



## СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ СВАРКИ И ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ

Академик **Б. Е. ПАТОН** (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Представлен ряд разработок, выполненных в последние годы ИЭС им. Е. О. Патона. В частности, гибридные способы сварки, активация процессов в сварочной ванне микродозами химических элементов, электродуговая сварка закладным электродом, установки для контактной и электронно-лучевой сварки, новые припои и флюс для пайки, разработанные новые конструкционные материалы. Отмечено, что существенно возросла доля конструкций сооружений и оборудования, приближающихся к своему критическому возрасту. В этой связи актуальной является проблема достоверной оценки остаточного ресурса конструкций с привлечением средств неразрушающего контроля и технической диагностики. Рассмотрены технология и инструмент для сварки живых тканей.

*Ключевые слова:* сварные конструкции, новые процессы сварки, гибридная сварка, активация, контактная сварка, электронно-лучевая сварка и переплав, пайка, титан, остаточный ресурс, техническая диагностика, акустическая эмиссия, ширография, сварка живых тканей

Непрерывный рост наукоемкости сварочного производства способствует повышению качества продукции, ее эффективности и конкурентоспособности. Сегодня сварка применяется для неразъемного соединения широчайшей гаммы металлических, неметаллических и композиционных конструкционных материалов в обычных условиях земной атмосферы, Мировом океане и космосе. Объемы производства сварных конструкций во всем мире составляют сотни миллионов тонн.

Несмотря на непрерывно увеличивающееся применение в сварных конструкциях и изделиях легких сплавов, полимерных материалов, композитов, основным конструкционным материалом по-прежнему остается сталь. Мировые производители реально опровергли прогнозы футурологов о замене стали альтернативными материалами. Металлурги пока уверенно выигрывают конкурентную борьбу на рынке конструкционных материалов благодаря созданию и выпуску новых марок сталей (в первую очередь высокопрочных) и революционному изменению производственных процессов. Мировое производство и потребление стали, несмотря на отдельные спады, неуклонно растет. Так, если в

1995 г. было произведено 750 млн т, то по прогнозу Международного института стали к 2005 г. мировое производство стали превысит 900 млн т.

Известно, что до 70 % мирового потребления металлопроката приходится на производство сварных изделий, конструкций и сооружений. Это обусловлено тем, что сварные металлоконструкции благодаря хорошей способности к рециклингу сохраняют перспективы для широкого применения в ближайшем будущем. Отмеченные особенности определяют общую положительную тенденцию роста мирового производства сварных конструкций, динамичного развития мирового и региональных рынков сварочной техники, а также объемов научных исследований и разработок по совершенствованию сварки и родственных технологий.

Широкий комплекс работ в области сварки и прочности конструкций выполняет Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины. В последние годы сформировалось новое направление в создании наукоемких технологий — гибридные способы сварки. Предложен новый способ сварки алюминиевых сплавов малых толщин, заключающийся в одновременном использовании лазерного пучка и микроплазменной дуги, горящей в режиме разнополярных импульсов тока. Совместное воздействие на металл двух источников тепла дает возможность существенно повысить эффективность использования энергии каждого из

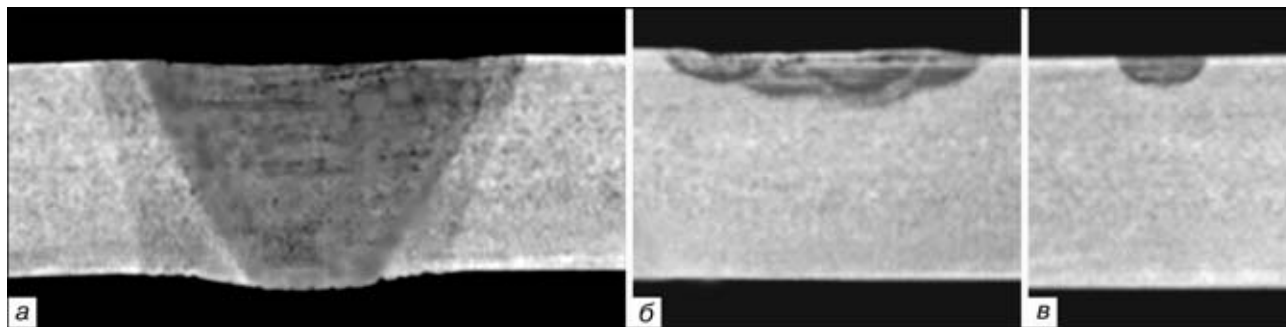


Рис. 1. Проплавление металла при гибридной (а), микроплазменной (б) и лазерной (в) сварке алюминиевого сплава АМгЗ



Рис. 2. Стыковое соединение рельсов из стали типа Р-65, выполненное электродуговой сваркой закладным электродом

них. В результате эффективность использования мощности микроплазменной дуги может возрастать с 50 (при обычной микроплазменной сварке) до 75 % (в гибридном процессе).

При гибридной сварке без присадки алюминиевого сплава АМг3 толщиной 3 мм и скорости 0,25 м/мин полное проплавление образца достигается при мощности лазера 1,2 кВт и токе дуги 35 А. Глубина проплавления при микроплазменной и лазерной сварке на тех же режимах составляет соответственно 0,7 и 0,4 мм. Площадь поперечного сечения шва при гибридной сварке в 4 раза превосходит сумму соответствующих площадей при лазерной и микроплазменной сварке (рис. 1).

