



ПРИМЕНЕНИЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ (АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И РАЗВИТИЯ)

А. М. ЖАДКЕВИЧ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Отмечены успехи в области создания технологий сварки, пайки, нанесения покрытий для восстановления изделий горячего тракта газотурбинных двигателей. Приведены причины, сдерживающие широкомасштабное внедрение новых технологий. Обоснованы перспективы организации ремонтных работ по восстановлению лопаток газоперекачивающих агрегатов в газовой отрасли СНГ.

Ключевые слова: пайка, сварка, нанесение покрытий, лопатки турбин, литейные сплавы, дефекты литья и эксплуатации, восстановительный ремонт, новые технологии, экономическая эффективность, перспективы применения

В последней трети прошлого столетия научно-технический прогресс был неразрывно связан с разработкой и созданием новой техники в различных областях промышленности: авиакосмической, судостроительной, энергетической, машиностроительной, электронной, приборостроительной и пр. То время характеризуется разработкой и внедрением в производство технологических процессов и оборудования для пайки различных металлических материалов, керамики, стекла, графита, алмазов, полупроводников и других материалов. Технологические возможности пайки огромны. Этим способом можно получать неразъемные соединения в самых различных сочетаниях без существенного изменения их исходных структур и физических свойств, с возможностью одновременного соединения нескольких узлов и деталей сложной геометрической формы со значительной протяженностью паяных швов, в том числе и в труднодоступных местах. Высокая производительность и низкая себестоимость по сравнению с другими способами соединения ставят технологический процесс пайки в разряд перспективных, экономически выгодных и конкурентоспособных процессов [1–6]. Несмотря на эти преимущества, пайка не заняла надлежащего места в технологиях создания изделий новой техники из-за недостаточно полной оценки возможностей. К недостаткам пайки обычно относят пониженную прочность паяного шва, по сравнению со сварным, необходимость тщательной подгонки соединяемых поверхностей, использование в припоях дорогостоящих металлов и низкую коррозионную стойкость шва по отношению к основному металлу. К объективным недостаткам, тормозящим широкомасштабное внедрение пайки,

следует отнести отсутствие специализированных предприятий, производящих материалы и оборудование для пайки.

Разработанные в последние два десятилетия новые марки припоев на основе никеля обеспечивают коррозионную стойкость паяных соединений на уровне основного металла. Применение пайки под давлением и специальных видов термообработки позволяют обеспечить прочность соединения, удовлетворяющую условиям эксплуатации [7–9].

Существенный вклад в развитие и внедрение пайки в производство и ремонтные технологии изделий горячего тракта газотурбинных двигателей (ГТД) внесли ученые и специалисты научно-исследовательских институтов, турбо-, двигателестроительных объединений и предприятий, авиационных и судостроительных КБ, высших технических заведений, а в последние годы и предприятий газовой отрасли [9]. Ряд предприятий и организаций на протяжении 30 лет были и являются лидерами в разработке и внедрении новых технологических процессов, материалов и оборудования для пайки изделий в турбостроении и в ремонтном производстве.

Особо следует отметить большой вклад ученых и специалистов ФГУП «ВИАМ», РТТУ «МАТИ» им. К. Э. Циолковского, МГТУ им. Н. Э. Баумана, НПО «Техномаш», ИЭС им. Е. О. Патона, НУК им. Адмирала Макарова, ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, ФГУПП МПП «Салют», ГП НПКГ «Заря-Машпроект», ОАО НИАТ, ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», ОАО «Силовые машины», ОАО «А. Люлька-Сатурн», ОАО «СНТК им. Н. Д. Кузнецова» и др. Результаты научно-исследовательских, проектно-конструкторских и прикладных работ, выполненных в этих организациях в направлениях разработки новейших технологий пайки для авиационной, ракетной и машиностроительной техники, нанесения защитных покрытий и восстановления деталей турбин пайкой, широко

известны и используются на производстве не только в Украине и в России, но и в странах дальнего зарубежья [10].

