

ченным данным, изменения температуры и давления не выходят за установленные рамки технологических параметров. Таким образом, отпала необходимость вводить корректировку в технологический режим.

Полученные первые образцы модельной лопатки показали недостаточно качественную диффузионную связь боралюминия с титаном. Причиной этого являлось отсутствие необходимого качества контактной поверхности боралюминиевых стержней. Для обеспечения надежной диффузионной связи по границе боралюминий–титан, качество контактной поверхности боралюминиевых стержней доводили до уровня «зеркального блеска».

Полученные боралюминиевые стержни укладывали на нижнюю титановую оболочку толщиной 0,5 мм и накрывали верхней титановой оболочкой толщиной 0,5 мм. Для предотвращения радиального смещения стержней между ними устанавливали технологические вставки.

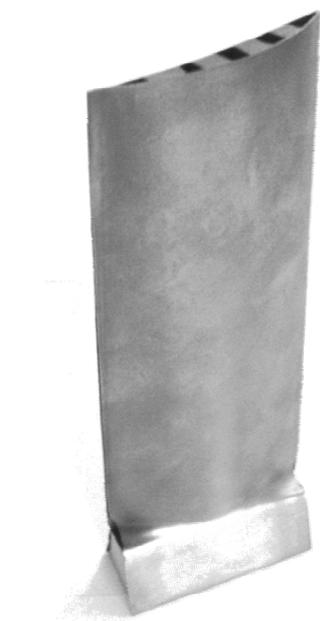


Рис. 4. Модельная лопатка составной конструкции

Процесс диффузионной сварки боралюминия с титаном проводили по отработанному режиму. Полученные модельные лопатки визуально показали качественное соединение по границе боралюминий–титан, отсутствие радиального смещения боралюминиевых стержней и образования зигзагообразного вида замковой части (рис. 4).

В результате проведенной работы оптимизирован процесс получения боралюминиевого КМ, разработана методика определения критических параметров технологии изготовления. Собранный статистический материал позволил выявить критические точки в технологии и оптимизировать процесс изготовления боралюминиевого КМ, включающий диффузионную сварку с титаном. Оптимизация технологии позволила освоить процесс изготовления модельных лопаток составной конструкции с углом закрутки 18 град для проведения испытаний на разгонном стенде. После испытаний будут внесены соответствующие коррективы в процесс изготовления, которые позволят приступить к освоению технологии изготовления полноразмерной лопатки составной конструкции.

А.А. Шавнев, Ю.А. Абузин, В.Н. Кочетов

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОДЕЛЬНОЙ ПУСТОТЕЛОЙ ЛОПАТКИ СОСТАВНОЙ КОНСТРУКЦИИ КАК ОДНОГО ИЗ ЭТАПОВ ОСВОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛНОРАЗМЕРНЫХ ШИРОКОХОРДНЫХ ПУСТОТЕЛЫХ ЛОПАТОК ВЕНТИЛЯТОРА ГТД

Лопатка вентилятора ГТД – одна из наиболее сложных деталей двигателя по геометрической форме и, следовательно, по технологии изготовления и условиям работы. Она испытывает статические и динамические нагрузки (растяжение, изгиб, кручение), меняющиеся температурные нагрузки, вибрации, приводящие к возникновению резонансных колебаний различной формы, а также коррозионное и эрозионное воздействие внешней среды, – при этом лопатка должна обладать минимальной массой.

Эффективным решением при разработке и создании рабочих лопаток вентилятора для современных и перспективных ГТД является пустотелая конструкция с применением МКМ. В течение последних лет в ВИАМ (совместно с ФГУП «ЦИАМ») разрабатывается конструкция и технология составных пустотелых широкохордных лопаток вентилятора с несущими элементами из высокопрочного, высокомодульного боралюминиевого МКМ. Основным преимуществом такой лопатки является возможность отстройки от опасных высокочастотных колебаний путем изменения геометрических размеров, количества и места расположения несущих нагрузки стержней, возможность отказа от бандажирования лопаток вследствие высокой жесткости и высоких демпфирующих характеристик композита, возможность минимизации перемещений периферийной части лопатки и, следовательно, величины рабочих зазоров, а также снижение массы диска и всей ступени в целом [1].

