



ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины



Н. О. Червяков (ИЭС) защитил 10 октября 2007 г. кандидатскую диссертацию на тему «Напряженно-деформированное состояние и технологическая прочность сварных соединений высокопрочных никелевых сплавов».

Диссертация посвящена изучению особенностей тер-

модеформационных процессов применительно к оценке трещиностойкости сварных соединений и разработке на этой основе рекомендаций по выбору эффективных технологических приемов создания качественных сварных соединений высокопрочных ($\sigma_B \sim 1000$ МПа) никелевых дисперсионно-твердеющих сплавов с γ' -упрочнением.

Исследована свариваемость никелевых сплавов методом Varestraint Test. Построены температурные интервалы хрупкости никелевых сплавов с содержанием γ' -фазы от 40 до 60 %. Показано наличие двух температурных интервалов хрупкости — высокотемпературного (ТИХ-I) и низкотемпературного (ТИХ-II). Определены протяженность температурных интервалов хрупкости и критической деформации для каждого интервала, превышение которой вызывает появление трещин. Установлено, что при сварке никелевых сплавов наиболее критичным является образование поперечных трещин в низкотемпературном интервале провала пластичности (ТИХ-II) в диапазоне температур 1150...700 °С.

Экспериментально изучено распределение остаточных напряжений и деформаций и показано, что с увеличением содержания γ' -фазы в сплаве с 40 до 60 % максимальные растягивающие остаточные продольные напряжения изменяются от 750 до 950 МПа и пропорциональны пределу текучести материала. Установлено, что пластическая деформация локализуется на расстоянии до 1000 мкм от линии сплавления в сторону основного металла и ширина зоны образования трещин совпадает с размером зоны пластической деформации. Изучены температурные условия формирования сварного соединения путем непосредственного измерения термических циклов в зоне термического влияния (ЗТВ) на различном удалении от оси шва. Рассмотрено влияние параметров режима процесса сварки неплавящимся воль-

фрамовым электродом в защитном газе аргоне на параметры сварочной ванны и шва. Для исследования была собрана установка, позволяющая в процессе сварки производить видеосъемку поверхности движущейся сварочной ванны и формирования шва, по результатам которой определялась форма и геометрические размеры зеркала жидкой ванны. Полученные данные использовались в дальнейшем для уточнения математической модели.

Экспериментально определены механические и теплофизические свойства исследуемого сплава при температурах выше 1000 °С — предела текучести и коэффициента линейного расширения, которые являются важными параметрами для моделирования термомодеформационных процессов в шве и ЗТВ. Максимальные значения коэффициента линейного расширения составляют для сплава ЖС-26 $60 \cdot 10^{-6}$ 1/°С, причем практически двукратное увеличение его значения на стадии нагрева происходит в интервале температур 1000...1200 °С. Предел текучести при комнатной температуре составляет 950 МПа, а при нагреве до температуры 900 °С плавно уменьшается до 850 МПа; резкое падение предела текучести до 100 МПа происходит в интервале температур 950...1100 °С.

С позиций оценки вероятности образования околошовных горячих трещин при сварке плавлением никелевых дисперсионно-твердеющих сплавов экспериментально-расчетным методом определен уровень и изучена кинетика развития напряженно-деформированного состояния во время формирования сварного соединения. Расчетным путем изучены закономерности распределения и особенности развития локальных пластических деформаций в ЗТВ никелевых сплавов и установлено, что на стадии охлаждения продольные пластические деформации локализируются в узкой (до 1000 мкм) зоне, прилегающей к линии сплавления, и имеют положительные приращения, значения которых на макроуровне составляют более 1,5 %, что значительно превышает критическое значение деформации. Особенность развития этих деформаций такова, что достижение ими максимума совпадает во времени с пребыванием металла ЗТВ (ТИХ-II) в интервале температур 1150...700 °С. Изучение кинетики изменения продольных временных напряжений показало, что основную роль играют продольные относительно направления сварки напряжения $\sigma_{x,x}$, высокие значения которых до $0,8\sigma_{0,2}$ достигаются еще во время пребывания металла ЗТВ в области подсоли-



дусных температур, что подтверждает факт преимущественного образования поперечных околошовных трещин. На основе анализа показана корреляция между напряженно-деформированным состоянием и технологической прочностью, т. е. склонностью сварных соединений к образованию горячих трещин в процессе сварки и термической обработки никелевых высокопрочных сплавов.