В 1984 г. в ИЭС им. Е. О. Патона был пущен в эксплуатацию Опытный завод специальной электрометаллургии (завод новых технологий), в состав которого, кроме цехов электрошлаковой и ионно-плазменной технологии, вошли в строй цеха электронно-лучевой технологии — сварки и напыления. Инициатором, идейным и научным руководителем создания этого предприятия [11] в системе Академии наук УССР был академик Б. Е. Патон, научными руководителями отдельных технологических направлений — академики Б. А. Мовчан, Б. И. Медовар, Д. А. Дудко и д-р техн. наук О. К. Назаренко, избранный в 1992 г. членом-корреспондентом Национальной академии наук Украины.

За период 1985–1992 гг. заводом был выполнен большой объем работ по электронно-лучевой сварке блоков лопаток ГТД и агрегатов, восстановлены десятки тысяч лопаток ГТД после их плановой наработки в процессе эксплуатации. Применение специальной термической обработки и нанесение защитных жаростойких покрытий, осаждаемых из паровой фазы в вакууме из сплавов на основе никеля и кобальта с добавками алюминия, хрома и иттрия, позволили в несколько раз повысить ресурс эксплуатации лопаток многих сотен ГТД, агрегатов, компрессоров и энергетических турбин.

В процессе эксплуатации ГТД наиболее подвержены выходу из строя лопатки турбин. Основной причиной этого является усталостное разрушение и нарушение геометрических размеров и формы лопаток, работающих в условиях высоких температур, при агрессивном воздействии продуктов сгорания топлива и высокотемпературной газовой (сульфидно-оксидной) коррозии [12]. Несмотря на использование при изготовлении лопаток дисперсно-твердеющих литейных сплавов на никелевой основе, ресурс эксплуатации турбины ограничен предельным расчетным сроком эксплуатации, обусловленным процессами старения оборудования в результате накопления уста-

лостных повреждений в конструкционных материалах. Процесс старения состоит обычно из двух стадий. Первая связана с накоплением обратимых явлений и характеризуется постепенным изменением свойств материала, а вторая — с протеканием необратимых повреждений, приводящих к ускоренному разрушению материала [5, 9, 12, 13].

Усталостное разрушение наиболее ответственных деталей ГТД — лопаток — возникает из-за погрешностей механической обработки, монтажа и сборки; воздействия не учтенных расчетом изгибных и крутящих переменных нагрузок; износа и коррозии металла. В процессе ремонта рабочих лопаток ГТД решаются две основные задачи: восстановление геометрической формы (размеров) лопатки и структуры (прочностных свойств) материала лопатки.

В табл. 1 с учетом данных [14] представлена упрощенная классификация основных технологий (с учетом уровня сложности), применяемых при ремонте лопаток.

Восстановление деталей горячего тракта ГТД пайкой является перспективным и ресурсосберегающим процессом [9, 15–17]. Экономическая эффективность применения пайки в технологиях изготовления и ремонта деталей горячего тракта ГТД была доказана опытом работы передовых отечественных и зарубежных турбо-, двигателестроительных компаний и предприятий во второй половине 1970-х годов. В то время на многих предприятиях было организовано ремонтное производство для устранения дефектов на литых лопатках ГТД и восстановления изношенных в процессе эксплуатации форм и размеров изделий горячего тракта авиационных турбин: лопаток, контактных поверхностей бандажных полок, сопловых агрегатов, колец сотовых уплотнений, герметизации знаковых отверстий и т. п. [15–20].

Устранение дефектов литья и эксплуатации на изделиях ГТД из деформируемых никелевых жаропрочных сплавов не вызывает трудностей. Для этого применяют АДС с использованием присадочных проволок, близких по химическому составу основному металлу [21, 22].

