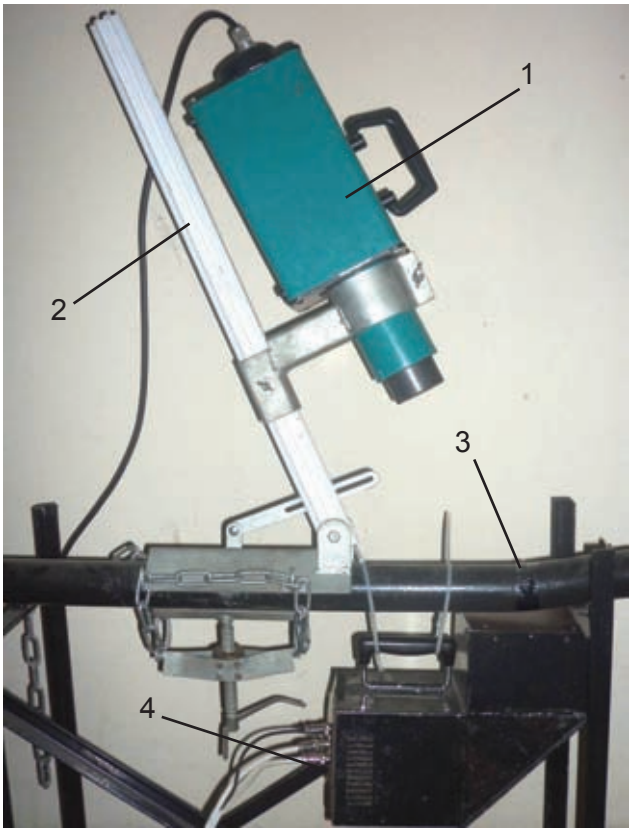
ПОРТАТИВНАЯ ЦИФРОВАЯ РЕНТГЕНОТЕЛЕВИЗИОННАЯ СИСТЕМА (РТС-П)

Рентгенотелевизионная система РТС-П поставляется для рентгеновского контроля различных объектов, толщина металла которых позволяет использовать импульсные рентгеновские аппараты.

В комплекте: электронное оборудование, ноутбук со специализированным программным обеспечением

1 – излучатель рентгеновского аппарата
2 – штатив
3 – контролируемое сварное соединение
4 – детектирующее рентгеновское устройство

Цифровое рентгенотелевизионное изображение сварного соединения трубы на экране компьютера



Просвечивание стальной трубы Ø 57 мм с использованием РТС-П

Преимущества РТС-П перед другими рентгенотелевизионными системами:

- высококонтрастный рентгенооптический преобразователь;
- высокая радиационная чувствительность при низком шуме;
- высокое разрешение и стабильность изображения;
- низкая инерционность;
- возможность контроля движущихся объектов;
- возможность использования с импульсными рентгеновскими аппаратами;
- высокоэффективная цифровая обработка изображения;
- малые размеры;
- низкая стоимость

E-mail: office@paton.kiev.ua

ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОГО И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ, ВКЛЮЧАЯ ПРОГНОЗ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА, ПО ИЗМЕРЕНИЯМ МАГНИТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ – КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ*

Магнитометрические измерения, исторически составившие суть метода коэрцитивной силы (МКС), изначально выполнялись скорее всего для сугубо исследовательских целей в задачах, которые, по современным представлениям, отнесли бы наверное к фундаментальной науке. С появлением и развитием промышленности сфера применения метода распространилась на оценку рукотворного (технологического) разнообразия состояний и свойств новой металлопродукции и складывавшуюся параллельно с этим область прикладных задач. В течение последних тридцати лет мы осуществили расширение применения МКС на диагностические задачи оценки уже естественного эксплуатационного разнообразия состояний металла, возникающего в течение срока службы вследствие усталостной деградации. Тем самым инициирован скачок в развитии представлений самого МКС и уровня связанного с ним специфичного магнитоизмерительного приборостроения. А также – и это главное – обусловлен пока не очень осознанный специалистами рывок в развитии технической диагностики металлов, поскольку применение коэрцитиметрии для оценки состояния металла в течение эксплуатации позволило реализовать сразу и на практическом уровне недоступный до этого вообще контроль усталости конструкций и оборудования как локально, так и в целостном представлении. Причем, все это не только качественно, но и количественно. Не говоря об открывшемся потенциале возможностей уточнения на этой основе особенностей механики разрушения и процессов становления и развития усталостной деградации как в модельном, так и реальном эксплуатационном представлении.

Коэрцитивная сила показала высокую практическую, а особенно информационную эффективность в оценке уровня накопления усталостной микроповрежденности металла в течение эксплуатации. При продвижении металла от исходного состояния до усталостного разрушения (в конце срока службы) величина коэрцитивной силы H_c возрастает на сотни процентов (!) от некоторого исходного состояния H_{c_0} до соответствующего предельного состояния $H_c^{В}$. При этом величины H_{c_0} и $H_c^{В}$ оказались своеобразными новыми граничными физическими константами для каждой марки металла или ее модификации. Эта замечательная особенность позволяет по текущим значениям коэрцитивной силы металла $H_c^{текущ.}$ довольно точно оценить действительный отработанный ресурс по степени отдаления $H_c^{текущ.}$ от начального граничного состояния H_{c_0} и также эффективно выполнить прогноз остаточного ресурса по степени и скорости приближения $H_c^{текущ.}$ к граничной предельной величине-константе $H_c^{В}$, т.е. по реальному текущему физическому состоянию металла. В процессе обобщения практики диагностических коэрцитиметрических измерений созданы простые в работе автономные, портативные коэрцитиметры-структуроскопы серии КРМ-Ц с приставным преобразователем, фактически не требующие зачистки металла, нечувствительные к шероховатостям и кривизне поверхности, работающие через слой защитного покрытия порядка 6 мм и более. При этом измерения можно выполнять по металлу с температурой от любых природных отрицательных до горячих поверхностей в

* Статья на правах рекламы

сотни градусов. А должным образом подготовленным прибором можно работать в воде.

