



## ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ



**Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины. В. А. Лебедев** (ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины) защитил 24 марта 2010 г. докторскую диссертацию на тему «Повышение эффективности сварочного оборудования на основе исследования импульсных воздействий в системе подачи электродной проволоки».

Диссертация посвящена исследованию и разработке нового высокоэффективного механизированного дугового оборудования — полуавтоматов для сварки, наплавки и резки металлов. Выполнен анализ существующих систем и способов повышения эффективности полуавтоматов для сварки и родственных технологий, известных до настоящего времени. Рассмотрен ряд моделей полуавтоматов, которые выпускались и выпускаются в настоящее время. Определены их достоинства и недостатки с учетом цикла: разработка, изготовление, использование. Показано, что одним из наиболее действенных способов улучшения технических характеристик и технологических возможностей является применение в их системах управляемых импульсных режимов работы.

Приведены детальные теоретические исследования и математическое моделирование механизированных дуговых процессов с импульсными изменениями параметров движения электродной проволоки. Исходя из результатов моделирования предложена методика выбора параметров импульсов (частота, форма, ускорение), которые позволяют получить управляемый перенос электродного металла при сварке с короткими замыканиями. Определены условия управляемого переноса электродного металла при импульсной подаче электродной проволоки. Процесс реализован при механизированной сварке стальными и алюминиевыми электродными проволоками в среде защитных газов.

Проанализирована в комплексном виде система подачи проволоки по гибким направляющим каналам с разработкой математической модели, позволившая изучить динамические явления в системе и на этой основе описать переходные процессы при перемещении проволоки по каналу. Установлены закономерности подачи проволоки по гибким направляющим каналам с математическим описанием условий затухания амплитуд и задержек импульсов подачи в канале. Этот цикл

исследований позволяет уточнить параметры импульсной подачи при использовании различных конструкций систем подачи.

Проанализирован ряд систем управления и регулирования в механизированном оборудовании. Уточнено их влияние на качество получаемых сварных швов и валиков наплавленного металла. Предложены новые варианты оптимального управления и регулирования сварочным процессом для механизированного оборудования.

Рассмотрены важные проблемы эффективности использования двигателей электродной проволоки в полуавтоматах различного назначения. Определены оптимальные варианты конструкций роликовых узлов подачи и предложены методики их выбора и расчета. Разработаны новые конструкции роликовых механизмов подачи, в том числе с подающим роликом, неограниченного диаметра. Предложены оптимизированные по показателям надежности и эффективности новые конструкции двигателей проволоки на основе захватов.

Предложены методики выбора и расчета механизмов импульсной подачи на основе квазиволнового преобразователя (КВП), позволяющие получить импульсное движение электродной проволоки с управляемыми параметрами импульсов (частота, форма, ускорение) для реализации импульсных алгоритмов переноса электродного металла при сварке в защитных газах и при использовании порошковых самозащитных проволок (впервые).

Разработаны основы целенаправленного выбора приводного электродвигателя для системы подачи электродной проволоки, в том числе с учетом импульсной составляющей момента. Выполнены разработки простых по конструкции специфичных электроприводов, учитывающих особенности механизированного оборудования для сварки, наплавки и резки.

На основе системного анализа сформулированы эффективные критерии выбора конструкций современного механизированного дугового оборудования для высокоэффективного решения задач по сварке, наплавке и резке сталей и алюминия и его сплавов. Разработаны принципы блочно-модульного конструирования с использованием базовой модели полуавтоматов различного функционального назначения с выбором критериев оценки характеристик надежности.

Выполнены разработки большого количества отдельных важных узлов и систем полуавтоматов: оригинальных механизмов, простых регулируе-



мых электроприводов, систем регулирования механизированных дуговых процессов с созданием методик их расчета и применения в современном оборудовании. Исследованы и технологические возможности новых технических решений. Разработан ряд полуавтоматов для сварки, наплавки и резки с использованием результатов исследования и новых конструкций узлов, в том числе механизированное оборудование для сварки алюминия, резки металлов и ряд других. Рассмотрены разработки полуавтоматов с импульсной подачей сплошной и порошковой электродной проволоки.