Для отработки технологии получения стержней с углом закрутки вдоль волокон из боралюминиевого МКМ, формирования оболочек из титанового сплава, диффузионной сварки боралюминиевых стержней с титановой оболочкой, опытного подтверждения возможности изготовления предложенных составных пустотелых широкохордных лопаток вентилятора, а также экспериментальной оценки работоспособности элементов лопатки во ФГУП «ЦИАМ», разработана модель рабочей лопатки вентилятора с профилированным пером постоянного поперечного сечения и замковым соединением «ласточкин хвост».

Прессование боралюминиевого материала проводили на гидравлическом прессе П-476 усилием 160 тс, с обогреваемыми плитами, обеспечивающими температуру до 560°C.

Образцы изучали на световом микроскопе Neophot-21.

Технология изготовления составной лопатки подразумевает получение МКМ А1-В с внутренними полостями, исходя из условий необходимости совмещения этого процесса с процессом соединения этого материала с титановой оболочкой методом диффузионной сварки. Поэтому одной из задач в работе являлось согласование технологических параметров этих двух процессов с целью получения оптимальных свойств боралюминия и прочной связи по границам раздела боралюминий–титан.

Накопленный опыт в проведении научно-исследовательских работ по разработке технологии и изготовлению изделий составной конструкции из боралюминиевого МКМ, соединенного титановой оболочкой, для лопаток вентилятора перспективных ГТД [2] является фундаментальной основой при разработке и оптимизации технологического процесса получения рабочей модельной пустотелой лопатки составной конструкции с профилированным пером постоянного поперечного сечения.

Во ФГУП «ЦИАМ» были спроектированы пресс-формы, позволяющие получать боралюминиевые стержни с профильной частью, формировать верхнюю и нижнюю титановые оболочки, а также сборочная пресс-форма для диффузионной сварки боралюминия с титаном. Весь комплект пресс-форм изготовлен в ММПП «Салют».

Предварительно перед освоением технологии получения боралюминиевых стержней (с углом закрутки вдоль волокон) было проведено исследование равномерности распределения температурного поля пресс-формы. Исследования проводились на используемом технологическом оборудовании (изготовление боралюминиевого МКМ) с целью согласования совместной работы этого оборудования и пресс-формы. Нагрев пресс-формы осуществляли верхней и нижней нагревательной плитой. Для обеспечения равномерности температурного поля пресс-форму с четырех сторон обкладывали слоем теплоизоляции из волокнистой керамики. Температуру в центре пресс-формы и в точках на различном удалении от центра измеряли термопарой хромель-алюмель. Ус-

тановлено, что максимальный перепад температур от центра пресс-формы к периферии не превышает 20°C.

Исследование распределения давления при формировании стержней из боралюминиевого МКМ производилось расчетным путем, с учетом углов наклона прессуемой поверхности в каждой точке стержня относительно горизонтали. Максимальная раз-вертка пера лопатки относительно замка составляла 18 град, перепад давления на периферийных участках пресс-формы: 25 МПа.

Полученные результаты изменения температурного поля пресс-формы и расчетного распределения давления не выходят за установленные рамки технологических параметров, что подтверждает возможность получения качественных стержней из боралюминиевого МКМ и проведения диффузионной сварки с титановой оболочкой.

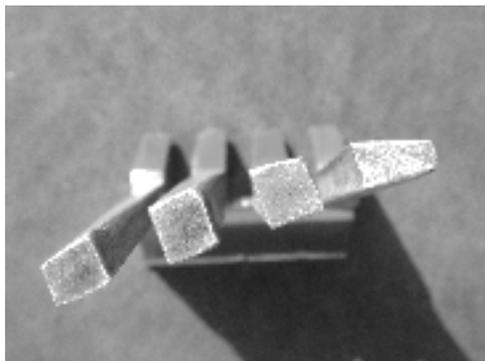


Рис. 1. Вид на верхний торец стержней из боралюминиевого МКМ после формирования с углом закрутки 18 град

Технологический процесс получения боралюминиевых стержней с углом закрутки вдоль волокон включает раскрой боралюминиевых монослоев на моноленты заданного размера, укладку монолент в ячейки пресс-формы, что оказалось чрезвычайно сложным и трудоемким процессом. Исходная высота пакета из боралюминиевых монолент превышает высоту стенок ячеек пресс-формы, что затрудняет фиксирование пакета в пресс-форме и приводит к осевому и поперечному сдвигу монолент при прессовании. С целью облегчения технологического этапа изготовления боралюминиевых стержней с углом закрутки вдоль волокон было предложено разбить процесс на два под-этапа. На первом этапе формируют плоские боралюминиевые стержни с замковой

частью, на втором – эти стержни укладывают в ячейки пресс-формы с последующей закруткой вдоль волокна (рис. 1).