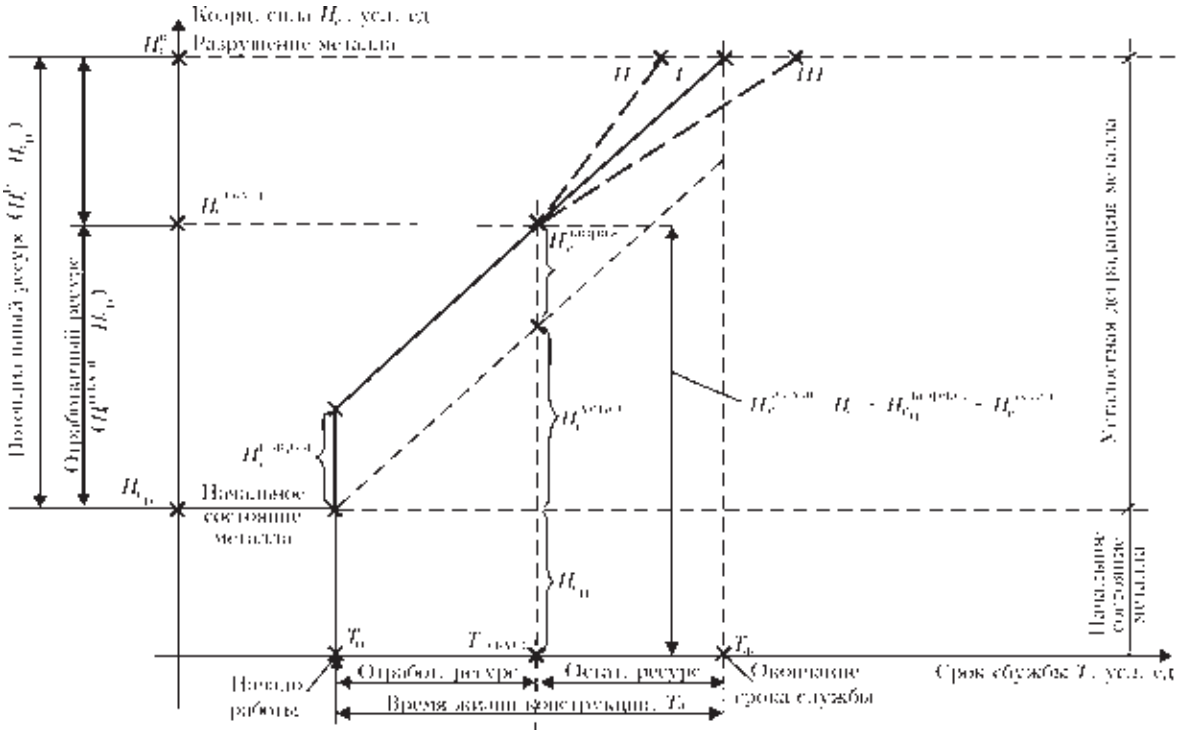
Почти 30-летняя практика коэрцитиметрического усталостного контроля конструкций и оборудования в совокупности с многочисленными разнообразными стендовыми испытаниями образцов позволяет сегодня уже структурировать, представлявшуюся до сих пор целостной, величину измеряемой коэрцитивной силы как совокупность составляющих, каждая из которых по-своему меняется в процессе срока службы в зависимости от сочетания эксплуатационных факторов и в зависимости от интенсивности усугубляющего влияния каждого из этих воздействий. Это улучшает понимание текущего состояния диагностируемого объекта, конкретизирует главенствующие факторы – причины этого состояния. А также делает еще более точным и изящным коэрцитиметрический эксплуатационный прогноз на последующую стадию срока службы. Зная весомость факторов деградации, мы учитываем в прогнозе не только совокупную динамику ухудшения механических свойств металла, но и действенность, и динамику отдельных причин усталостной деградации.

Текущее значение величины коэрцитивной силы $H_c^{\text{текущ.}}$ можно условно представить суммой нескольких основных составляющих. Это исходная величина H_{c0}, зависящая от химического и фазового состава, а также структурного состояния металла. И две компоненты, зависящие, соответственно, от величины внутренних напряжений $H_c^{\text{напряж.}}$ и от уровня накопленной необратимой микроповрежденности металла в процессе его деградации по усталостному типу $H_c^{\text{устал.}}$:

$$H_{c0} \le H_c^{\text{текущ.}} = (H_{c0} + H_c^{\text{напряж.}} + H_c^{\text{устал.}}) \le H_c^{\text{В}}. \quad (1)$$

Это выражение по сути описывает область определения значений коэрцитивной силы данной марки металла $[H_{c0}, H_c^{\text{В}}]$. На рисунке показано, как изменяются составляющие $H_c^{\text{текущ.}}$ в процессе срока службы.

Величина H_{c0} является физически наименьшей из тех значений H_c, которые природно могут быть у металла данной марки. В первом приближении можно считать, что в процессе срока службы составляющая H_{c0} остается неизменной. Составляющая $H_c^{\text{напряж.}}$ зависит от совокупности эксплуатационных нагрузок, собственных конструкционных нагрузок и монтажных напряжений, а также фазовой нестабильности металла в процессе службы. При устоявшемся режиме работы эта компонента у правильно спроектированной в прочностном плане конструкции колеблется около некоторого установившегося уровня в пределах упругих (обратимых) деформаций. Величина $H_c^{\text{устал.}}$ нарастает от нулевого значения в процессе нормативной эксплуатации в течение всего срока службы неуклонно и постоянно, чаще линейно как результат постоянно



Усталостная деградация металла в течение срока службы в коэрцитиметрическом отображении

накапливающейся усталостной микроповрежденности металла. Больше, чем $H_c^{В}$, величина коэрцитивной силы $H_c^{текущ.}$ у данной марки металла быть не может. Это физическая предельная константа, соответствующая разрушению металла. Она своя для каждой марки металла, равно как и минимальное (исходное) значение $H_{c_0} = H_{c_{min}}^{текущ.}$. Разность $\Delta H_c^{потенц.} = H_c^{В} - H_{c_0}$ характеризует начальный (потенциальный) ресурс. В течение жизни конструкции $T_ж$ величина $H_c^{текущ.}$ в зонах концентрации напряжений увеличивается от минимального своего значения H_{c_0} до максимального $H_c^{В}$. Этот рост $H_c^{текущ.}$ происходит за счет появления составляющих $H_c^{напряж.}$ и $H_c^{устал.}$, а также непрерывного эксплуатационного роста последней. Слагаемое $H_c^{напряж.}$ отображает упругие (обратимые) изменения в металле на фоне непрерывно накапливающейся усталостной поврежденности.

По мере накопления пластических деформаций и микроповрежденности металла составляющая $H_c^{устал.}$ растет до своего возможного гипотетического наибольшего значения $H_c^{устал.}{}_{max} = \Delta H_c^{потенц.} = H_c^{В} - H_{c_0}$. Такое значение параметр $H_c^{устал.}$ принимает в полностью разгруженном металле с максимальным уровнем накопленной микроповрежденности во всем его объеме, но при отсутствии напряжений в нем. Такой и совсем не виртуальный металл не способен выдерживать даже незначительные механические нагрузки, и, что важно, при этом он безупречен для любого современного дефектоскопического метода, так как поврежден на микроуровне, неподконтрольном дефектоскопии.

В результате такого коэрцитиметрического отображения усталостных процессов в течение срока службы металла реализуется возможность технического диагностирования металла по его реальному текущему состоянию, а не по результатам теоретического расчета прочности, который всегда есть и будет в разной степени субъективно-абстрактным, поскольку отображает только относительный уровень наших знаний из области теоретической механики, механики разрушения и сопротивления материалов. В величину $H_c^{текущ.}$ вносит свой вклад магнитный момент каждого атома контролируемого металла в зависимости от его состояния, определяемого текущей нагруженностью и накопленной усталостью. Поэтому из всех НК-методов коэрцитиметрия более адекватно отображает механическое состояние металла реальной конструкции. И поправки в текущие прочностные расчеты, сделанные на основе коэрцитиметрической оценки состояния металла, сделают такие расчеты более адекватными его реальным механическим свойствам.