Установлены методы управления напряженно-деформированным состоянием при сварке сплавов, склонных к образованию горячих трещин в ЗТВ и показано, что за счет варьирования уровнем тепловложения можно существенно задержать момент начала развития положительных приращений пластической деформации в ЗТВ и снизить их значения до уровня менее 0,1 %, что не превышает критических значений, при которых образуется трещина в соответствующем температурном интервале хрупкости.

Разработан комплекс рекомендаций для создания условий, при которых обеспечивается необходимая технологическая прочность сварных соединений.



И. А. Петрик (ОАО «Мотор Сич») защитил 10 октября 2007 г. кандидатскую диссертацию на тему «Процессы восстановления сваркой и пайкой лопаток газотурбинных двигателей из трудносвариваемых сплавов на основе никеля и титана».

Диссертация посвящена разработке промышленных технологических процессов восстановления лопаток из высокопрочных титановых и жаропрочных никелевых сплавов газоздушного тракта газотурбинных авиадвигателей с целью продления ресурса их работы. В работе рассмотрены и систематизированы основные причины выхода из строя деталей ГВТ ГТД. Показано, что при работе двигателя на лопатки воздействуют динамические силовые и температурные нагрузки и коррозионная среда газового потока. Распределение термических нагрузок неравномерно по телу лопатки и имеет градиентный характер. Проведена классификация возникающих эксплуатационных повреждений лопаток: по видам износа, по конструктивным признакам, по зонам возникновения, по причинам выхода из строя — с целью определения их ремонтпригодности и условий ремонта.

Приведены основные методологические аспекты работы, методы и использованное оборудование. В работе проводили химический, спектральный и рентгеноструктурный анализы, металлографические исследования, стандартные механи-

ческие испытания, испытания на кратковременную и длительную прочность, в том числе при рабочих температурах; определение предела выносливости σ_{-1} (на базе 10^7 циклов). Для эффективной технологической оценки свариваемости металла лопаток после их эксплуатации совместно с методом динамического деформирования TransVarestraint Test использовали методику технологической «лопаточной кольцевой» пробы.

Исследованы влияние режимов ЭЛС, АДС, состава присадочного материала и режимов термической обработки на структуру и механические свойства сварных соединений титанового сплава ВТЗ-1 и жаропрочного никелевого сплава ЖС6У-ВИ. Показано, что стандартные приемы и параметры ЭЛС и АДС, значительно снижают эксплуатационные свойства соединений и требуют оптимизации. На основании анализа установленных зависимостей влияния на структуру и свойства определены значения погонной энергии ЭЛС и АДС, при которых обеспечивается оптимальная технологичность структуры сварных швов и наиболее высокий уровень механических свойств.

Проведены расчет и анализ распределения рабочих напряжений в объеме лопатки. Расчет и графическое построение полей напряжений выполнен на примере рабочей лопатки вентилятора ГТД Д-36. На основе сравнения рабочих напряжений с прочностными свойствами ремонтных сварных соединений разработана методика определения зон возможного ремонта сваркой и предложена градиентно-прочностная модель выбора параметров технологий, материалов и методов обработки сварных соединений. Определяющей в назначении технологий ремонта признана свариваемость конструкционных материалов. Для рабочих лопаток из двухфазных титановых сплавов типа ВТЗ-1, обобщенным критерием свариваемости является показатель усталостной прочности, для ремонтных сварных и паяных соединений из ЖС6У-ВИ — уровень чувствительности к образованию трещин и прочностные свойства сварного соединения.

Применение градиентно-прочностного принципа ремонта для лопатки вентилятора из сплава ВТЗ-1 показал возможность расширения объема ремонта на 75...80 % в сравнении с допустимыми зонами, установленными согласно ранее принятой нормативной документации.

Представлены результаты и анализ свариваемости лопаток из жаропрочных никелевых сплавов способом АДС. Проведены исследования влияния присадочного материала из сплавов ВЖ98, ЭП367 и термообработки для лопаток из сплава ЖС6У-ВИ на технологическую прочность (устойчивость против образования трещин). Определено



наличие температурного интервала хрупкости сплава в диапазоне температур 950...1160 °С при низких значениях (0,1 %) критической деформации. Обоснованы и предложены режимы сварки и термообработки, технологические приемы их выполнения, которые снижают влияние термомеханических процессов при сварке сплава ЖС6У-ВИ на образование трещин. На основе стандартного метода Trans-Varestraint Test разработан экспресс-метод оценки свариваемости сложнотермического металла лопатки после длительной эксплуатации под влиянием высокотемпературной газовой среды и силовых нагрузок. Используется «кольцевая лопаточная проба», которая выполняется непосредственно на теле реальной лопатки. Предложен комплексный критерий оценки свариваемости Ω , который учитывает конструктивные особенности детали и состояние металла, уровень напряженного состояния по местам расположения и суммарной длине трещин, что образуются.