Особое внимание уделено разработкам малогабаритных полуавтоматов с источниками сварочного тока, которые питаются от сети однофазного тока 220 В и удовлетворяют высоким требованиям надежности. Предложен ряд технических решений и методика оценки их эффективности.

Рассмотрены новые технико-технологические решения по совершенствованию процессов механизированной сварки и наплавки, которые связаны с использованием нескольких электродных проволок, а также нескольких импульсных воздействий: импульсный механизм подачи и импульсный источник сварочного тока.

Проанализированы экспериментальные исследования эффективности гаммы полуавтоматов блочно-модульной конструкции различного функционального назначения. Результаты работы — внедрение полуавтоматов различного назначения.



**Институт электродинамики  
НАН Украины.**

**С. В. Рымар** (ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины) защитил 27 апреля 2010 г. докторскую диссертацию на тему «Трансформаторы и реакторы устройств подавления высших гармоник тока».

Диссертация посвящена решению важной научно-прикладной проблемы развития основ теории и повышения точности расчета электромагнитных элементов устройств подавления высших гармоник тока — трансформаторов, автотрансформаторов и реакторов путем учета влияния гармонических составляющих тока и магнитного потока в обмотках и магнитопроводах, принципов их разработки и проектирования, что в совокупности вносит существенный вклад в развитие теории электрических машин и аппаратов.

Нелинейные нагрузки, в том числе сварочное оборудование и оборудование родственных процессов, отрицательно влияют на электрическую сеть, генерируя в ней высшие гармоники тока.

Для подавления высших гармоник тока целесообразно применять современные индуктивно-емкостные фильтры высших гармоник тока, а также и трансформаторные и автотрансформаторные фильтры высших гармоник тока и токов нулевой последовательности в виде специальных многообмоточных фазосдвигающих трансформаторов и автотрансформаторов, обеспечивающих повышенные фазности со сдвигом расщепленных фаз на углы, требуемые для компенсации высших гармоник. Существенным преимуществом таких устройств является их высокая надежность, практическое отсутствие генерации в сеть реактивной мощности и высокочастотных помех, невысокая стоимость изготовления и эксплуатации.

Для однозначного нахождения оптимальных значений переменных трансформаторов и реакторов при выбранных критериях оптимизации и существенного уменьшения количества рассматриваемых вариантов при оптимизации разработаны оптимизационные математические модели с полным разделением зависимых и независимых переменных, с возможностью наложения ограничений на выбранные параметры. Созданные на основе разработанной оптимизационной функции, зависящей от одного обобщенного весового коэффициента, методы поиска наилучшего варианта исполнения трансформатора и реактора, которые сводят многокритериальную задачу оптимизации к двухкритериальной, позволяют однозначно находить их наилучший вариант в отличие от существующих субъективных методов поиска использующие принцип начисления баллов и весовых коэффициентов критериям оптимизации. Впервые получены универсальные закономерности изменения критериев оптимизации при изменении значений обобщенного весового коэффициента для всех рассмотренных типов и конструкций трансформаторов и реакторов, которые могут быть использованы при быстрых оценочных расчетах оптимальных вариантов трансформаторов и реакторов при различных критериях оптимизации.

На основе трансформаторов с развитыми магнитными потоками рассеяния создан новый тип электромагнитного преобразователя энергии в классе устройств подавления высших гармоник тока — силовой трансфильтр, сочетающий в одной конструкции трансформатор и индуктивно-емкостной фильтр высших гармоник тока, для которого создан метод расчета его индуктивности рассеяния и исследованы свойства его магнитных потоков.

Усовершенствован метод расчета электромагнитных параметров бифилярных обмоток фазосдвигающих трансформаторных и автотрансформаторных фильтров высших гармоник тока для



случая многослойных обмоток с параллельными проводниками. Повышена точность определения статических и динамических индуктивностей реакторов при изменении нагрузки, что позволило на этапе проектирования определять их электромагнитные характеристики.