При этом важно понимать, что значения $H_c^{текущ.}$, превышающие величину $H_c^{Т}$, вовсе не означают, что в конструкции действуют напряжения выше предела текучести. Как следует из выражения (1) и особенно из рисунка, в таких зонах могут быть практически нулевые напряжения. Но при высоком уровне накопленной усталостной поврежденности эксперт всегда получит здесь высокие значения $H_c^{текущ.}$ (причем необратимого характера) даже при гипотетически нулевых внутренних напряжениях в металле за счет составляющей $H_c^{устал.}$. Металл, $H_c^{текущ.}$ которого почти равно $H_c^{В}$, способен разрушиться при напряжениях в нем много меньших его предела текучести $\sigma^{Т}$, как это видно из (1) и как это следует из современных представлений механики разрушения и усталости металлов, потому что его основа − кристаллическая решетка − в значительной мере повреждена или изменена усталостными микродефектами.

Обобщенное аналитическое представление зарождения, развития, накопления усталостных изменений металла в коэрцитиметрическом отображении наглядно иллюстрируется его графической аналогией на рисунке. В момент времени начала срока службы T_0 величина коэрцитивной силы минимальна и равна H_{c_0}. В этот момент появляются эксплуатационные нагрузки, дающие прирост, обозначенный как $H_c^{напряж.}$. Одновременно начинаются необратимые усталостные изменения $H_c^{устал.}$. Измерения текущей величины коэрцитивной силы $H_c^{текущ.}$ в некоторой промежуточной точке срока службы $T_ж$ представляются выражением (1), как $H_c^{текущ}(T) = H_{c_0} + H_c^{напряж.}(T) + H_c^{устал.}(T)$, что хорошо видно из рисунка. Если режим нагружения с какого-то промежуточного момента $T_{текущ.}$ останется прежним, то и дальнейшая деградация по усталостному типу будет продолжаться с имевшейся до этого интенсивностью по типу I. При более тяжелом режиме – по типу II, и по типу III – при менее тяжелом режиме нагружения. Графическое линейное представление усталостной

диаграммы $H_c(T)$ на рисунке, включая разновидности II и III – достаточно условно, но это эффективнее, чем все, что имеется до сих пор в практическом контроле усталости. Если проводить в течение срока службы систематический периодический мониторинг, то вид характеристики $H_c(T)$ будет существенно ближе к реальному в сравнении с принятым на рисунке линейным приближением.

Соответственно уточнится и прогноз остаточного ресурса. Если же разместить на контролируемом объекте систему датчиков коэрцитиметрического мониторинга металла в зонах концентрации напряжений, то погрешность прогнозирования остаточного ресурса будет минимально возможная (с позиций вероятностного статистического оценивания). Из рисунка хорошо видно, как скорость накопления усталостных изменений в металле влияет на срок службы. И как знание предыдущей скорости деградации в момент времени $T_{\text{текущ.}}$ позволяет выполнить прогноз остаточного ресурса по фактическому состоянию металла на этот момент, а не по абстрактным расчетным соображениям. Металл с величиной коэрцитивной силы, равной H_{c_0} всегда можно найти в ненагружаемой части конструкции, а с величиной $H_c^{\text{В}}$ – в зонах с признаками усталостного разрушения или на образце металла, нагруженном на стенде растяжением до предела прочности.

Уточним также, что коэрцитиметрическое отображение усталости безоговорочно эффективно для режимов эксплуатации, характерных для малоцикловой и статической усталости. Многоцикловая усталость сквозь призму МКС оценивается столь же очевидно только на конечной стадии, а все предыдущие ее фазы классифицируются этим методом по несколько иным критериям, что требует отдельного обсуждения.

Простота аналитического (1) и графического (рисунок) представлений зарождения и развития усталости металла в течение срока службы в коэрцитиметрическом отображении является еще одним практическим достоинством для пользователей. В то же время физическая глубина этих представлений объективно бесконечна, но основные проявления проверены практической диагностикой многих типов объектов в течение нескольких десятилетий. А также большим объемом стендовых испытаний многих образцов конструкционных марок сталей широкого и специального назначения. Эти две стороны целостной коэрцитиметрической трактовки процесса деградации металла по усталостному типу – только начальный, но эффективный и хорошо проверенный шаг в постановке усталостного контроля на широком практическом уровне как неотъемлемой, а в будущем, и главенствующей составляющей технической диагностики.

Современная техническая диагностика и неразрушающий контроль вместо декларируемой оценки работоспособности собственно металла, в действительности занимаются оценкой уровня отдельно взятых эксплуатационных факторов. Тогда как текущее состояние металла зависит от совокупности всего множества усугубляющих эксплуатационных воздействий.

Из всего набора параметров и методов контроля состояния металла коэрцитивная сила сегодня по своей физической сути представляется наиболее обобщающим интегральным параметром оценки именно совокупной поврежденности металла на микроуровне, т. е. диагностические возможности этого параметра существенно шире усталостного контроля. Поэтому дальнейшая и растущая востребованность коэрцитиметрии объективна и обещает только развитие понимания текущего состояния металла, но никак не его консервацию на очередном уровне.

Более подробно см. сайт www.snr-ndt.com.

Г. Я. Безлюдько, Б. Е. Попов, Р. Н. Соломаха
ООО «Специальные Научные Разработки»

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЭНЕРГОАУДИТА*

В настоящее время во всем мире уделяется значительное внимание рачительному использованию топливно-энергетических запасов, происходит переход к новым технологиям производства энергии и созданию конструкций с повышенными параметрами энергоэффективности.

Вследствие усложнения технологий и конструкций, а также прогрессирующей изношенности основных фондов увеличивается количество техногенных аварий и катастроф. При этом более 60 % из них происходит из-за отклонения их технических характеристик или режимов функционирования от штатных значений.

Реализация задач увеличения энергоэффективности сводится к созданию развитой системы проведения энергетического аудита объектов, использующих топливно-энергетические ресурсы, и выдаче рекомендаций о способах их экономии. Без знаний о реальном техническом состоянии объекта, его инструментального обследования сделать какие-то выводы о его энергоэффективности невозможно.

Формальный подход к проведению энергоаудита и составлению энергетических паспортов на основе только проектных данных, без выезда на объект выхолащивает саму идею экономии ресурсов. Россия столкнулась с этой проблемой в силу того, что в законодательных актах не была прописана система строгого контроля за результатами обследований и требования к квалификации специалистов, которые их проводят.

Качество диагностики в общем случае определяется следующими основными составляющими: изучением объекта контроля, процессов его функционирования; наличием современной приборно-аппаратной базы; применением корректных технологий инструментального контроля, обеспечивающих получение информационного параметра, по которому судят о качестве объекта и его энергоэффективности с заданной точностью; проведением работ квалифицированным персоналом, что позволяет использовать преимущества современных приборов, технологий контроля.

Основным методом неразрушающего контроля (НК) для инструментального энергоаудита является тепловой. Он позволяет выбрать оптимальные температурные нагрузки функционирования объектов, выявить и определить степень опасности дефектных узлов по признакам их перегрева по отношению к качественным зонам, определить утечки тепла через ограждающие конструкции зданий и сосоружений, оценить теплопотери через них и т.п.

