffuser shape of the dimple. Heat transfer from the surface with such dimples is 2.5...3 times more than from the surface with hemispherical dimples.

Повышение удельных параметров газотурбинных двигателей (ГТД) и энергетических установок требует перехода к более высоким температурам потока газа. Однако в этом случае требуется всё больше воздуха для охлаждения горячих деталей двигателя, и, особенно – турбины высокого давления (ТВД). Поскольку перепад полных давлений между охлаждающим воздухом и потоком горячего газа в ТВД невелик, то для эффективного функционирования системы охлаждения требуется использовать малоэнергетические интенсификаторы теплообмена.

Разработка и усовершенствование таких интенсификаторов в рамках пристенной интенсификации теплообмена позволяет сузить количество варьируемых параметров при поиске малоэнергетических теплообменных поверхностей.

В докладе анализируются результаты опытных исследований предложенной авторами схемы и конструкции эффективного пристенного интенсификатора теплообмена (Патент на изобретение RU № 2569540 С1). В силу увеличивающих теплоотдачу факторов интенсификатор, происходящий от сферической выемки отрывного типа, назван двухполостной диффузорной выемкой (ДДВ). Её отличие от сферической выемки

состоит, во-первых, в том, что в каждой из двух её полостей (рис. 1) генерируется непрерывно действующая устойчивая самоорганизующаяся вихревая структура. Во-вторых, эти структуры формируются в условиях диффузорного возвратного течения. В таких течениях возникает неустойчивость потока с возникновением в пристенной области микровихрей и микроотрывов. Всё это способствует повышению мощности крупномасштабных самоорганизующихся вихревых структур путём «поглощения» мелких вихрей.

Отметим, что по ходу возвратного течения полости ДДВ расширяются не только в плане (рис. 1), но и за счёт увеличения их глубины.

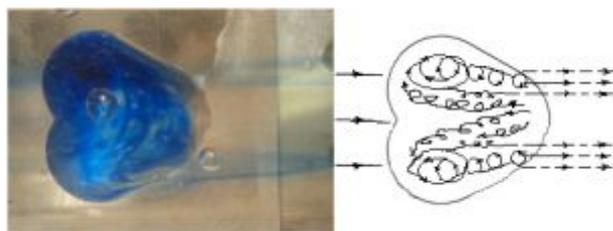


Рис. 1. Схема ДДВ в плане и осредненная по времени структура потока по результатам визуализации её оттекания