В ряде случаев, когда ремонт лопаток методами сварки неприемлем, исследована возможность ремонта с применением пайки. Определены эксплуатационные дефекты по типу и месторасполо-

жению, которые могут быть исправлены методом пайки. Исследована возможность применения стандартизованных в авиационной промышленности припоев, определены условия получения капиллярных зазоров, необходимых для получения плотных и прочных ремонтных паяных соединений жаропрочных литейных никелевых сплавов.

Разработанный принцип градиентной прочности обоснован и реализован при создании технологий ремонта с применением сварки и сопутствующих технологий как титановых, так и жаропрочных сплавов.

Рекомендации и подходы реализованы также для ремонта дефектов литья при изготовлении новых сопловых лопаток.

Разработаны нормативная документация, инструкции, групповые техпроцессы и рекомендации на ремонт, которые согласованы с конструкторами-разработчиками двигателя.

Обеспечена методологическая и технологическая возможность для создания процессов ремонта нагруженных лопаток ГВТ в производственных условиях. Разработки внедрены на ОАО «Мотор Сич».

УДК 621.791(088.8)

ПАТЕНТЫ В ОБЛАСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА*

Способ восстановления изношенных поверхностей стальных деталей, отличающийся тем, что предварительно осуществляют электродуговую наплавку изношенной поверхности с учетом припуска на последующую механическую обработку, которую проводят с занижением номинального размера детали, затем осуществляют дробеструйную активацию обработанной поверхности, а газопламенное напыление осуществляют самофлюсующимся порошковым сплавом с последующим оплавлением нанесенного покрытия путем нагрева детали до температуры 950...1050 °С, причем покрытие наносят с превышением номинального размера детали на величину усадки покрытия после полного охлаждения детали. Патент РФ 2299115. М. М. Берзин, А. Н. Пурехов, С. А. Бульканов и др. [14].

Устройство для ультразвукового лужения изделий, отличающееся тем, что его открытый корпус помещен во внешний корпус с образованием воздушного зазора между их стенками, опора выполнена в виде расположенных друг за другом на разных расстояниях от ванны двух параллельных пластин, выполненных с возможностью расположения на их торцах ультразвукового преобразователя и введения наклонно его инструмента в припой, причем пластины закреплены в зазоре между корпусами на параллельных стенках внешнего корпуса наклонно по отношению ко дну ванны. Патент РФ 2299792. А. А. Новик (ООО «Ультразвуковая техника-инлаб») [15].

Газосварочная горелка, отличающаяся тем, что ее смеситель размещен в головке и сопряжен с мундштуком, входное отверстие кислорода смесителя сообщено с его камерой смешения через калиброванное отверстие, отношение диаметра к диаметру входного отверстия камеры смешения и к диаметру отверстия выходного участка ступенчатого отверстия мундштука составляет $1:1,6 \div 3:1,63 \div 2,8$, причем длина входного отверстия камеры смешения смесителя составляет $0,3 \div 0,6$ полной длины камеры смешения, а выходное отверстие камеры смешения смесителя и участок ступенчатого отверстия мундштука, расположенный перед выходным участком, имеют форму конусов, обращенных друг к другу основаниями с углами при вершине соответственно равными 12 и 8–18°. Патент РФ 2299793. Г. Л. Хачатрян, Ю. К. Родин, С. В. Соколов [15].

Однофазный сварочный стабилизатор тока содержит основную источник питания, состоящий из силового трансформатора с одной первичной обмоткой и двумя вторичными обмотками, подключенными через датчик тока к однофазному двухполупериодному выпрямителю на силовых тиристорах, к выходу которого подключены электроды сварочной дуги малоомощного трансформатора с первичной обмоткой, соединенной с выводами для подключения сети, и первой и второй вторичными обмотками. Приведены отличительные признаки. Патент РФ 2299794. В. Т. Тарасов [15].

Устройство для электроконтактной приварки ферромагнитных порошков, содержащее роликовый электрод, привод вращения детали, механизм прижатия электрода и механизм

* Приведены сведения о патентах, опубликованных в бюллетенях РФ «Изобретения. Полезные модели» за 2007 г. (в квадратных скобках указан номер бюллетеня).