

от формы, количества и схемы размещения каналов подвода рабочего тела;

- вдув рабочего тела на втулке рабочего колеса, при работе ступени осевого компрессора на срывных режимах, позволяет уменьшить вихреобразование и улучшить параметры ступени.

Библиографический список

1. Дейч М.Е. Техническая газодинамика. Изд. 2-е, переработ. -М.–Л.: Госэнергоиздат, 1961. 434 с.
2. Кампсти Н. Аэродинамика компрессоров: Пер. с англ. – М.: Мир, 2000. 688 с.

УДК 621.452.33-226.001.63«313»

АНАЛИЗ ОПЫТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПУСТОТЕЛОГО ДИСКА ТУРБИНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ И ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

©2016 Б.Е. Васильев¹, А.В. Сальников¹, Л.А. Маггеррамова¹, И.И. Морозов², Е.А. Кишов²

¹Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова», г. Москва,

²ЗАО «КАДФЕМ Си-Ай-Эс» (филиал в ПФО, г. Самара)

DESIGN ANALYSIS OF HOLLOW DISK FOR ADDITIVE MANUFACTURING USING PARAMETRIC AND TOPOLOGICAL OPTIMIZATION

Vasilyev B.E., Salnikov A.V., Magerramova L.A. (Central Institute of Aviation Motors named after P.I. Baranov, Moscow, Russian Federation),
Morozov I.I., Kishov E.A. (CADFEM-CIS, Samara, Russian Federation)

This paper presents the results of the HPT hollow disk design using parametric and topological optimization. Study results show that the disk weight is reduced by 10% compared to the conventional design with the same safety factor level. Optimized hollow disk has been changed to insure possibility of its production by additive manufacturing. We are planning to conduct comprehensive works to study the possibility of using "printed" disks.

В настоящее время бурно развиваются аддитивные технологии (АТ) изготовления деталей. На основе полученного опыта ведущие компании отрасли заявляют о многочисленных преимуществах АТ, таких как: уменьшение расходов и времени производства, сокращения массы и числа деталей, а также возможность производства деталей конструкции, которое не может быть обеспечено традиционными технологиями.

Для максимального выигрыша от использования АТ необходимо при проектировании деталей выходить за рамки имеющего у конструктора опыта и подхода к проектированию. Одной из наметившихся тенденций при проектировании деталей и узлов, в том числе газотурбинных двигателей, является применение методов оптимизации [1].

Наиболее используемым подходом в оптимальном проектировании является использование параметризованной модели, с помощью которой осуществляется варьирование некоторых размеров в заданных пре-

делах для оптимизации конструкции по нескольким критериям (прочность, масса, газодинамическая эффективность и т.д.). В ЦИАМ ведётся обширная работа в данном направлении, в частности, разработана технология автоматизированного многокритериального проектирования[2].

Альтернативой параметрической является структурная оптимизация (в том числе топологическая), с помощью которой можно получить оптимальную форму детали по заданным критериям без параметризации конструкции. Интенсивное развитие методов топологической оптимизации (ТО) совпало с развитием методов АТ [1].

Целью ТО является определение оптимального распределения материала в области проектирования при заданных нагрузках с удовлетворением критериев и ограничений оптимизации [1]. Решением задачи ТО является распределение условной плотности в области проектирования.

Каждый из перечисленных подходов был применён для оптимизации диска диаметром 209 мм, прототип которого используется в турбине высокого давления турбовального двигателя.

На первом этапе работ проведена оценка преимуществ применения дисков с двумя полотнами.

Для этого проведена параметрическая оптимизация с помощью разработанного метода [2] в программном пакете IOSO сплошного и пустотелого вариантов диска (схемы параметризации приведены на рис.

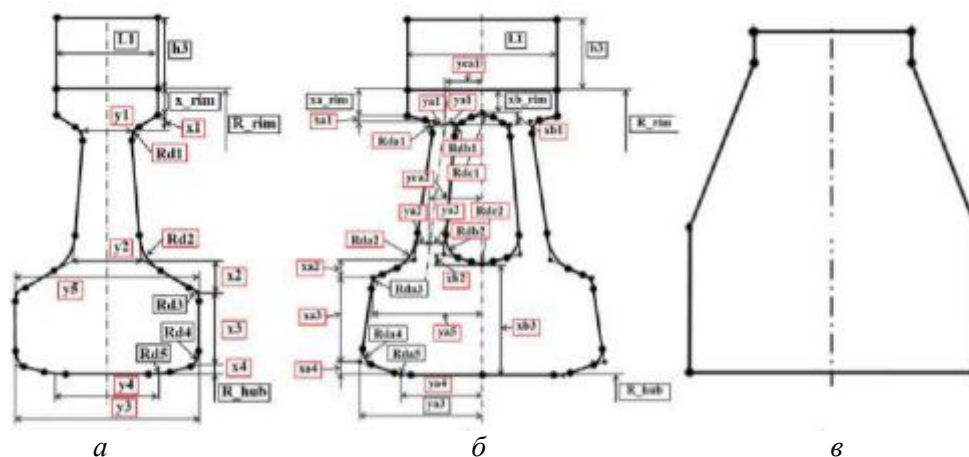


Рис. 1. Сравнение постановок задач оптимизации

Топологическая оптимизация проведена в разрабатываемом специалистами ЗАО «КАДФЕМ Си-Ай-Эс» программном продукте CADFEM Topology Optimization. Критерием оптимизации являлась минимизация объёма с удовлетворением ограничений по величине местных напряжений и запасов по разрушающей частоте вращения (для этого в оптимизатор внедрены коды ЦИАМ). В результате сформирована конструкция диска с двумя полотнами, того же вида, что и полученная после параметрической оптимизации (рис. 2,а).