Таблица 1. Классификация основных технологий, применяемых при ремонте лопаток

Уровень сложности	Вид ремонта	
	Восстановление геометрических размеров	Восстановление структуры металла и прочностных свойств лопатки
I	Наварка в местах утонений и полочек, устранение мелких дефектов аргонодуговой сваркой (АДС)	Термообработка в атмосфере (отжиг)
II	Пайка в вакууме Микроплазменная сварка Аргонодуговая сварка Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) Нанесение жаростойких покрытий	Термопластическое упрочнение Ультразвуковое упрочнение Гидродробеструйное упрочнение Термообработка в вакууме или защитных средах Горячее изостатическое прессование (ГИП) Металлографический контроль



При восстановлении изделий ГТД из дисперсно-твердеющих сплавов на никелевой основе с суммарным содержанием алюминия и титана свыше 5 % наиболее распространенным технологическим процессом ремонта является высокотемпературная пайка с нагревом в вакууме при контролируемой атмосфере [15, 19, 20]. Эта технология позволяет обеспечить дальнейшую эксплуатацию большого количества дорогостоящих изделий ГТД различного назначения. Структурные превращения в жаропрочных литейных сплавах на никелевой основе происходят при температуре 1225...1260 °С с изменением не только исходной структуры, но и эксплуатационных характеристик изделий. В связи с этим использование пайки с локальным нагревом (1170...1220 °С) дает возможность минимизировать влияние термического воздействия на основной металл [8, 9, 16, 20, 22–24].

Восстановительный ремонт лопаток ГТД позволяет продлить срок службы и сохранить в допустимых пределах базовые технические характеристики турбины — мощность и коэффициент полезного действия. По данным работы [14], с некоторыми допущениями можно провести оцен-

ку экономической эффективности восстановительного ремонта лопаток турбин с использованием показателей: $C_{\text{рем}}$ — стоимость ремонта; $\Delta T_{\text{рем}}$ — увеличение срока службы (ресурса) в результате проведения ремонта; $C_{\text{пр}}$ — суммарная стоимость программы поставки лопаток при проведении ремонта; $C_{\text{п}}$ — суммарная стоимость программы поставки лопаток без ремонта; $T_{\text{рес}}$ — назначенный ресурс лопатки; $C_{\text{нл}}$ — стоимость новой лопатки; $\Delta T_{\text{рем}}/T_{\text{рес}}$ — относительное увеличение службы лопаток после ремонта.

Условие $C_{\text{пр}}/C_{\text{п}} < 1$ ограничивает область, в которой ремонт лопаток будет давать экономический эффект. Отношение $C_{\text{рем}}/C_{\text{нл}}$ не должно превышать относительного увеличения срока службы $\Delta T_{\text{рем}}/T_{\text{рес}}$, обусловленного проведением ремонта. Если срок службы лопаток увеличивается на 20 % по отношению к назначенному ресурсу новой лопатки, то стоимость ресурса не должна превышать 20 % стоимости новой лопатки. В противном случае ремонт будет стоить дороже приобретения новой лопатки [14].

Таблица 2. Технологические возможности предприятий авиационной промышленности

Перечень технологий	СП «Альстон Пауэр Унитурбо», г. С.-Петербург	ОАО «А. Люлька-Сатурн», г. Москва	ФГУП ММП «Салют», г. Москва	ОАО «УМ-ПО», г. Уфа	ОАО «МПЗ», г. Пермь	СП «Пратт и Уитни-Патон», г. Киев	ОАО «СНТК», г. Самара	ГП НПКГ «Заря-Машпроект», г. Николаев	ОАО «Мотор Сич», г. Запорожье	ОАО «Силовые машины», г. С.-Петербург
Очистка										
ультразвуковая	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
пескоструйная	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Термообработка										
ГИП	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
в вакууме	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
в среде инертного газа	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Сварка, пайка										
АДС	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
микроплазменная	+	+	+	+	+	+	+	–	+	+
ЭЛС	+	–	+	+	–	+	+	+	+	+
пайка в вакууме	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Нанесение покрытия										
диффузионное	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
электронно-лучевое испарение и осаждение в вакууме	+	–	–	–	–	+	+	+	–	–
плазменное	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
электронсродное	+	+	+	+	+	+	+	–	+	+
Упрочнение										
термопластическое	–	–	–	–	–	–	+	–	+	+
ультразвуковое	–	–	–	–	–	+	+	+	+	–
гидродробеструйное	+	+	+	+	+	+	+	+	–	+

В настоящее время предприятия авиационного, энергетического и судового турбо-, двигателестроения располагают технологиями восстановления структуры металла и геометрических размеров лопаток. Эти технологии были разработаны с участием предприятий и отраслевых институтов, базирующихся на результатах обширных исследований и испытаний. Ремонтная технология, успешно применяемая около трети столетия, предусматривает устранение дефектов структуры металла, приобретенных в процессе эксплуатации и существенных повреждений (более 25 % площади пера лопатки).

