

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ):
Евгений Олегович Фомичев, начальник лаборатории "Системы управления"
Николай Николаевич Воронин, профессор, д.т.н.

Проведен анализ существующих способов восстановления лопаток и моноколес компрессора газотурбинного двигателя. Определены достоинства и недостатки.

The analysis of existing ways of restoration of blades and blisks of the compressor of the gas-turbine engine is carried out. Merits and demerits are defined.

Ключевые слова: лопатка, моноколесо, ремонт, электронно-лучевая сварка, сварка трением.

Keywords: blade, blisk, repair, electron beam welding, friction welding.

По мере развития двигателестроения все более актуальными становятся проблемы повышения надежности и ресурса газотурбинных двигателей (ГТД) при условии одновременного сокращения затрат времени, труда и средств на проведение технического обслуживания и ремонта.

В первую очередь, это относится к наиболее массовым и дорогостоящим деталям ГТД, какими являются лопатки компрессоров. Появление монолитных конструкций рабочих колес компрессоров ставит необходимость решения этих задач наиболее остро.

Повреждения лопаток компрессора ГТД в процессе эксплуатации посторонними предметами является основной причиной досрочного снятия большого числа двигателей. Причинами повреждения лопаток при эксплуатации являются засасывание с поверхности аэродрома посторонних предметов, попадание птиц, камней, льда. Велика вероятность появления дефектов и в процессе изготовления моноколеса. При изготовлении моноколес на 5-6-координатных обрабатывающих центрах с ЧПУ методом скоростного плунжерного фрезерования при сбое программ может происходить повреждение одной или нескольких лопаток в виде врезов или утонений пера лопатки. Таким образом, проблема восстановления поврежденных или изношенных поверхностей является важным фактором повышения надежности и ресурса работы двигателей.

Одними из эффективных методов исправления указанных дефектов, позволяющими восстанавливать профиль поверхности, входных и выходных кромок лопаток, геометрию контактных полок, устранять термические трещины, являются сварка, наплавка и пайка.

Зарубежные фирмы накопили большой опыт по ремонту лопаток компрессора, в том числе и моноколес ГТД. Одним из наиболее часто применяемых методов ремонта является сварка тре-

нием. Фирмой United Technologies Corporation (США) предложена материалосберегающая технология изготовления рабочих колес блисковой конструкции, в которой предложено выполнять рабочее колесо типа "блиск" соединением отдельно изготовленного диска и лопаток сваркой трением (рис. 1а, б) [1].

Фирма General Electric Company (USA) предложила другую разновидность материалосберегающей технологии изготовления рабочих колес блисковой конструкции. В соответствии с этой технологией для соединения отдельно изготавливаемого диска и лопаток сваркой трением предложено (рис. 2а, б) на ободке диска выполнять в местах размещения лопаток выступы, напоминающие гребень волны, в которых прорезаются продольные канавки с прямоугольным поперечным сечением [2].

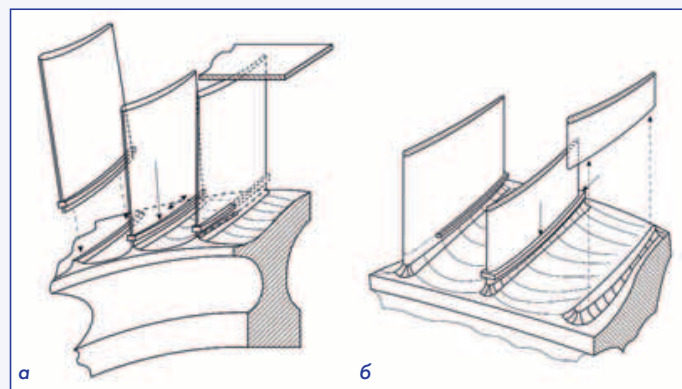


Рис. 2. Изготовление моноколес с помощью сварки трением:
 а) схема ремонта;
 б) удаление дефектной лопатки

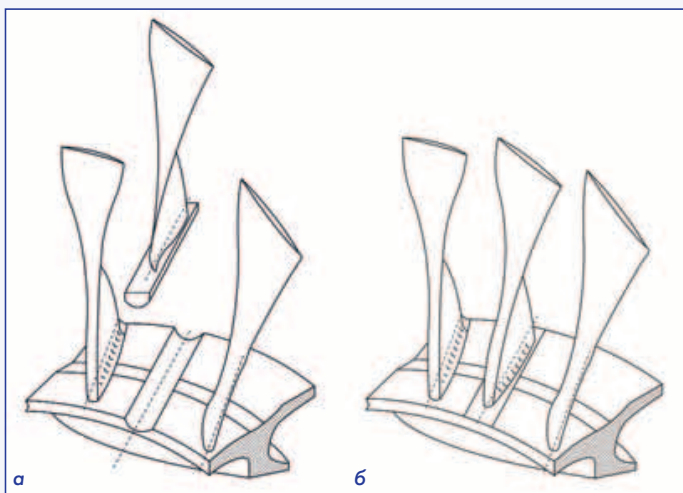


Рис. 1. Способ ремонта моноколес сваркой трением:
 а) подготовка свариваемых поверхностей;
 б) моноколесо после сварки