Тепловой контроль (ТК) объектов проводится при эксплуатационных нагрузках, экологически безопасен, дает наглядные результаты и поэтому позволяет решать большое количество поставленных практикой задач в области технического диагностирования и оценки энергоэфективности конструкций. ТК основан на регистрации и анализе температурных (тепловых) полей контролируемых поверхностей, где информацию о параметрах объекта несет температура, значения которой в основном определяются изменением теплофизических, геометрических характеристик и параметров нагрузки.

Полученные в результате контроля матрицы температур сравнивают с эталонными для соответствующих участков, полученных экспериментально или расчетом, и по разности измеренных значений соответствующих элементов матриц (или одноименных координат) определяют дефектные области на поверхности контролируемого объекта.

Определение технического состояния и обнаружение дефектных участков объекта осуществляется путем сравнения значений эталонной температурной матрицы $T_э(x, y)$ и реальных значений температуры контролируемой поверхности $T_p\ (x_i, y_m, t_j)$ в моменты времени t_j:

$$F_j = \sum_{i=1}^{n}\sum_{m=1}^{k}(T_э\ (x_i, y_m) - T_p\ (x, y, t_j))^2 = \begin{cases} < \delta - \text{тех. состояние в норме,} \\ > \delta - \text{есть дефект.} \end{cases}$$

Здесь k, n – соответственно размер матрицы и максимальное количество элементов разложения кадра тепловизионного изображения; F_j – функционал невязки (квадрат величины среднеквадратичного отклонения); δ – величина критерия качества.

ТК может применяться как первичный метод оценки технического состояния зданий и сооружений, технических устройств, дающий информацию о зонах температурных напряжений на поверхности функционирующего объекта, более подробный анализ которых в последующем может быть проведен другими методами НК.

В рамках энергетических обследований проводится контроль систем электроснабжения, тепло- и водоснабжения, водоотведения, вентиляции и кондиционирования воздуха, теплозащиты ограждающих конструкций. Это электро- и теплофи-

* Статья на правах рекламы

кационное оборудование, дымовые трубы, трубопроводы и т.д.

ТК является основным инструментальным методом оценки текущего состояния объекта энергоаудита и на базе его результатов возможны рекомендации о теплотехнических характеристик объектов.

На рис. 1 приведены отдельные термограммы офисного здания, дающие ясное представление о дефектах светопрозрачных конструкций и низкого сопротивления теплопередаче стен.

При проведении инструментального энергоаудита с применением теплового контроля необходимо решить следующие задачи:

1. Выбрать оптимальную аппаратуру контроля.
2. Разработать технологию обследования или использовать стандартную, если таковая имеется.
3. Убедиться, что контроль проводится квалифицированным персоналом.

В таблице рассмотрены основные типы современных тепловизоров по группам, в зависимости от их технических характеристик (рассмотрено свыше 110 модификаций). Наиболее востребованы переходные модели, которые отвечают минимальным требованиям к контролю как по техническим характеристикам, так и по стоимостным.

Зачастую из финансовых соображений энергоаудиторскими фирмами приобретаются тепловизоры самых низких характеристик (тип показывающие), которые не позволяют проводить корректный контроль крупногабаритных объектов, высотных зданий, дымовых труб, продуктопроводов, электрооборудования и т.п., что в конечно итоге сказывается на качестве и информативности отчетов, достоверности результатов и выводов.

Существующие технологии теплового контроля имеют большой резерв с точки повышения достоверности, информативности, расширения области применения, в т.ч. за счет применения математического моделирования, оперативного уточнения и адаптации режимов контроля, совершенствования параметров аппаратных средств применительно к решаемым задачам контроля, совершенствования процесса организации контроля и т.п.

Что касается технологий проведения энергоаудита – разработка и реализация их в России отдана в саморегулируемые организации (СРО). Но большинство из них не имеет в своем штате специалистов высшей квалификации по инструментальному контролю, которые могут разрабатывать методики, поэтому существует некоторый технологический «вакуум» в области энергетических обследований объектов.

Необходим новый подход к решению задач проведения энергоаудита, как технологической части, так и обучению и оценке квалификации специалистов.

Энергетическое обследование крупного промышленного предприятия – это серьезная исследовательская работа. Для того, чтобы заказчик аудита получил понятные и эффективные рекомендации, необходимо сопоставить экономическую выгоду от предлагаемых мероприятий и сумму затрат на проведение работ. В противном случае – энергоаудит становится просто формальной процедурой, стоящей, кстати, немалых денег.

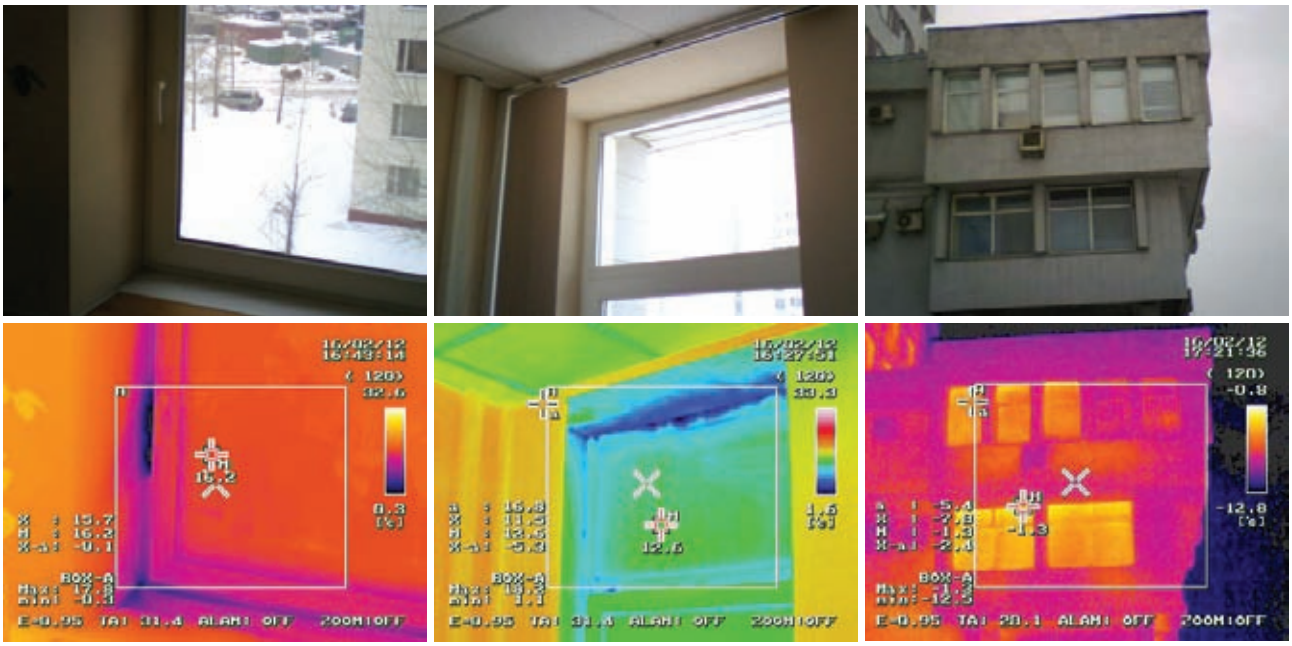
Как показано на рис. 2, улучшение качества работ в области энергоаудита невозможно без наличия системы обучения и оценки квалификации специалистов, а также повышения уровня ответственности фирм, производящих эти услуги и компетентности надзорных органов, их признающие.