Данные о технологических возможностях предприятий авиационной, энергетической и судостроительной промышленности по ремонту лопаток ГТД приведены в табл. 2.

Высокоэффективные и прогрессивные технологии продления ресурса работы за счет восстановительного ремонта высоконагруженных деталей и узлов горячего тракта авиационных и судовых ГТД с использованием пайки подробно изложены в работах [7–13, 15–20, 22–24].

Используя богатый научный, исследовательский, экспериментальный и промышленный потенциал на рынке авиационного и судового турбо-, двигателестроения, передовые компании и предприятия Rolls Royce, Boeing, General Electric, Pratt&Whitney, ФГУП ММПП «Салют», ГП НПКГ «Заря-Машпроект», ОАО «Рыбинские моторы», ОАО «Уфимское машиностроительное производственное объединение», ОАО «СНТК имени Н. Д. Кузнецова», ОАО «Авиадвигатель», ОАО «Мотор Сич», ОАО «ПМЗ», ОАО «А. Люлька-Сатурн», ЗМКБ «Прогресс» имени А. Г. Ивченко («Ивченко-Прогресс») и другие начали успешно работать по конверсионной программе создания комплексов ГТД для энергетической и нефтегазовой отраслей [25–28].

В настоящее время газоперекачивающий комплекс стран СНГ имеет в эксплуатации несколько сотен турбин стационарных газоперекачивающих агрегатов (ГПА). Общее количество рабочих лопаток турбин стационарных ГПА только в ОАО «Газпром» превышает 205 тыс. шт. Средняя годовая потребность в лопатках, заменяемых в ходе ремонтно-технического обслуживания, достигает около 30 тыс. шт. Стоимость лопаток в общем объеме ежегодных поставок запасных частей для ГПА составляет примерно третью часть. В эксплуатации только в ОАО «Газпром» находится более 105 установок ГКТ-25И производства итальянской компании «Nuovo Pignone». Нарботка 75 % этих газотурбинных компрессоров к началу текущего столетия составила 70...80 тыс. ч, что существенно превышает предельный расчетный срок эксплуатации — 50 тыс. ч [29].

При эксплуатации лопаток газотурбинных компрессоров (ГТК) в результате эрозионного воздействия среды происходит частичное или полное удаление с рабочей поверхности лопатки защитных покрытий, что влечет за собой ускорение процессов коррозии рабочих и направляющих лопаток с нулевой по третью степень, поворотных лопаток входного направляющего агрегата и направляющих лопаток последних ступеней (16-й и 17-й).

Основным видом износа компрессорных лопаток является питтинговая коррозия, приводящая в процессе эксплуатации к «язвинам» и «оспинам» на поверхности лопаток и разупрочнению поверхностного слоя, что является опасным с точки зрения усталостной прочности в околословной части пера лопатки.

Приведенные выше примеры состояния дел с эксплуатируемыми в ОАО «Газпром» лопатками ГПА и ГТК говорят о том, что своевременное и правильное проведение системы ремонтно-восстановительных работ первого и второго уровня сложности (см. табл. 1) может вернуть к повторной эксплуатации значительное количество дорогостоящих лопаток турбин и получить внушительный экономический эффект за счет снижения объемов поставки новых лопаток. Очистка лопаток после эксплуатации, проведение термообработки, сварки и пайки, нанесение защитных покрытий и упрочнение лопаток позволяют при затратах на ремонт от 20 до 30 % стоимости новых лопаток увеличить ресурс эксплуатации восстановленных лопаток до 70 %.

Выполненный анализ [14] производственных возможностей ремонтных предприятий дочерних газотранспортных предприятий показал, что в настоящее время они располагают технологиями, производственными мощностями и оборудованием для проведения работ первого уровня сложности. Кроме того, на этих предприятиях производится шлифование, полирование и фрезерование поверхности лопаток, имеется входной люминисцентный контроль и замер твердости, а также развеска лопаток.

