

УДК 621.79:629.73

В. В. АТРОЩЕНКО

СОВРЕМЕННЫЕ РЕМОНТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ НА БАЗЕ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Рассматриваются наиболее распространенные технологии восстановления деталей авиационной техники на базе сварочных процессов. Дается оценка новым сварочным технологиям, позволяющим решать вопросы ремонта вышедших из строя деталей ГТД и повышения ресурса их работы. Узлы ГТД; лопатка; упрочнение; восстановление

Непрерывный рост наукоемкости сварочного производства способствует повышению качества продукции, ее эффективности и конкурентоспособности. Сегодня сварка применяется для неразъемного соединения широкой гаммы металлических, неметаллических и композиционных конструкционных материалов в обычных условиях земной атмосферы, в Мировом океане и космосе. Ежегодные объемы производства сварных конструкций во всем мире составляют сотни миллионов тонн. Несмотря на непрерывно увеличивающееся применение в сварных конструкциях и изделиях легких сплавов, полимерных материалов, композитов, основным конструкционным материалом по-прежнему остается сталь. Мировые производители реально опровергли прогнозы футурологов о замене стали альтернативными материалами. Металлурги пока уверенно выигрывают конкурентную борьбу на рынке конструкционных материалов благодаря созданию и выпуску новых марок сталей (в первую очередь высокопрочных) и революционному изменению производственных процессов. Мировое производство и потребление стали, несмотря на отдельные спады, неуклонно растет. Так, если в 1995 г. было произведено 750 млн т, то, по прогнозу Международного института стали, к 2005 г. мировое производство стали превысит 900 млн т.

Известно, что до 70% мирового потребления металлопроката приходится на производство сварных изделий, конструкций и сооружений. Это обусловлено тем, что сварные металлоконструкции благодаря хорошей способности к рециклингу сохраняют перспективы для широкого применения в ближайшем будущем. Отмеченные особенности

определяют общую положительную тенденцию роста мирового производства сварных конструкций, динамичного развития мирового и региональных рынков сварочной техники, а также объемов научных исследований и разработок по совершенствованию сварки и родственных технологий [1].

Мировая практика показывает, что в условиях рынка проблема увеличения срока эксплуатации авиационной техники должна решаться не за счет постановки на изделия новых деталей взамен изношенных, а путем получения технологических решений, обеспечивающих эффективное восстановление вышедших из строя узлов и элементов.

Анализ повреждаемости деталей авиационной техники, не восстанавливаемых в настоящее время из-за отсутствия метода восстановления, показал, что около 70% от их общего числа составляют детали с поверхностными повреждениями глубиной 0,2–1,0 мм. При этом большинство деталей, не отработавших своего ресурса, бракуются по причине износа. Поэтому проблема восстановления изношенных поверхностей является важным фактором повышения надежности и ресурса работы деталей авиационной техники.

Современные технологии восстановления позволяют не только вернуть работоспособность отработавшим свой ресурс деталям, но и сделать годными многие детали, забракованные в процессе изготовления (лопатки компрессора и турбины, кольца соплового аппарата, лабиринтные уплотнения, корпусные детали, шлицевые трубы и др., у которых степень отбраковки довольно высока). Реализация технологий восстановления позволяет дополнительно получить годными 25–30% деталей [2].

В настоящее время вопросам ремонта деталей ГТД на базе сварочных процессов уделяется все большее внимание.

Разнообразные дефекты, выявляемые в узлах ГТД, сводятся в основном к забоинам по основному металлу, разрывам перемычек между отверстиями, прорезам и т. п.; поверхностному растрескиванию и сквозным трещинам в основном металле; поверхностному растрескиванию в сварных швах и околошовных зонах; сквозным трещинам в сварных швах и околошовных зонах; обгоранию и оплавлению кромок основного металла, вырывам и зонам наклепа; выработке по рабочим поверхностям лабиринтных уплотнений, бандажных полок, замков лопаток и т. д.

Для выполнения ремонтных работ могут быть использованы различные процессы сварки и пайки. Наиболее универсальным и дешевым способом является сварка (наплавка) в среде защитных газов, главным образом аргонодуговая сварка неплавящимся электродом.

Важнейшими требованиями, предъявляемыми к технологическим процессам восстановления деталей ГТД, являются точность изготовления (до 0,05 мм), точность сборки узлов и минимальность размеров сварочных швов или наплавочных валиков, а также возможность выполнить сварку (наплавку) в стесненных объемах и труднодоступных местах. Если речь идет о ликвидации растрескиваний и отдельных сквозных трещин на корпусных узлах с помощью заварки каждой отдельной трещины или вварки вставок, то сварные швы минимальной ширины позволяют уменьшить деформации и обеспечить в результате этого более эффективную и экономичную работу двигателя. Если восстановлению подвергаются такие детали, как лопатки, лабиринтные уплотнения (наплавка оплавленных, выработанных участков или всего контура), то точность изготовления и подгонки деталей является практически необходимым условием для выполнения работы.