В патенте фирмы Rolls Royce PLC предложена еще одна разновидность материалосберегающей технологии изготовления рабочих колес блисковой конструкции. В соответствии с этой технологией предложен способ сваривания линейным трением лопаток и диска для случая, когда диск имеет высокий втулочный обвод сложной формы (рис. 3). В этом случае предложено изготавливать диск с невысокими привтулочными участками 1 лопатки, а остальные части лопаток изготавливать отдельно. Поверхность 2 на диске и соответствующая ей поверхность на нижнем торце лопатки могут иметь сложную форму, эквидистантную форме втулочного обвода, вследствие того, что движение при сваривании линейным трением выполняется в окружном направлении. Следует отметить, что соединяемые поверхности лопаток и диска могут быть выполнены в форме наклонной плоскости, что не потребует производить при сварке движение обязательно в окружном направлении [3].

Из недостатков предложенных методов сварки трением можно отметить очень высокую стоимость оборудования, и высокие требования к квалификации персонала, сложность изготовления и под-

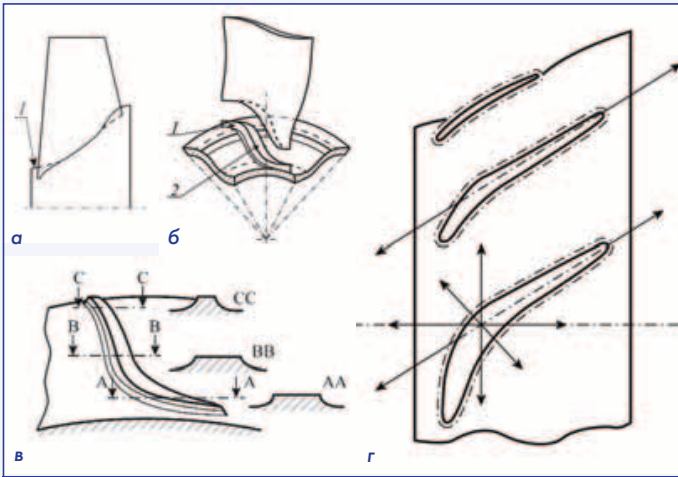


Рис. 3. Ремонт монокоилс с ободом сложной формы: а, б) схема подготовки свариваемых поверхностей; в) привулочный участок обода; г) схема движения при сварке трением

готовки поверхностей под сварку. Так же затруднен контроль полученной зоны сварного шва на наличие дефектов.

Существует способ изготовления или ремонта рабочих лопаток или изготовления роторов блискового конструкции, запатентованный компанией MTU AERO ENGINES GMBH. В патенте предложена материалосберегающая технология изготовления рабочих колес в варианте "блиск". Соединение лопатки и привулочной части диска выполняется с использованием лазерного порошкового оборудования, и затем полученное соединение подвергается чистой фрезерной обработке (рис. 4) [5].

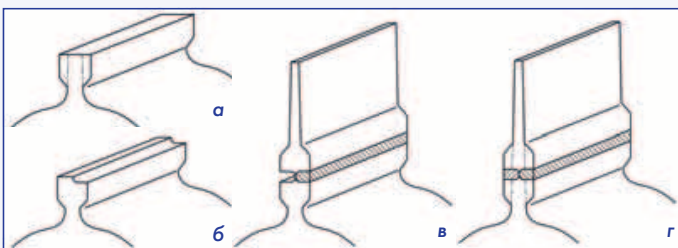


Рис. 4. Способ ремонта монокоилс с использованием лазерной сварки: а) привулочная часть диска; б) выполнение углублений; в) заполнение углублений; г) подготовленный к сварке стык

Известен способ ремонта крыльчаток ротора турбомашин и рабочего колеса, при котором удаляют поврежденную лопатку, оставляя на ободе ее основание, а по срезанной поверхности основания выполняются профильные шипы 1 и пазы 2. Такую же форму задают стыкуемой с ней поверхности сменной лопатки 3. Возможные формы выполнения разделки стыкуемых кромок и места их выполнения приведены на рис. 5 [6].

После соединения стыкуемых поверхностей составные части 3 и 4 прихватывают между собой в точках 5 контактной сваркой. Соединения их осуществляют пайкой или сваркой с использованием высокочастотного индуктора в среде аргона.

Недостатком указанного способа является сложность изготовления и подгонки стыкуемых поверхностей, а так же опасность получения деформаций лопаток рабочего колеса при пайке.