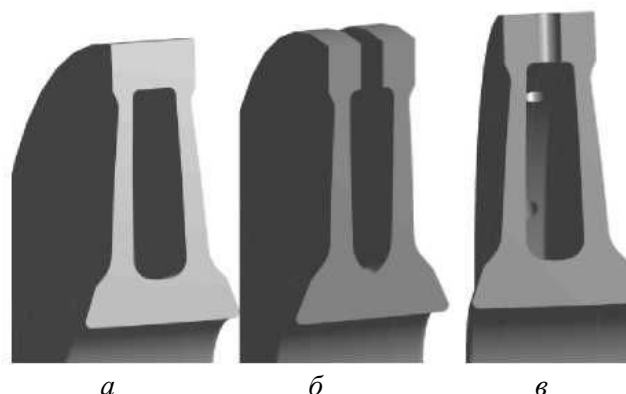


Рис. 2. Вид неразрезной части пустотелого диска

1, а - б, красным обведены размеры, которые меняются в процессе оптимизации).

Анализ полученных результатов показал, что при заданных нагрузках масса варианта диска с двумя полотнами на 8-10% меньше массы конструкции прототипа диска.

На рис. 1,б - в показаны постановки задач оптимизации. Следует отметить, что при проведении окончательной оптимизации полотна пустотелого диска описывались не прямыми линиями, а сплайнами, что позволило существенно уменьшить суммарные деформации в зоне отверстия диска (величина которых также была ограничена).

Геометрический облик диска рассмотрен с точки зрения возможности изготовления его методами АТ.

При изготовлении деталей как прямым, так и послойным методами АТ необходимо удаление остатков порошка, для чего в конструкции должны быть предусмотрены отверстия. Более удачными вариантами могут быть конструкции, показанные на рис. 2, б - в.

Эти диски могут быть изготовлены обоими методами при условии изменения углов, образующих внутреннюю часть обода. При изготовлении прямым методом построение может осуществляться на вращающуюся трубу с горизонтальной осью. При послойном методе диск «печатается», располагаясь на столе построения под определённым углом.

Важной задачей является обеспечение требуемой шероховатости внутренней поверхности, которая не может быть достигнута без постобработки. В варианте «б» (рис. 2) полость между полотнами диска может быть

подвергнута механической обработке. В варианте «в» для получения допустимой шероховатости полости могут быть применены другие методы, например, электрохимические, гидроабразивные и т.д.

Анализ результатов работы показал целесообразность применения конструкции с двумя полотнами.

В дальнейшем планируется проведение комплексных исследований прочности в обеспечении возможности применения «напечатанных» дисков ТВД.

УДК 62-137

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ

©2016 А.И. Ермаков, Г.М. Попов, А.А. Волков

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

CREATION OF THE CENTRIFUGAL COMPRESSORS PARAMETRIC DESIGN SYSTEM

Ermakov A.I., Popov G.M., Volkov A.A. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The paper discusses the application of centrifugal compressors. Has been carried out the analysis of the parametric centrifugal compressors design system necessity. Has been conducted the modeling of the centrifugal compressor CFD-calculation. Verification of calculation results has been made.

В настоящее время область применения центробежных компрессоров (ЦБК) многогранна: авиационные газотурбинные двигатели, малоразмерные газотурбинные двигатели, промышленные центробежные компрессоры, турбонаддув двигателей внутреннего сгорания и др.

Применение CFD анализа при проектировании и доводке центробежных компрессоров позволяет существенно сократить время работ и снижает стоимость конструкции. CFD-моделирование позволяет с определённой точностью прогнозировать параметры потока, что в конечном итоге позволяет добиться наилучших параметров. Использование параметрической модели ЦБК с изменяемой формой средней линии, изменяемой шириной профилей, радиусов, меридионального и тангенциального положений при проектировании, либо доводке позволяет оптимизировать геометрию ЦБК для удовлетворения требованиям технического задания, либо роста значений основных параметров – коэффициента полезного действия (КПД) и степени повышения давления. Также пара-

Библиографический список

1. Васильев Б.Е., Магеррамова Л.А. Анализ возможности применения топологической оптимизации при проектировании неохлаждаемых рабочих лопаток турбин // Вестник СГАУ, 2015. Т.14, № 3, Ч. 1. С. 139-147.
2. Сальников А.В. Конструктивно-прочностная многокритериальная оптимизация узлов рабочих колес ГТД // Авиационно-космическая техника и технология. - 2013. №9(106). С. 101-109.

метрическая 3D модель ЦБК позволяет создавать семейства ЦБК для применения в различных областях.

Современный уровень развития программных комплексов позволяет задавать маршрут технологической обработки в автоматическом режиме по 3D модели. В результате на 5-координатном станке из заготовки получают крыльчатку ЦБК. Такой способ производства широко применяется в настоящее время.

Целью данной работы является создание системы параметрического проектирования центробежных компрессоров. В результате весь цикл создания ЦБК, начиная с ввода основных данных и заканчивая производством, будет происходить в автоматическом режиме, и также может быть оптимизирован, что позволит сократить временные и экономические затраты.

Система параметрического проектирования ЦБК разделяется на этапы:

1. 1D, 2D –расчёт;
2. Создание 3d модели (выполнено в AutoBlade);