Спецификой ТК является то обстоятельство, что его объекты — действующее оборудование, находящееся под нагрузками, эксплуатирующиеся здания и сооружения. При этом обследуемую конструкцию нельзя принести в испытательную лабораторию, сложно, а зачастую и невозможно создать эталонные образцы с известными дефектами, диагностику нужно проводить в натурных условиях, применять комплексные технологии контроля с использованием бесконтактных, контактных измерений и расчетных моделей теплопередачи для получения корректных результатов контроля. С учетом этих особенностей должен формироваться учебный курс по тепловому контролю для подготовки энергоаудиторов.

Слушателей таких курсов прежде всего интересуют вопросы технологии контроля различных объектов, получение информации о нормативно-правовой и методической базе его применения в рамках действующих законодательных актов, а

Технические характеристики тепловизоров

Характеристики \ Тип тепловизора	Показывающие	Переходные	Профессиональные	Высокого разрешения
Температурная чувствительность	0,1 °С	0,05÷ 0,1 °С	0,03÷0,08 °С	0,02÷0,08 °С
Пространствнное разрешение	2,2 ÷ 3,5 мрад	1,1 ÷ 2,5 мрад	1,0 ÷ 1,3 мрад	0,6 ÷ 0,65 мрад
Размер матрицы приемника излучения	макс. 160×120 пикселей	320×240	320×240 384×288	640×480 и выше
Диапазон измеряемых температур	–20…+350°С	–20…+500 °С	–40…+500 °С	–40…+500 °С (до 2000 °С)
Масса	0,3… 0,8 кг	около 1 кг	1…2 кг	2…3 кг
Стоимость	До 300 тыс. руб.	300...800 тыс. руб.	800...1500 тыс. руб.	1300...2500 тыс. руб.



а *б* *в*

Рис. 1. Фотографии и термограммы офисного помещения: *а*, *б* – дефектные уплотнители светопрозрачных конструкций; *в* – под окнами повышенные температуры в области расположения отопительных приборов

Рис. 2. Сравнительная схема проведения энергоаудита и экспертизы промышленной безопасности промышленных объектов.

также критерии признания технической компетентности испытательных лабораторий.

В силу того, что в области ТК большинства объектов отсутствуют нормативные технологические документы по проведению контроля, оценке уровня дефектности, определению пороговых правил и выдаче заключений по результатам диагностики важное значение имеет разработка квалифицированными специалистами методической и нормативной документации по инструментальному энергоаудиту, которая требует своей реализации.

Абрамова Е. В., Быстрова Н. А., Будадин О. Н., Галкин Д. И., Франц Э. Б., Лизунов О. Н.

ФГАУ «НУЦ «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н. Э. Баумана
www.sertink.ru

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ — НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ»

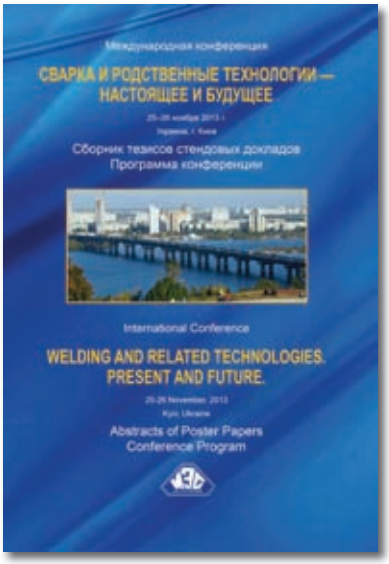
25–26 ноября 2013 г. в Киеве в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины прошла представительная Международная конференция «Сварка и родственные технологии – настоящее и будущее», организованная Национальной академией наук Украины и Институтом электросварки. В ней приняли участие свыше 200 человек – представителей академических и отраслевых НИИ, научных, проектно-конструкторских и инженерных центров, промышленных предприятий и учебных университетов, руководители и менеджеры бизнес-структур и др. В числе участников конференции свыше 34 представителя из стран дальнего (Австрии, Болгарии, Великобритании, Германии, Индии, КНР, Польши, Словакии, США, Франции, Японии) и ближнего (Беларусь, Грузия, Казахстан, Россия) зарубежья.

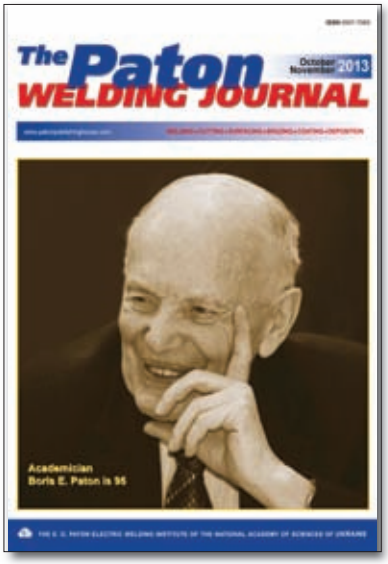
Среди почетных гостей конференции были президент АН Республики Саха (Якутия), чл.-кор. РАН М. П. Лебедев, президент Российского научно-технического сварочного общества проф. О. И. Стеклов, президент сварочного общества Украины В. Г. Фартушный, президент общества сварщиков Беларуси проф. Л. С. Денисов.

На конференции 25-го и в первой половине 26-го ноября были заслушаны и обсуждены на пленарных заседаниях 23 заказных доклада, представленных учеными из многих стран мира о последних наиболее важных научных достижениях в области сварки, наплавки, пайки, прочности, новых материалов, неразрушающего контроля и технической диагностики, оценки остаточного ресурса сварных конструкций, инженерии поверхности, специальной электрометаллургии, а также перспектив развития этих направлений. Доклады вызвали большой интерес участников конференции и часто сопровождались вопросами к докладчикам.

Выступление зам. директора ИЭС им. Е. О. Патона академика НАНУ Л. М. Лобанова

К началу работы конференции пленарные доклады были изданы в виде отдельных выпусков журналов «Автоматическая сварка» и «The Paton Welding Journal» 10–11, 2013 г., а тезисы стендовых докладов в виде сборника. С содержанием журналов и сборника можно ознакомиться на сайте издательства ИЭС им. Е. О. Патона (www.patonpublishinghouse.com).





Издания материалов конференции

Участники конференции

Ниже тезисно представлены пленарные доклады конференции.

Исследования и разработки ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ для современной энергетики, *Б. Е. Патон*, ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины (докладчик Л. М. Лобанов).