Несмотря на то, что вот уже более 20 лет технология сварки и пайки для ремонта лопаток ГПА и ГТК стала использоваться в газовой отрасли, проведение ремонта второго уровня сложности вызывает и сейчас большие трудности. Серьезным недостатком в организации ремонта является «обезличивание» лопаток ремонтных комплектов с потерей информации о суммарной наработке и количестве ранее выполненных ремонтов, а также ограниченные возможности ремонтных предприятий обеспечить надлежащий уровень восстановления прочностных свойств металла [30]. Вследствие этого нередки случаи аварий, связанных с разрушением отремонтированных лопаток. Про-



Таблица 3. Технологические возможности специализированных предприятий «Газпрома» в части проведения ремонта

Вид ремонтных работ	Перечень технологических операций	«Турборемонт», г. Брянск	«Ротор», г. Камышин, Волгоградской обл.	«Турбодеталь», г. Наро-Фоминск, Московской обл.	Щекинский завод РТО, г. Щекино, Московской обл.	ПТУ «Самарагазэнерго-ремонт», г. Самара	ПРТЛ «Газэнергосервис», пгт. Боярка, Киевской обл.
Восстановление структуры металла	Термообработка						
	ГИП	+	–	–	–	–	–
	ТО в вакууме	+	+	+	+	–	–
	ТО в защитной среде (аргон)	+	+	+	+	+	–
	ТО в атмосфере	+	+	+	+	+	+
	Поверхностное упрочнение						
	ультразвуковое	+	–	–	–	–	–
гидродробеструйное	+	+	+	+	+	+	
Восстановление геометрических размеров	АДС	+	+	+	+	+	+
	АДС в камере	+	–	–	–	–	–
	микроплазменная	+	–	–	–	+	+
	пайка в вакууме	+	+	–	+	–	–

ведение сравнительно простого ремонта рабочих лопаток должно быть сосредоточено на дочерних предприятиях газовой промышленности, а для ремонта второго уровня сложности требуется внедрение более сложных технологий и дорогостоящего оборудования, которое целесообразно сконцентрировать на базовых специализированных предприятиях Газпрома и Трансгаза России, Украины, Туркмении и Узбекистана.

Технологические возможности с учетом данных [14] специализированных предприятий Газпрома в части проведения необходимых ремонтно-восстановительных работ указаны в табл. 3.

Внедрение прогрессивных технологий восстановительного ремонта лопаток газоперекачивающих турбин требует разработки и осуществления ряда технических и организационных мероприятий в газовой отрасли стран СНГ [14], в том числе:

разработки условий и критериев для принятия решений о месте проведения ремонта лопаток в части допустимых дефектов формы (размеров) с учетом суммарной наработки лопаток и количества предшествующих ремонтов;

введения специальных паспортов (формуляров) на лопатки для ремонтных и сборных комплектов с указанием суммарной наработки, количества ремонтов и видов проведенных ремонтов;

установление ремонтного фонда лопаток на специализированных предприятиях с обеспечением качества при приемлемой стоимости восстановительного ремонта;

обоснования технико-экономической целесообразности восстановительного ремонта лопаток турбин и создание специализированных предприятий по восстановительному ремонту лопаток, об-

ладающих технологиями и оборудованием для сложного ремонта, включая и восстановление структуры металла.

Газовая отрасль является экономически стабильной и успешно развивающейся отраслью. Создание инновационных проектов по ремонту деталей, узлов и конструкций газотурбинных двигателей считается весьма эффективным делом. Практика инновационной деятельности показывает, что наиболее распространенным видом национальных и региональных инновационно-технологических центров в газовой отрасли могут стать региональные заводы по ремонту ГТД, центры нововведений, технологические инкубаторы, инновационно-консалтинговые центры и технопарки. Центры передачи инноваций должны оказывать содействие в приобретении технологии, выполнять технологический аудит, помощь в заключении технологического партнерства, предоставлять консультации по управлению и финансированию предприятия [31]. Передача инноваций — это подача систематизированных знаний для выпуска и применения современных наукоемких технологий в ремонтном производстве.