Макроструктура боралюминиевых стержней показана на рис. 2. Используемая технология диффузионной сварки обеспечивает полное компактирование, получение беспористого материала с равномерным распределением волокон в матрице, без разрушения волокон.

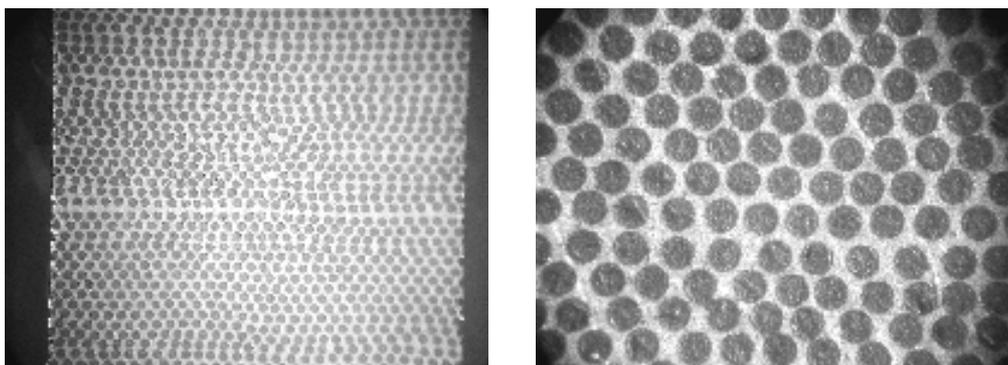


Рис. 2. Макроструктура стержня (а – $\times 4$; б – $\times 20$) из боралюминиевого МКМ с закруткой вдоль волокна после диффузионной сварки

Данный технологический этап обеспечивает необходимую технологическую прочность и геометрию боралюминиевых стержней, перо и замковая часть стержней представляют собой монолитную конструкцию, армированную волокнами бора.

После проведения технологических операций по изготовлению стержней из боралюминиевого МКМ с закруткой вдоль волокна контактную поверхность обрабатывали механическим путем с последующим обезжириванием ацетоном, с целью обеспечения надежной связи на границе боралюминий–титан.

Формирование титановых оболочек проводили как в холодном, так и в горячем состоянии. В первом случае наблюдалось недостаточное формообразование оболочек и, как следствие, снижение качества диффузионной сварки. Во втором случае геометрия титановых оболочек соответствовала всем требованиям. Подготовку поверхности оболочек под диффузионную сварку с боралюминием проводили методом химического травления.

Сборку модельной лопатки составной конструкции проводили в сборочной пресс-форме.

Зачищенные боралюминиевые стержни укладывали на нижнюю титановую оболочку и накрывали верхней титановой оболочкой. Для предотвращения смещения стержней, между ними устанавливали технологические вставки.

Полученные первые образцы модельной лопатки отличались недостаточной диффузионной связью боралюминия с титаном.

После извлечения изделия из пресс-формы, на некоторых образцах наблюдалось отслоение титановой оболочки от боралюминиевых стержней, вследствие образования оксидов.

Причиной этого явилось недостаточное начальное давление смыкания пресс-формы с обогреваемыми плитами и недостаточное качество контактной поверхности боралюминиевых стержней.

Для обеспечения надежной диффузионной связи провели корректировку начального давления прессования, а контактную поверхность боралюминиевых стержней доводили до уровня «зеркального блеска».

Прессование для диффузионной сварки стержней из боралюминиевого МКМ с титановыми оболочками по оптимизированному режиму привело к получению модельных пустотелых лопаток составной конструкции заданного профиля без отслоений по границе боралюминий–титан и без смещения боралюминиевых стержней (рис. 3.).