В докладе представлены разработки института для энергетики, в частности, технологии сварки крупногабаритных роторов турбин, электронно-лучевой сварки заготовок большой толщины из высокопрочных сталей, сварки под флюсом и контактной сварки пульсирующим оплавлением труб для магистральных газопроводов большого диаметра, технология и оборудование для создания энергосберегающих теплообменных устройств. Отмечены разработки, направленные на повышение коррозионной стойкости твэлов и безопасной эксплуатации АЭС. Представлены практические рекомендации по ремонту магистральных трубопроводов без вывода их из эксплуатации, а также результаты исследований, показавшие возможность применения акустической эмиссии для мониторинга сварных конструкций, работающих при высоких температурах.

Стратегические направления развития конструкционных материалов и технологий их переработки для авиационных двигателей настоящего и будущего, *Е. Н. Каблов, О. Г. Оспенникова, Б. С. Ломберг,* ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов», РФ.

В докладе определены стратегические направления развития материалов и технологий их переработки для основных деталей ГТД нового поколения на период до 2030 г. Изложены современные тенденции развития литейных и деформируемых жаропрочных сплавов, в том числе интерметаллидных на основе никеля и титана. Приведены характеристики установленного в «ВИАМ» нового вакуумного оборудования для выплавки жаропрочных сплавов и деформации высокотемпературных материалов в условиях изотермии на воздухе, а также результаты разработок в области ионно-плазменного нанесения защитных жаростойких, упрочняющих и теплозащитных покрытий на лопатки и другие детали ГТД и создания нового поколения плазмохимического оборудования. Разработана технология получения широкого спектра сверхчистых ультрадисперсных порошков методом атомизации для вакуумной диффузионной пайки и аддитивных технологий.

Комплексное аддитивное производство на основе технологий сварки и соединений, *Гуань Цяо,* Пекинский институт авиационных технологий, Китай.

Занимающий лидирующее положение в области научных исследований и технических раз-

работок в области нетрадиционных технологий сварки в Китае, Пекинский институт авиационных технологий (BAMTRI) участвует в ряде исследовательских программ, относящихся к комплексному аддитивному производству на основе технологий сварки и соединения. Эти исследовательские программы и проекты обеспечивают авиационной промышленности высокое быстродействие в отношении проектирования и опытного производства новой продукции.

Основанный в 1957 г., BAMTRI является комплексным исследовательским институтом, специализирующимся на научных исследованиях в области передовых авиационных промышленных технологий и разработке соответствующего оборудования, а также на внедрении их в промышленное производство. На основе новейших достижений института в сфере электроннолучевых, лазерных, плазменных и ионных технологий обработки, в 1993 г. в BAMTRI была создана Национальная ключевая лаборатория лучевых процессов.

Сварка, соединение и обработка силовыми пучками, а также сварка и соединение в твердой фазе – два основных направления научных исследований и технических разработок, проводимых в BAMTRI для решения «уникальных» и «критических» проблем современной авиационной промышленности, а также формирования технической основы для комплексного аддитивного производства, что способствует созданию перспективных технологий и соответствующего оборудования для авиационных предприятий Китая.

Сварные или клеевые соединения — является ли это вопросом будущего?, *Райсген У., Шлезер М.,* Институт сварки и соединений, Германия.

Современные легкие конструкции выполняют из самых различных материалов. Соединение этих материалов требует применения различных методов, в основном сварки и соединения склеиванием. В данной работе рассматриваются преимущества обоих методов, и описаны возможности совместного применения сварки и склеивания.

Последние достижения в сварке трением с перемешиванием, *Де[1] А., Диброй[2] Т.,* [1]Институт технологий Индии, [2]Университет Пенсильвании, США.

Сварка трением с перемешиванием – это относительно новый процесс сварки, в области которого продолжаются комплексные исследования для улучшения его понимания. Процесс используется в промышленном масштабе для алюминия и других мягких сплавов. Однако его промышленное применение для сварки твердых сплавов требует разработки экономичного и долговечного инструмента. В данной работе рассмотрены последние достижения в области численного моделирования теплообмена и текучести материалов, при этом основное внимание уделяется оптимизации размеров инструмента и выбору режимов сварки для обеспечения его максимальной долговечности.

Инновационные технологии в области конструкционных сталей и их сварки, *И. В. Горынин*, ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей». РФ.

Рассмотрена ретроспектива сотрудничества ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» с ИЭС им. Е. О.Патона в области создания особо надежных металлических материалов и промышленных технологий для специальной техники, разработки покрытых электродов, агломерированных флюсов, порошковых проволок, сварочных технологий и оборудования. Отмечен единый подход к разработкам технологии металлургии и сварки с конечной целью обеспечения высокой эксплуатационной надежности создаваемых на основе новых материалов для современных конструкций. Перечислены совместные работы по оценке сопротивления материалов хрупким разрушениям, развитию методов оценки циклического ресурса сварных конструкций, совершенствованию методик сертификационных испытаний металла.

Сварка сегодня и завтра, *Пилярчик Я., Земан В.,* Институт сварки, Гливице, Польша.

Описаны изменения в польском сварочном производстве, которые произошли в течение последних 20 лет: в области прав собственности производителей сварочного оборудования и материалов, инвестиций, влияния свободного рынка, важности знаний и увеличения собственных потенциальных возможностей людей. Эти факторы позволили приблизить уровень развития сварочного производства в Польше к мировому уровню.

Привлечение и подготовка руководящего персонала в области сварки и пайки, *Коул Н., Вебер Дж., Пфарр М., Хернандез Д.*, Американское сварочное общество, США.

Нехватка сварщиков и специалистов в области сварки ощущается в глобальном масштабе, и эта проблема усугубляется по мере того, как из профессии уходят квалифицированные и образованные работники. Для решения этой проблемы во многих странах активно разрабатываются программы по улучшению имиджа сварки, а также по подготовке и обучению персонала. Виртуальная сварка с использованием компьютерного моделирования является одним из методов ознакомления молодежи со сваркой и стимулирования интереса молодых людей к сварке. Некоторые компании используют виртуальных сварщиков или сварочные тренажеры для тестирования или даже

базовой подготовки новых работников. Женщины составляют 50 % населения, и, тем не менее, очень немногие из них выбирают сварку. У нас есть хорошие модели для подражания по многим направлениям сварки, которые представлены в данной работе. Если человек интересуется сваркой, его необходимо соответствующим образом подготовить и обучить. Weld-Ed – это программа, используемая в США. Она включает:

1) модельный курс обучения на 2 года для колледжей;

2) программу для усовершенствования квалификации инструкторов;

3) метод, направленный на создание сотрудничества между промышленностью и школами и колледжами, предлагающими необходимую квалификацию и знание имеющихся специальностей.

Новая технология используется в нескольких странах по-разному для улучшения подготовки и образования. В докладе представлены несколько видов технологии, включая обучение в режиме онлайн, а также с применением электронных устройств. Подтверждением полученных профессиональных навыков является усвоение Программы сертификации. Сварочная наука и технология нуждаются в подающих надежды молодых людях для решения национальных и глобальных проблем. От них зависит наше будущее, конструкции и инфраструктура.

Основы технологии электроконтактного спекания наноструктурированных металлополимерных покрытий триботехнического назначения, *Ю. М. Плескачевский*[1], *В. А. Ковтун*[2], [1] Гомельский филиал НАН Беларуси, [2] Гомельский инженерный ин-т Мин-ва по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь.