Выводы

1. Авиационные, судовые и энергетические турбо-, двигателестроительные предприятия оснащены необходимым оборудованием и технологиями восстановления изделий горячего тракта ГТД.

2. Отсутствие предприятий, выпускающих оборудование и припои, сдерживает ширококомасштабное внедрение высокоэффективной технологии пайки для восстановительного ремонта лопаток после их эксплуатации.

3. Газовая отрасль стран СНГ должна иметь широкую сеть ремонтных дочерних предприятий, обладающих возможностями проводить ремонты лопаток первого уровня сложности. Более сложные ремонты лопаток, связанные с использованием сварки, пайки, термообработки и упрочнения должны осуществляться на региональных специализированных предприятиях газовой отрасли, оснащенных необходимым оборудованием, технологиями и высококвалифицированными кадрами.

4. Конверсионная программа использования авиационных ГТД в энергетике и газовой отрасли должна резко поднять качество, технологическую дисциплину и ответственность исполнителей за выполненные ремонтно-восстановительные работы.

5. Инновационная деятельность в ремонтном производстве газовой отрасли позволит оснастить региональные и дочерние предприятия необходимыми высокими технологиями и оборудованием и получить большой экономический эффект от внедрения в промышленность.

1. *Машиностроение*. Энциклопедия / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 2002. — Т. IV.6, Оборудование для сварки. — С. 443–465.
2. *То же*. 2006. — Т. III-4, Технология сварки, пайки и резки. — С. 324–340.
3. *Пайка*. Опыт, искусство, наука: Сб. докл. науч.-техн. конф. за 1967–2002 гг. / Составители: В. П. Фролов, В. П. Плавун, И. Ю. Маркина, И. И. Ильина. — М.: Альфа Доминанта, 2005. — Т. 1. — 239 с.
4. *Космос*: Технологии, материаловедение, конструкции: Сб. науч. тр. / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 2000. — С. 257–276.
5. *Квасницкий В. Ф.* Сварка и пайка жаропрочных сплавов в судостроении. — Л.: Судостроение, 1986. — 224 с.
6. *Хорунов В. Ф.* Пайка: достижения и перспективы // Автомат. сварка. — 1998. — № 11. — С. 51–53.
7. *Хорунов В. Ф., Максимова С. В., Иванченко В. Г.* Разработка припоев для пайки жаропрочных сплавов на основе никеля и титана // Там же. — 2004. — № 9. — С. 27–32.
8. *Хорунов В. Ф., Кудашев А. В.* Пайка под давлением высокотемпературных сталей и жаропрочных сплавов // Материалы и технологии пайки: Сб. науч. тр. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1991. — С. 14–17.
9. *Жадкевич А. М.* Пайка дефектов лопаток авиационных и судовых турбин — прогрессивная технология продления их ресурса (Ретроспективный анализ состояния и перспективы развития) // Современ. электрометаллургия. — 2005. — № 1. — С. 38–45.
10. *Жадкевич А. М.* К 45-летию комитета пайки секции сварки ЦП НТО «Машпром» // Автомат. сварка. — 2006. — № 2. — С. 65–67.
11. *Жадкевич М. Л.* ОЗ СЭМ — база МНТК «ИЭС им. Е. О. Патона» по ускорению внедрения в промышленность новейших технологий специальной металлургии // Спец. электрометаллургия. — 1989. — Вып. 67. — С. 42–51.
12. *Жаропрочность* литейных никелевых сплавов и их защита от окисления / Б. Е. Патон, Г. Б. Строганов, С. Т. Кишкин и др. — Киев: Наук. думка, 1987. — 256 с.
13. *Высокотемпературная* коррозия и применение покрытий для защиты лопаточного агрегата ГТУ / В. И. Ники-