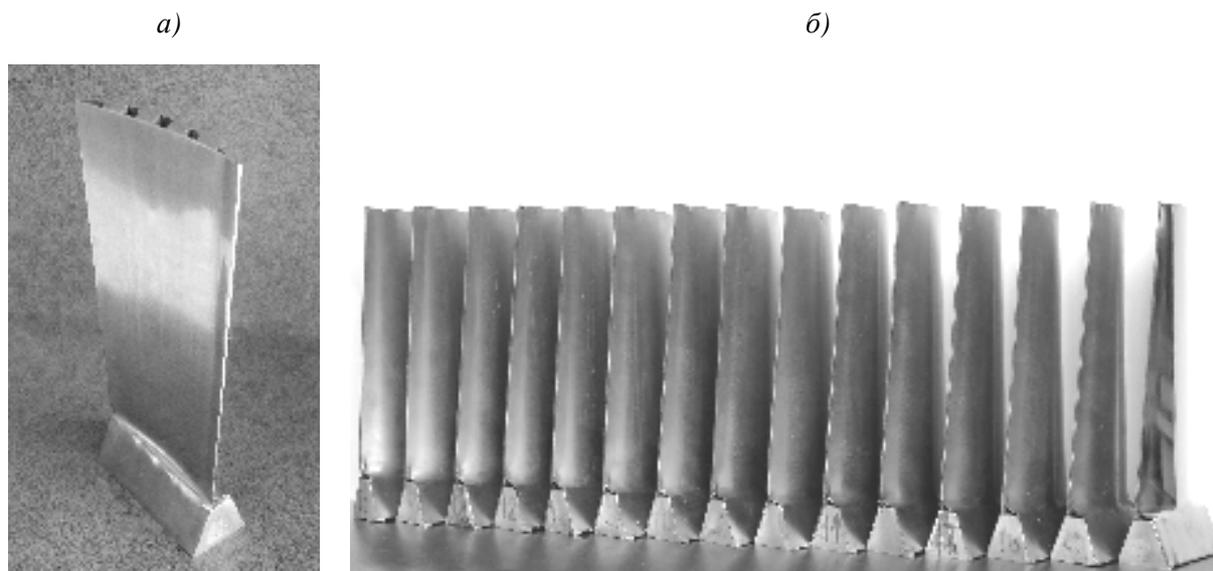


Рис. 3. Внешний вид модельной пустотелой лопатки (а) составной конструкции и блока лопаток (б)

В результате проведенной работы была изготовлена партия модельных лопаток составной конструкции в количестве 15 шт. для проведения испытаний на разгонном стенде. Геометрические параметры лопаток практически полностью совпадают у всей партии, что является свидетельством освоения технологии изготовления модельных пустотелых лопаток составной конструкции. Разработано ТЗ на проектирование пресс-форм для изготовления полноразмерной широкохордной пустотелой лопатки составной конструкции для вентиляторов ГТД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н., Салибеков С.Е., Абузин Ю.А., Рыльников В.С., Турченков В.А., Каримбаев Т.Д., Луппов А.А. Конструктивные и технологические решения для создания составных лопаток перспективных вентиляторов с применением прочных и жестких металлокомпозитов // В сб.: Новые технологические процессы и надежность ГТД. Вып. 3. Композиционные и керамические материалы в ГТД.– М.: ЦИАМ, 2003, с. 124–139.
2. Шавнев А.А, Абузин Ю.А., Кочетов В.Н. Оптимизация технологии получения боралюминиевого композиционного материала и его диффузионной сварки с титаном, с. 16–22 (наст. сборника).

Ю.А. Абузин, М.В. Григорьев, И.Е. Гончаров

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АРМИРУЮЩЕГО НАПОЛНИТЕЛЯ С КРУПНЫМИ ЧАСТИЦАМИ КАРБИДА КРЕМНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА Al–SiC

Традиционные алюминиевые сплавы, обладая хорошим комплексом свойств в температурном интервале 20–250°C, не способны работать длительное время при температурах более 300–350°C. Существенного повышения эксплуатационных характеристик можно достичь путем использования метода механического легирования (МЛ), который представляет собой многосторонний процесс, протекающий при высокоэнергетическом размоле металлического порошка, смешанного с одним или несколькими легирующими компонентами, и позволяющий получать порошки сплава с уникальной микроструктурой. Метод МЛ является одним из современных и эффективных способов получения дисперсноупрочненных композиционных материалов (КМ) на основе алюминиевых сплавов. Он свободен от ограничений по составу и количеству компонентов, универсален и применим при низких и умеренных температурах.

В ВИАМ разработана технология производства КМ Д16–SiC с применением метода МЛ. Проводимые ранее исследования этого КМ в основном были ориентированы на оптимизацию технологических параметров процесса МЛ исходя из комплекса свойств конечного КМ. Основным изменяемым параметром при этом была продолжительность полной механохимической обработки. Было показано, что требуемый уро-