Представлены модельно-теоретические подходы к оптимизации структурно-технологических условий электроконтактного спекания металлополимерных покрытий.

Показано, что применение методов компьютерного моделирования зон формирования порошковых композиционных материалов на принципах мезомеханического подхода с использованием структурных моделей, адаптированных к широкому диапазону значений технологических параметров и свойствам исходных компонентов порошковой системы, позволяет устанавливать закономерности влияния технологических факторов и структурных особенностей, а также характеристик исходных компонентов дисперсных порошковых систем на процессы структурообразования спеченных слоев. При этом определяющее значение имеет учет локального воздействия тепловых факторов и внутренних напряжений, возникающих в процессе формирования покрытий.

Неразрушающий контроль конструкционной целостности элементов резервуара, *Димлай*[1] *В., Мудж*[1] *П., Джексон*[2] *П., Тат-Хин Ган*[1], *Суа*[1] *С.*, [1]Британский институт сварки, [2]Plant Integrity Ltd., Великобритания.

Большие наземные резервуары, заполненные углеводородами и другими жидкостями и химикатами, широко используются в Великобритании, Европе и во всем мире. Резервуарные парки обычно расположены в прибрежных районах вблизи крупных населенных центров. Утечка из резервуаров, в частности, в результате разрушения коррозией их донной части, является серьезной экологической и экономической проблемой и представляет собой значительную угрозу для людей, живущих вблизи резервуарных парков. Имеющийся и растущий риск разрушения резервуаров вместе с потенциальным риском пожара и взрыва на расположенных вблизи нефтехимических предприятиях абсолютно недопустим.

В докладе рассмотрены работы, проводимые в рамках проекта контроля целостности резервуаров при Комитете технологической стратегии Великобритании (TIM) по контролю конструкционной целостности днищ крупных наземных резервуаров для хранения жидкостей, не требующему доступа к внутренней части резервуара или его освобождения от содержимого, с использованием ультразвуковых направленных волн (UGW) в качестве метода неразрушающего контроля. Разработана система контроля конструкционной целостности для накопления данных по ультразвуковым направленным волнам в течение длительного периода времени.

Исследовали характеристики постоянных прикрепляемых датчиков и системы контроля конструкционной целостности, чтобы продемонстрировать их надежность. Распространение направляемых волновых сигналов проверено экспериментально на днище резервуара диаметром 4 м, для обнаружения и определения расположения дефектов разработана система формирования томографических изображений.

Расчетное моделирование и экспериментальные исследования процессов переплава, *Жарди А.,* Институт Жана Ламура, Франция.

Численное моделирование процессов переплава позволяет объединить локальные условия кристаллизации и рабочие параметры процесса. Рассмотрены последние исследования, направленные на разработку отдельных аспектов, например, распределение переменного тока при ЭШП сталей и сверхпрочных сплавов, совокупное движение дуги в печи ВДП и влияние электромагнитного

перемешивания на макросегрегацию в переплавленных слитках.

Тенденции развития сварки в Австрии, *Энзингер Н., Соммитч К.,* Институт исследования материалов и сварки, Австрия.

Фирмы и научно-исследовательские институты Австрии сотрудничают в области финансируемых научных проектов в рамках австрийской системы перспективных проектов COMET K-project JOIN4+. Проект JOIN4+ имеет бюджет 6,6 миллионов Евро. Денежное покрытие обеспечивается всеми научными партнерами, австрийским правительством и соответствующими провинциями. В настоящее время рассматривается восемь различных проектов в двух областях. В докладе описана ситуация с финансированием и представлены некоторые результаты.

Перспективные технологии создания высоконадежных изделий из конструкционных сталей для базовых отраслей промышленности, *А. В. Дуб*, ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», РФ.

Рассмотрены основные элементы новых комплексных технологий, обеспечивающих эффективное получение материалов с новым уровнем свойств. Отмечена перспективность создания новых систем легирования конструкционных материалов для машиностроения с управлением их первичной кристаллической структурой, механизмами упрочнения, сопротивления хрупким разрушениям.

Микросварка алюминиевых сплавов пульсирующим лазером Nd:YAG и непрерывным диодным лазером, *Окамото[1] Я., Накашиба[2] С., Сакагава[2] Т., Окада[1] А.* [1]Высшая школа естественных наук и технологий университета Окаямы, Япония; [2]Лаборатория исследования лазерных технологий Корпорации Катаока, Япония.

Сочетание импульсного Nd:YAG лазера с диодным лазером, генерирующим в непрерывном режиме, может обеспечить высококачественную микросварку алюминиевого сплава. Излучение импульсного Nd:YAG лазера эффективно поглощается с самого начала лазерного сканирования посредством предварительного нагрева импульса Nd:YAG лазера с наложением непрерывного диодного лазера. При этом можно получить широкий и глубокий валик шва, отличающийся улучшенной целостностью поверхности.

Анализ и выбор сварочных технологий при строительстве магистральных трубопроводов большого диаметра, М. Белоев[1], В. И. Хоменко[2], С. И. Кучук-Яценко[3], [1]KZU Holding Group. Болгария, [2]ЗАО «Псковэлектросвар». РФ, [3]ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины.

Рассмотрены достоинства и недостатки различных технологий соединения труб, применяемых при строительстве магистральных трубопроводов. Отмечены преимущества контактной сварки оплавлением по сравнению с дуговым, лучевым и гибридным способами сварки.

Регулирование остаточных сварочных напряжений: измерения, анализ усталости, упрочняющие обработки, *Кудрявцев Ю., Клейман Я.,* Structural Integrity Technologies Inc., Канада.

Регулирование остаточных напряжений выражается концепцией, согласно которой для достижения оптимальных эксплуатационных характеристик сварных конструкций экспериментально или теоретически рассматриваются и оцениваются три основных этапа процесса: определение остаточных напряжений, анализ усталости при наличии остаточных напряжений и благоприятное распределение остаточных напряжений.

В работе рассмотрены все три этапа, а также ряд новых инженерных инструментов, таких как ультразвуковой компьютеризированный комплекс для измерения остаточных напряжений UltraMARS, программное обеспечение для анализа влияния остаточных напряжений на усталостную прочность сварных элементов ReSIsT, новая технология, а также на ее основе компактная система для благоприятного распределения остаточных напряжений, обеспечиваемого ультразвуковой ударной обработкой UltraPeen.

Приведены примеры промышленного применения разработанных инженерных инструментов для анализа остаточных напряжений и повышения усталостной прочности сварных элементов.

Сварка, резка и термическая обработка живых тканей, *Б. Е. Патон, И. В. Кривцун, Г. С. Маринский, И. Ю. Худецкий, Ю. Н. Ланкин, А. В. Чернец*, ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины.

Представлены результаты исследований и разработок ИЭС им. Е. О. Патона в области высокочастотной сварки и родственных технологий для соединения, коагуляции, резки и термической обработки живых тканей, а также рассмотрены вопросы создания специализированного оборудования и инструментов для реализации указанных процессов.