- тин, И. П. Комисарова, Б. А. Мовчан, И. С. Малащенко // Энергомашиностроение. — 1981. — № 9. — С. 44–52.
14. *Организация* и экономическая эффективность ремонта рабочих лопаток турбин стационарных ГПА / С. Жданов, А. Хороших, Б. Грабовский и др. // Газотурбин. технологии. — 2001. — Июль-август. — С. 24–26.
 15. *Ключников И. П., Гейкин В. А.* Ремонт высоконагруженных деталей и узлов горячего тракта ГТД методом высокотемпературной пайки // Пайка. Современные технологии, материалы, конструкции. — М.: ЦРДЗ, 2001. — Сб. 2. — С. 19–24.
 16. *Неровный В. М., Ямпольский В. М., Рогов Р. М.* Ремонт газовых турбин дуговой пайкой в вакууме // Энергомашиностроение. — 1989. — № 2. — С. 22–24.
 17. *Корниенко А. Н., Жадкевич А. М.* Состояние и проблемы пайки для ремонта лопаток газотурбинных двигателей // Заготовительное производство в машиностроении. — 2005. — № 9. — С. 9–12.
 18. *Ключников И. П.* Ремонт деталей и узлов газотурбинных двигателей методом высокотемпературной пайки с локальным нагревом // Пайка и создание изделий современной техники. — М.: ЦРДЗ, 1997. — С. 151–155.
 19. *Ямпольский В. М., Неровный В. М.* Упрочнение и восстановление лопаток газотурбинных двигателей пайкой // Тр. МВТУ им. Н. Э. Баумана. — 1981. — № 383. — С. 72–78.
 20. *Хорунов В. Ф., Максимова С. В., Самохин С. М.* Пайка современных и перспективных жаропрочных материалов для газотурбостроения // Тр. IV сессии Научного совета по новым материалам МААН «Проблемы современного материаловедения». — Киев-Гомель: ИММС АН Белоруси, 2000. — С. 77–81.
 21. *Характер* образования горячих трещин при сварке литых жаропрочных сплавов / К. А. Ющенко, В. С. Савченко, Н. О. Червяков, Н. В. Звягинцева // Автомат. сварка. — 2004. — № 8. — С. 35–40.
 22. *Квасницкий В. Ф.* Сварка и пайка жаропрочных сплавов в судостроении // Там же. — 1985. — № 6. — С. 26–30.
 23. *Жадкевич А. М.* Прогрессивные технологии пайки для ремонта газотурбинных двигателей // Пробл. металлургии, сварки и материаловедения. — 2005. — № 4. — С. 9–17.
 24. *Орлов А. В., Березников Ю. П., Самсонова Т. С.* Ремонт газовых турбин методом дуговой пайки // Энергомашиностроение. — 1984. — № 2. — С. 33–34.
 25. *Зинченко Г., Морзунов Е.* Талант, умноженный на дерзость, труд и упорство // Газотурбин. технологии. — 2003. — № 2. — С. 30–32.
 26. *Глина О., Тюрлякова-Матвеева Д.* Pratt&Whitney — всегда там, где мы нужны // Там же. — С. 38–40.
 27. *Муравченко А.* Модернизация газотурбинных двигателей «Ивченко-Прогресс» для энергетических установок // Там же. — 2004. — № 2. — С. 52–54.
 28. *Богуслаев В.* Газотурбинные установки ОАО «МоторСич» для энергетики и нефтегазового комплекса // Там же. — 2003. — № 6. — С. 46–47.
 29. *Настоящее* и будущее российского турбостроения: Обзор ОАО «А. Льюлька-Сатурн» // Там же. — 1999. — № 1. — С. 34.
 30. *Иванов Ю., Кузменко М., Михайлов А.* Термическая обработка жаропрочных никелевых сплавов // Там же. — 2003. — № 1. — С. 51–53.
 31. *Бернадский В. Н.* Особенности инновационного процесса в создании и трансфере высоких технологий // Обзор. информ. ИЭС. — 2006. — № 1. — 19 с.

Advances in the development of welding, brazing and coating technologies for repair of components of the hot section of gas turbine engines are noted. Causes of restriction of wide-scale application of a new technology are considered. Wide prospects for arrangement of repair operations to recondition of blades of gas-pumping plants in the gas industry of the CIS countries are substantiated.