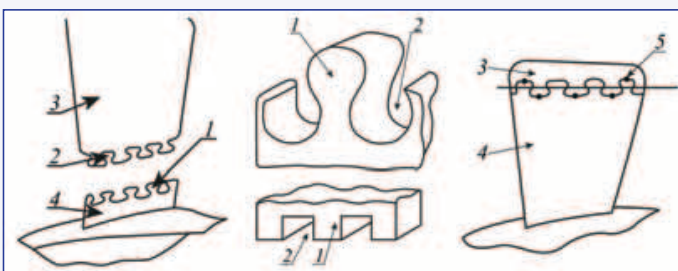


Рис. 5. Схема ремонта крыльчаток ротора: 1 - профильные шипы; 2 - профильные пазы; 3 - сменная лопатка; 4 - основание лопатки; 5 - прихватки

Существует большое количество способов ремонта лопаток отдельно и в составе монокоилс с использованием электронно-лучевой сварки. Фирма SNECMA разработала метод изготовления рабочих колес компрессора конструкции "блиск" электронно-лучевой сваркой отдельно изготовленного пера рабочей лопатки с укороченными лопатками диска рабочего колеса в различных вариантах исполнения (рис. 6) [7].

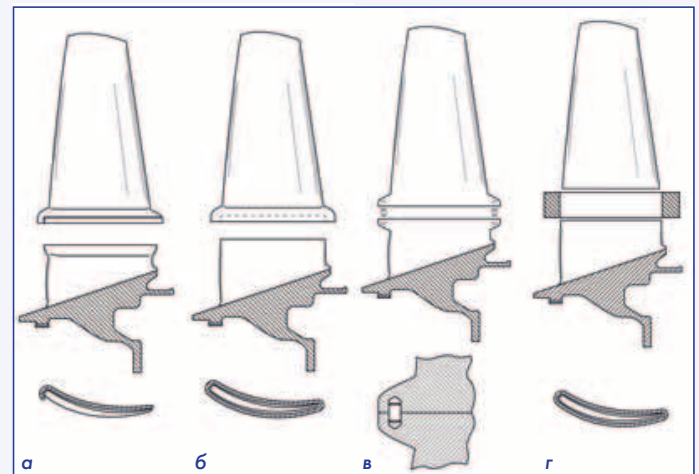


Рис. 6. Метод ремонта монокоилс, имеющих укороченные лопатки: а) сварка лопатки "в колодец", неполное перекрытие; б) сварка лопатки "в колодец", полное перекрытие; в) сварка в кольце; г) фиксация лопатки штифтами

Специалистами НИИД предложен способ ремонта рабочего колеса компрессора низкого давления (КНД), позволяющий менять 1-3 лопатки в составе монокоилса. Сущность способа заключается в том, что дефектную лопатку (блок лопаток) удаляют с частью обода рабочего колеса, а затем в образовавшийся паз вставляют новую лопатку (блок лопаток) и сваривают электронным лучом с лопаточным ободом рабочего колеса. После этого фрезеруется паз, формирующий данную часть сегмента лопатки или блока лопаток и вваривается вкладыш, соединяющий данную часть лопаток с полотном диска [8].

Данный способ наиболее приемлем в случае, когда поврежденная лопатка или поверхность обода не поддаются восстановлению.

Как показал анализ вышеперечисленных способов восстановления монокоилс ГТД из жаропрочных титановых сплавов, все они являются достаточно сложными, дорогостоящими способами и требуют разработки технологического процесса, специального сварочного оборудования, приспособлений и сложной механической обработки для обеспечения расчетных геометрических размеров монокоилса.

Используя последние достижения в сварочном оборудовании, механические станки с СПУ, современные методы контроля были разработаны технологические процессы и отработаны технологии ЭЛС для ремонта монокоилс, позволяющие заменять одну или несколько дефектных лопаток, или их отдельные участки, поврежденные при изготовлении и последующей эксплуатации, а также восстанавливать повреждения на поверхностях с помощью аргодуговой наплавки, что дало большой экономический эффект. □

Литература

1. Патент USAUS 6,219,916 B1 от 24.04.2001 г.
2. Патент USAUS 6,478,545 B1 от 12.011.2002 г.
3. Патент США US 6,524,072 B1 от 25.02.2003 г.
4. Патент США US 2005/0006440 A1 от 13.01.2005 г.
5. Патент WO 2006/005296 A1 от 19.01.2006 г.
6. Патент № 2218016, Великобритания, B23P. Способ ремонта облопаченных дисков. Оубл. 17.11.89
7. ПАТЕНТ США № 5383593 от 24.01 1995г.
8. Патент на изобретение России №1771161, B23P6/04. Способ ремонта деталей / Пузанов С.Г., Гейкин В.А., Докашев В.В. и др. от 04.10.1990.

Связь с автором: e-mail: fomitch@gmail.com