Описан опыт применения разработанных технологий и оборудования в практической хирургии, свидетельствующий об их высокой востребованности – на сегодня освоено более 150 различных хирургических методик и успешно выполнено свыше 100 тыс. хирургических операций в самых разных областях хирургии.

Представлены данные исследований особенностей реструктуризации живых тканей и обра-

зования сварного соединения при воздействии проходящего через них высокочастотного тока. На основе полученных экспериментальных и клинических данных продемонстрирована возможность ткани, подвергнутой действию высокочастотной сварки, поддерживать свою жизнеспособность, восстанавливать физиологические свойства и функции за счет процессов регенерации.

Представлены материалы исследований процесса высокочастотной сварки мягких биологических тканей с автоматическим регулированием, обеспечивающим гарантированное получение сварного соединения в широком диапазоне свойств свариваемой ткани. Рассмотрены перспективы дальнейшего развития технологий и оборудования для высокочастотной сварки и термической обработки живых тканей как за счет дальнейшего расширения хирургических сфер использования, так и за счет создания новых многофункциональных аппаратов, сочетающих процессы высокочастотной сварки и конвекционно-инфракрасной обработки живых тканей, в том числе автономных мобильных аппаратов.

На конференции были также представлены пленарные доклады, которые не вошли в сборник трудов конференции.

– «Компьютеризированные технологии и их влияние в обучении сварке», *С. Кайтель, С. Аренс, Г. Молл,* Учебный центр, Галле, Германия;

– «Микро-, макро-, и мегамасштабный структурный анализ сварных компонентов с помощью цифрового моделирования и их экспериментальной проверки в Японии», *М. Мочизуки,* Университет Осаки, Япония;

– «Дуговая сварка в среде защитных газов легких алюминиевых конструкций», *Р. Винклер*, Институт сварки и соединений, Германия; «Применение энергии взрыва в сварке, родственных процессах и технологиях», *В. И. Лысак*, Волгоградский гос. тех. ун-т, РФ;

– «Перспективы разработки и практического применения импульсных технологий сварки и наплавки для повышения эксплуатационной надежности металлоконструкций ответственного назначения, предназначенных для работы в условиях Крайнего Севера и Арктики», *Ю. Н. Сараев*[1], *В. А. Лебедев*[2], *С. Ю. Максимов*[2], [1]Юргинский технический университет, РФ, [2]ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины;

– «Производство разнородных соединений сплавов магния со сталью и алюминием», *Х. Алалус*, Инновационный центр Штайнбайса, Германия.

Во второй половине дня 26 ноября в читальном зале Института электросварки были представлены для ознакомления 185 стендовых докладов. Экспозиция включала следующие разделы:

– технологии, материалы и оборудование для сварки и родственных технологий (76 докладов);

– прочность сварных соединений и конструкций, теоретические и экспериментальные исследования напряженно-деформированных состояний и их регулирования (44 доклада);

– неразрушающий контроль и техническая диагностика (16 докладов);

– инженерия поверхности (36 докладов);

– специальнаяэ лектрометаллургия (13 докладов);

– проблемы сварки в медицине, экология, аттестация и стандартизация сварочного производства (10 докладов).

В период работы конференции состоялся ряд двухсторонних переговоров, направленных на кооперацию и укрепление сотрудничества, подписано Соглашение о сотрудничестве между Обществом сварщиков Украины и Российским научно-техническим сварочным обществом.

А. Т. Зельниченко, В. Н. Липодаев
Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАНУ

Международная конференция «Неразрушающий контроль 2014»
13-15 мая, Киев, Пуща-Водица

Конференция приурочена к 10-летию «УкрНИИНК»

Организатор — Ассоциация «ОКО» при поддержке и участии «Ультракон-Сервис», «Промприлад», «УкрНИИНК», Украинского общества неразрушающего контроля и технической диагностики, Института электросварки им. Е. О. Патона НАНУ, НАЭК «Энергоатом», Укрзализныця, АНТК им.Антонова и других организаций.

В программе конференции планируется заседание секций:

- Неразрушающий контроль как важный элемент обеспечения безопасности на железных дорогах
- Автоматизированный контроль в различных отраслях промышленности
- Неразрушающие методы контроля в авиастроении и техническом обслуживании
- Новейшие технологии неразрушающего контроля, применяемые в области энергетики

Тел./факс: (044) 531-37-27, 531-37-26; e-mail: ndt2014@gmail.com, www.ndt.com.ua

КАЛЕНДАРЬ ВЫСТАВОК И КОНФЕРЕНЦИЙ ПО НК В 2014 г.

Дата	Место проведения	Мероприятие
18–20 февраля	Москва/Россия	13-я Международная выставка «Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности»
24–28 февраля	Свалява, Карпаты/ Украина	Международный научно-технический семинар «Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте»
03–06 марта	Москва/Россия	20-я Всероссийская Научно-техническая конференция по неразрушающему контролю и технической диагностике
09–13 марта	Сан Антонио/США	Международная конференция и выставка «Corrosion-2014»
01–03 апреля	Киев/Украина	Международная специализированная выставка «Киевская техническая ярмарка»
13–15 мая	Киев/Украина	Международная конференция-выставка «Неразрушающий контроль 2014»
06–10 июня	Прага/Чехия	11-я Европейская конференция по неразрушающему контролю ECNDT 2014
11–13 июня	Львов/Украина	Международная конференция «Коррозия-2014»
22–26 сентября	Ялта/Украина	Международная конференция «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных технологиях»
29 сентября– 03 октября	Ялта/Украина	Международная научно-практическая конференция «Качество, стандартизация, контроль: теория и практика»
Конец сентября – начало октября	Киев/Украина	Научная конференция «80 лет ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины»
29 сентября– 03 октября	Брно/Чехия	Международная машиностроительная выставка MSV-2014
07–10 октября	Москва/Россия	14-я Международная выставка сварочных материалов, оборудования и технологий
Ноябрь	Киев/Украина	Международный промышленный форум с разделом «Укрсварка»
25–27 ноября	Екатеринбург/Россия	Выставка «Сварка. Контроль и диагностика»

Подписку на журнал «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» можно оформить непосредственно через редакцию или по каталогам подписных агентств «Пресса», «Идея», «Прессцентр», «Информнаука», «Блицинформ», «Меркурий» (Украина) и «Роспечать», «Пресса России» (Россия).

Подписка на электронную версию журнала
«Техническая диагностика и неразрушающий контроль»
на сайте: www.patonpublishinghouse.com.
Правила для авторов: www.patonpublishinghouse.com/rus/journals/tdnk/rules
Лицензионное соглашение: www.patonpublishinghouse.com/rus/journals/tdnk/license
В 2014 г. в открытом доступе архивы статей журнала за 2003–2012 гг.

Подписано к печати 30.01.2014. Формат 60×84/8. Офсетная печать.
Усл. печ. л. 9,04. Усл.-отт. 9,89. Уч.-изд. л. 10,24 + 6 цв. вклейки.
Печать ООО «Фирма «Эссе».
03142, г. Киев, просп. Акад. Вернадского, 34/1.