Наиболее нагруженными деталями ГТД, определяющими надежность и долговечность двигателей, являются лопатки компрессора и турбины. Они испытывают статические, динамические и циклические нагрузки, обусловленные механическим (попадание в двигатель посторонних предметов) и термическим воздействиями, и работают в условиях агрессивной газовой среды при высокой температуре, одновременно подвергаясь коррозии. В свою очередь поверхности хвостовика

и антивибрационных полок испытывают высокие контактные напряжения.

Современное производство лопаток газотурбинных двигателей располагает большим количеством технологических приемов получения заготовок деталей и их механической, термической обработки, а также способов поверхностного упрочнения деталей различными методами. Однако во время работы двигателя эти детали изнашиваются, а технологические процессы их восстановления затруднены из-за сложного профиля, химических и структурных особенностей сплавов. В основном эти детали изготавливаются из титановых, жаропрочных никелевых сплавов и высокопрочных сталей [3], таких как ЖС6У, ЖС6К, ЭП-708, ВТ20, ВТ3.

К наиболее напряженным участкам лопаток относятся бандажные полки. Из-за высоких вибрационных и контактных напряжений, а также относительно низкой окислительной стойкости используемых сплавов в местах соприкосновения бандажных полок между собой происходит интенсивный износ контактных поверхностей. Это сокращает ресурс работы лопатки до нескольких сотен часов, хотя замок и перо еще пригодны к длительной эксплуатации. Поэтому повышение износостойкости контактных поверхностей бандажных полок лопаток ГТД и восстановление изношенных лопаток — актуальная, но одновременно и сложная задача. Ремонт затруднен, в основном, из-за того, что сплавы ЖС6У и ЖС6К относятся к классу, к которому не применяется сварка плавлением.

При изыскании способов упрочнения и восстановления контактных поверхностей полок лопаток были опробованы детонационный и электроискровой методы, сварка электронным лучом, пайка в печах с общим нагревом в контролируемой атмосфере и вакууме, пайка электроконтактным нагревом. Однако эти способы в серийном производстве практического применения не нашли [4].

Впервые в нашей стране (1967) по предложению Г. Д. Никифорова были начаты поисковые работы по возможности и эффективности применения в технологических целях (сварка, пайка и термическая обработка) сфокусированной энергии светового луча некогерентных источников света [5]. В результате проведенных исследований была открыта возможность использования светолучевой сварки для соединения тонкостенных элементов конструкций авиационной и аэрокосмической техники, а также в отраслях автомоби-

лестроения, приборостроения, медицине и др. [6].

Анализ других способов упрочнения и восстановления контактных поверхностей полок рабочих лопаток показал, что перспективным представляется способ высокотемпературной наплавки пластин из более износостойкого материала, по сравнению с основным материалом, с использованием локального источника энергии.

Исследования по применению в качестве локального источника энергии для высокотемпературной пайки в вакууме дугового разряда с полым катодом были проведены в МГТУ им. Н. Э. Баумана. Прделанная работа по упрочнению контактных поверхностей полок рабочих лопаток дуговой пайкой в вакууме позволила увеличить ресурс их работы в 2–4 раза в зависимости от типоразмера лопаток и трехкратно провести их восстановление. При этом эксплуатационные характеристики пера и замка практически не изменились.

Один из основных, применяемых в настоящее время в промышленности, методов ремонта лопаток компрессора с эксплуатационными забоинами состоит в выведении этих забоин большим радиусом кривизны, т.е. уменьшении концентрации напряжений в месте дефекта. Метод этот прост, не требует больших трудозатрат, однако приводит к некоторым негативным последствиям:

- отклонение геометрической формы пера отремонтированных лопаток от расчетной снижает тягу двигателя и его экономические параметры;
- остающаяся концентрация напряжений после выведения забоин способствует снижению усталостной прочности лопаток;
- уменьшение хорды приводит к снижению прочности лопаток.

На ММПП «Салют» внедрен эффективный метод сварки вставок для восстановления дорогостоящих лопаток компрессора низкого давления (КНД). Этот метод дал лучшие результаты по сравнению с методом выведения забоин большим радиусом кривизны. Кроме того, сварка вкладышей может производиться и в местах, приближенных к корню лопатки, где выведение забоин значительных размеров механическим путем недопустимо [7].