С целью повышения точности расчета энергетических параметров трансформаторов усовершенствованы теория и методы расчета добавочных потерь в их обмотках при наличии высших гармоник тока; впервые созданные теория и методы расчета добавочных потерь в обмотках реакторов индуктивно-емкостных фильтров высших гармоник тока дают возможность на этапе их проектирования учесть увеличение основных и добавочных потерь при наличии гармонических составляющих магнитных потоков рассеяния.

В получивших дальнейшее развитие методах расчета потерь в стали магнитопровода и тока холостого хода трансформаторов учтено влияние на энергетические параметры зон в районе стыков стержней и ярем современных конструкций стыковых магнитопроводов трансформаторов, где магнитный поток проходит под разными углами к направлению прокатки электротехнической стали.

Дальнейшее развитие получили теория и методы расчета потерь в магнитопроводе реакторов с учетом высших гармоник магнитного потока в магнитопроводе, что позволило существенно увеличить точность расчета их энергетических параметров. Методы позволяют проектировать качественные реакторы для индуктивно-емкостных фильтров высших гармоник тока.

Разработанные аналитические методы тепловых расчетов трансформаторов и реакторов при наличии охлаждающих каналов в обмотках с учетом движения воздуха при естественном охлаждении и излучении тепла позволяют быстро и с высокой точностью рассчитывать их температурные параметры.

Разработанные теория и методы расчета трансформаторов и реакторов устройств подавления высших гармоник тока позволили создать их новые технологические типы и конструкции, а также с высокой точностью рассчитывать и проектировать трансформаторы и реакторы, что актуально при создании высокоэффективного энергосберегающего оборудования. Это также во многом решает проблему улучшения качества электрических сетей и энергосбережения, уменьшая потери в сетях и оборудовании, в том числе и в сетях со сварочным и спецэлектротехнологическим оборудованием.

Разработанные методы позволяют рассчитывать, проектировать и создавать в Украине современное конкурентоспособное на мировом рынке энергосберегающее оборудование.



**Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины. С. А. Соловей** (ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины) защитил 19 мая 2010 г. кандидатскую диссертацию на тему «Повышение долговечности тавровых сварных соединений с накопленными усталостными повреждениями высокочастотной проковкой».

Диссертация посвящена установлению эффективности повышения технологией ВМП циклической долговечности тавровых сварных соединений из низколегированных сталей в исходном состоянии и с накопленными усталостными повреждениями при регулярном, многоступенчатом и блочном нагружениях.

В рамках гипотезы линейного суммирования усталостных повреждений для тавровых сварных соединений стали 09Г2С в исходном и упрочненном технологией ВМП состояниях установлены предельные значения накопленной усталостной поврежденности при многоступенчатом и блочном нагружениях с возрастающим, убывающим и квазислучайным порядками приложения нагрузок в блоке. Установлено, что в упрочненных соединениях в отличие от неупрочненных вид нагружения и порядок приложения нагрузок в блоке не оказывают существенного влияния на накопление усталостных повреждений. Это вызвано тем, что вследствие обработки ВЧП в зонах концентраторов на поверхности образцов сварных соединений вместо остаточных сварочных напряжений растяжения порядка  $0,9\sigma_T$  материала находятся остаточные напряжения сжатия до  $-0,9\sigma_T$  материала. Предельные значения суммы относительных долговечностей упрочненных сварных соединений находятся в диапазоне от 0,52 до 1,08, а неупрочненных — от 0,32 до 1,97.

Обосновано формулу для суммирования усталостных повреждений в неупрочненных сварных соединениях при многоступенчатом нагружении, учитывающую влияние остаточных сварочных напряжений и коэффициент концентрации напряжений через изменение средних напряжений цикла в зоне концентратора соединения. Учет последовательности приложения нагрузок путем изменения средних напряжений цикла позволяет почти в два раза уменьшить рассеяние предельной суммарной поврежденности, определенной по гипотезе линейного суммирования, с интервала  $[0,32... 1,97]$  до  $[0,32... 1,2]$ .

При регулярном, многоступенчатом и блочном нагружениях исследована эффективность повышения технологией ВМП циклической долговечности тавровых сварных соединений с 50 % уров-



нем накопленных усталостных повреждений. Показано, что степень повышения остаточной долговечности после упрочнения существенно зависит от уровней прикладываемых напряжений до упрочнения. Установленные для данных видов нагружения предельные значения суммарной поврежденности при линейном суммировании усталостных повреждений до и после упрочнения находятся в диапазоне от 0,77 до 3,0. Нарботка 50 % поврежденности до упрочнения на уровнях прикладываемых напряжений, которые приводят к наведению остаточных напряжений сжатия в зонах концентраторов, повышает эффективность применения технологии ВМП: остаточная долговечность соединений увеличивается примерно в 1,2...2,5 раза по сравнению с долговечностью соединений, упрочненных ВМП в исходном после сварки состоянии. После упрочнения сварных соединений с накопленной 50 % поврежденностью до упрочнения на уровнях прикладываемых напряжений, не вызывающих наведение остаточных напряжений сжатия в зонах швов, их остаточная долговечность составляет около 50 % долговечности сварных соединений, упрочненных в исходном состоянии.

Наличие конструктивных непроваров в упрочненных высокочастотной проковкой тавровых сварных соединениях снижает их циклическую долговечность на 10...45 %. Однако упрочнение технологией ВМП сварных соединений с непроварами повышает их циклическую долговечность более чем в 5 раз.

Измерениями микротвердости установлено, что при обработке ВМП глубина пластически деформированного слоя металла достигает 1 мм. Поэтому упрочнение технологией ВМП существенно повышает циклическую долговечность сварных соединений с поверхностными усталостными трещинами незначительной глубиной (до 1 мм). После упрочнения таких соединений и наработки  $2 \cdot 10^6$  циклов перемен напряжений в упрочненном состоянии при исходных уровнях прикладываемых напряжений развития существующих или образования новых трещин не происходит.



**Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины.**  
**Е. О. Патона НАН Украины.**  
**С. А. Недосека (ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины)** защитил 2 июня 2010 г. докторскую диссертацию на тему «Диагностика и прогнозирование ресурса сварных конструкций методом акустической эмиссии».

Диссертация посвящена решению проблемы оценки фактического состояния сварных конструкций с накопленными повреждениями и разработке методов акустико-эмиссионной диагностики и мониторинга, имеющих целью заблаговременно на основе прогнозирования разрушающей нагрузки и остаточного ресурса выявить опасность возникновения трещин и не допустить разрушения.

Метод акустической эмиссии (АЭ) является одним из наиболее эффективных неразрушающих методов контроля состояния конструкций и имеет ряд серьезных преимуществ при его использовании в промышленных условиях. Это стало причиной выбора метода АЭ в качестве предмета научных исследований и разработки на его основе новых методов оценки состояния материалов, выполненных в диссертации.

Для решения задач были объединены современные подходы в таких научных направлениях, как континуальная механика, акустика и математическое моделирование. Результаты исследования АЭ, полученные при механических испытаниях образцов на статическое растяжение, сопоставлены с экспериментальными данными, полученными дополнительными методами: АЭ сканированием, определением ударной вязкости, взвешиванием в жидкости, ЛМ-твердости и металлографическим анализом. Показано, что влияние сварного соединения на АЭ свойства материала состоит в увеличении количества событий АЭ с увеличением объема металла, составляющего зону термического влияния.