При сварке вставок в лопатки применяется электронно-лучевая установка «ЕВРОКАМ KS120 G150K» фирмы MESSER GRISHEIM (Германия). Ускоряющее напряжение электронно-лучевой пуш-

ки возможно изменять в пределах 90–150 кВ, ток пучка 0–100 мА, ток фокусирующей линзы 1–3 А. Глубина вакуума в камере не менее $5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст., в пушке — $2 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст. Установка имеет двухкоординатный стол с точностью позиционирования до $2 \cdot 10^{-3}$ см и вращатель. Вращатель можно располагать в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Установка оснащена системами ЧПУ, отклонения луча, визуального и теленаблюдения за процессом сварки.

Приспособление для фрезерования позволяет обрабатывать дефектные места лопаток I и II ступеней КНД на глубину до 15 мм. Схема возможного ремонта лопаток ГТД приведена на рисунке.

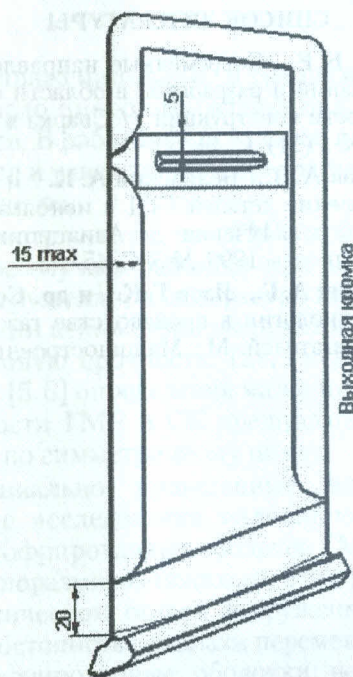


Рис. Схема ремонта лопаток ГТД

Приспособление для сварки позволяет производить сварку вкладышей одновременно в двух лопатках I и II ступеней КНД взамен удаленных дефектных мест. Материал вставки соответствует материалу лопатки. В настоящее время — это титановый сплав BT3-1.

Точное прилегание вставки к лопатке достигается конструктивными мерами и контролем изготовления геометрии вставки и лопатки до их сборки в приспособлении под сварку. Точность изготовления достигает 0,05 мм.

Рентгеноконтроль, проводимый как после сварки, так и после восстановления контура, никаких дефектов не обнаружил. Цветная де-

фектоскопия зоны сварного шва дефектов не выявила. Лишь на отдельных режимах люминесцентный контроль ЛЮМ1-ОВ показал единичные поры до 0,05 мм. Подрезов на лопатках при применяемой конструкции вкладышей и подобранных режимах сварки не наблюдалось. Ширина зоны термического влияния изменялась в пределах от 2 до 6 мм, ширина литой зоны — от 0,2 до 1,5 мм.

В настоящее время в работах по использованию сварочных процессов в качестве ремонтных технологий авиационной техники принимают активное участие специалисты ФНПЦ ММП «Салют», НИИДа и МАТИ-РГТУ им. К. Э. Циолковского, МГТУ им. Баумана, УГАТУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патон Б. Е. Современные направления исследований и разработок в области сварки и прочности конструкций // Сварка в Сибири. 2002. № 1 (11). С. 49–59.
2. Логунов А. В., Белявский А. К. и др. Восстановление деталей ГТД с использованием лазерного излучения // Авиационная промышленность. 1999. № 3. С. 45–52.
3. Братухин А. Г., Язов Г. К. и др. Современные технологии в производстве газотурбинных двигателей. М.: Машиностроение, 1997. 410 с.

4. Елисеев Ю. С., Мошкин Ю. Б. и др. Использование сварочных технологий при использовании и ремонте ГТД // Авиационная промышленность. 2001. № 4. С. 12–15.
5. Никифоров Г. Д., Опарин М. Н., Федоров С. А. Использование лучистого нагрева для сварки, пайки и термической обработки // Сварочное производство. 1974. № 3. С. 19–21.
6. Фролов В. А. Конструкторско-технологические особенности создания сварных металлических конструкций с применением светолучевой сварки // Сварочное производство. 1989. № 3. С. 16–20.
7. Мошкин Ю. Б., Пузанов С. Г. и др. Ремонт лопаток компрессора методом варки вставок // РВМ. 2003. № 3. С. 4–5.

ОБ АВТОРЕ



Атрощенко Валерий Владимирович, проф., зав. каф. оборуд. и технол. сварочн. производства. Дипл. инж.-мех. (УАИ, 1974). Д-р техн. наук по компл. автоматиз. процессов электрообработки (ЛЭТИ, 1991). Иссл. в обл. автоматиз. технол. процессов электрообработки металлов.