На основе комплексного исследования процесса накопления повреждений в материалах в процессе деформирования и эксплуатационной наработки выявлены общие закономерности изменения ряда структурно-чувствительных параметров, в том числе количества событий АЭ, амплитуд и времени нарастания сигналов АЭ до максимума в зависимости от формирования поврежденности, что позволило сформулировать критерии оценки поврежденности и остаточного ресурса материалов по данным АЭ. Показано, что в пластичных материалах существует корреляционная связь между возникновением и ростом пор и акустической эмиссией, что обеспечивает принципиальную возможность применения метода АЭ для оценки и прогнозирования состояния металлических материалов на ранних стадиях накопления повреждений, предшествующих появлению трещин.

Формализован и применен объектный подход к решению задачи, описывающей возникновение, рост и взаимодействие множественных пор в процессе накопления повреждений при деформировании, а также возникновение вследствие этого



волн АЭ. Это позволило существенно упростить, решение задачи за счет инкапсуляции базовой функциональности модели в объектах, моделирующих поры, и обеспечить в рамках того же самого алгоритма моделирования, возникновения и развития разнообразных полей повреждений в разных условиях с учетом влияния концентрации напряжений.

Разработана математическая модель, связывающая АЭ и акустические свойства материала с процессом накопления повреждений, который трактуется как возникновение, рост и взаимодействие сферических пор с учетом влияния объемного распределения повреждений и геометрии концентратора на прохождение через материал акустических сигналов. Модель позволяет создавать эталоны АЭ для различных условий формирования поврежденности в материале. Усовершенствована методика аналитического расчета возникающих и распространяющихся в материале волн АЭ путем разбиения суммарной волны на

элементарные составляющие по волновым числам и комплексным частотам. Выполненные расчеты возникающих и распространяющихся в стержневых и плоских элементах конструкций акустических волн показали зависимость спектра, формы и амплитуд волн от толщины материала. Разработан и подтвержден экспериментально метод прогноза разрушающей нагрузки, основанный на сравнении данных реальных АЭ испытаний с эталонами, получаемыми с помощью математической модели накопления повреждений, представленных в виде вектора состояния материала.

Научные результаты, полученные в работе, подтверждены на практике при анализе состояния действующих конструкций, внедрены и применяются в производственных условиях при диагностическом контроле и непрерывном АЭ мониторинге труб, барабанов котлов, сосудов давления, хранилищ и оборудования цехов производства аммиака, на мостовых переходах труб аммиакопровода.



## ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛА «WELDING and CUTTING», 2009, № 6

### СТИМУЛЫ РАЗВИТИЯ РЫНКА СВАРОЧНОЙ ТЕХНИКИ

Несмотря на экономический кризис, начавшийся с Уолл-стрита и охвативший за несколько месяцев весь мир, тенденция развития экологически чистой энергоиндустрии (финансируемой Всемирным банком, например, в областях солнечной и ветроэнергетики, ядерной и гидроэнергетики) способствует сохранению спроса на сварочное оборудование и материалы, которые составляют не менее 11% на мировом рынке и в настоящее время.

Ежегодный рост инвестиций в эту отрасль ожидается на уровне 6,9% (с 1,9 млрд в 2008 г. — до 3 млрд USD в 2015 г.), причем основные затраты предполагаются не на замену энергетического оборудования, а на его техническое обслуживание и текущий ремонт, для выполнения которого необходимо использование сварочной техники.

Исходя из всеобщего дефицита квалифицированных сварщиков, изготовители сварочных конструкций переходят

к использованию высокоавтоматизированных сварочных процессов с минимальными требованиями к обслуживающему персоналу.

Необходимость повышения производительности сварочных процессов и качества сварных швов, снижения расхода сварочных материалов, использования алюминия взамен стали способствует разработке и внедрению гибридных способов сварки и аппаратуры для изготовления и ремонта сварных узлов.

Таким образом, потребность в изготовлении, техническом обслуживании и текущем ремонте энергетического оборудования, реализуемая известными и новыми способами сварки (дуговая сварка под флюсом, сварка в среде защитных газов и гибридные способы сварки), всегда останется насущной необходимостью даже в условиях глобального кризиса.