Одним из перспективных направлений развития сварки является активация микродозами химических элементов и их соединений процессов в сварочной ванне и дуге, горящей в инертных газах. Достигнутый уровень понимания природы явления активации в настоящее время позволяет использовать его для повышения эффективности и со-

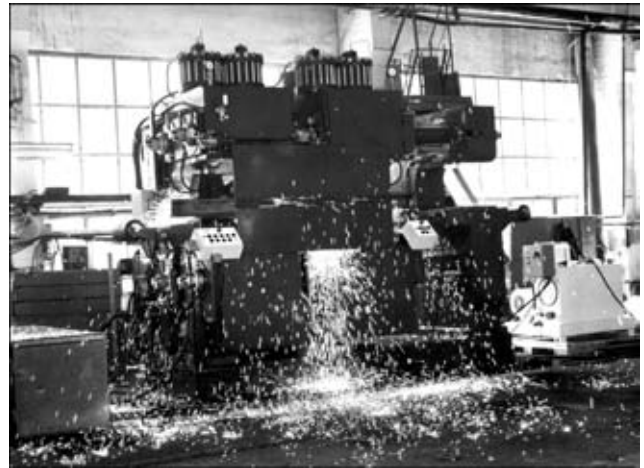


Рис. 3. Машина для контактной сварки рельсов железнодорожных крестовин

вершенствования плазменной и дуговой сварки плавящимся электродом. Исследования показали, что глубина проплавления при этом возрастает соответственно в 2 и 4 раза, т. е. активация создает предпосылки для осуществления сварки в инертных газах на пониженных погонных энергиях.

Для соединения деталей больших толщин разработан новый процесс электродуговой сварки с использованием специального закладного электрода, предварительно введенного в узкий зазор между свариваемыми деталями и покрытого тонким слоем (около 1 мм) изолирующего покрытия. Сварку выполняют в вертикальном положении за один проход. При этом не требуется применения устройств, обеспечивающих перемещение электрической дуги. Последняя движется самостоятельно по торцу плоского электрода в пределах всей ширины зазора, обеспечивая необходимое проплавление кромок. На рис. 2 показан стык на рельсах, выполненный этим способом. Сварка закладным электродом выполняется в автоматическом режиме, по сравнению с другими способами сварки толстого металла она имеет ряд преимуществ, в частности, возможность сварки в монтажных условиях и труднодоступных местах с обеспечением высокой производительности.

Контактная сварка оплавлением относится к числу наиболее эффективных способов соединения металлов. Это направление продолжает успешно развиваться и его возможности далеко не исчерпаны. Разработана новая разновидность способа сварки непрерывным оплавлением, получившая название сварки пульсирующим оплавлением. Этот процесс, запатентованный в ведущих странах мира, позволяет значительно улучшить показатели контактной стыковой сварки и расширить области ее применения. В частности, представляется возможным в 2...3 раза уменьшить время сварки, снизить потери металла и потребляемую мощность. При этом достигается высокотемпературный нагрев металла, необходимый при сварке высокопрочных сталей и сплавов. Реализация нового спо-



Рис. 4. Общий вид компьютеризированной установки КЛ-115 для электронно-лучевой сварки крупногабаритных изделий

соба обеспечена благодаря разработке систем управления процессом сварки с использованием современных средств автоматизации и вычислительной техники. Такие системы позволяют осуществлять не только многофакторное автоматическое управление процессом сварки, но и одновременно диагностировать качество соединений. На основе нового способа разработаны технологии соединения высокопрочных рельсов, разнородных материалов, в частности, соединений стали Гадфильда с рельсовой сталью, инструментальных сталей, заготовок проката с большой площадью поперечного сечения. Разработаны новые поколения машин для контактной сварки рельсов, железнодорожных крестовин (рис. 3), проката. Серийный выпуск такого оборудования освоен на Каховском заводе электросварочного оборудования, экспортирующем эти машины во многие страны мира.

Активно развивается электронно-лучевая сварка: совершенствуется оборудование и разрабатываются новые технологические приемы и решения. Главным направлением совершенствования оборудования является реализация возможности электронно-лучевой сварки изделий пространственно сложной формы благодаря компьютерному управлению всеми подсистемами установки и ходом технологического процесса.

В созданной электронно-лучевой сварочной установке КЛ-115 (рис. 4) осуществляется компьютерное управление перемещением пушки по семи осям: по трем линейным осям, поворотом и вращением пушки по двум осям, поворотом и вращением манипулятора изделия. Одновременно можно управлять перемещениями по любым четырем осям и всеми параметрами режима, что позволяет осуществлять сварку изделий практически любой пространственной конфигурации. В процессе сварки с помощью вторично-эмиссионной системы слежения «Растр» исключается уход пучка от стыка вследствие тепловых деформаций изделия.

Овладение процессом импульсного воздействия электронного луча на сварочную ванну дало возможность существенно улучшить форму швов. В частности, в результате применения продольной пилообразной развертки луча получены соединения стали толщиной 60 мм в нижнем положении с шириной расплавленной зоны около 1 мм и коэффициентом формы шва 40 (рис. 5). По сравнению с проплавлением статическим лучом коэффициент формы шва увеличен более чем в 2 раза. На несквозных швах получено благоприятное для предотвращения корневых дефектов закругление в корне шва (радиус 0,5 мм). Следует отметить, что эти швы практически не уступают по своей геометрии швам, выполненным на оборудовании с ускоряющим напряжением 150 кВ.

Разработанные технология и оборудование дают возможность с помощью электронного луча создавать конструкции различного назначения, как например, заготовки для крыла пассажирского самолета из высокопрочного алюминиевого сплава (рис. 6).

В связи с непрерывно увеличивающимся многообразием сочетаний трудносвариваемых разнород-

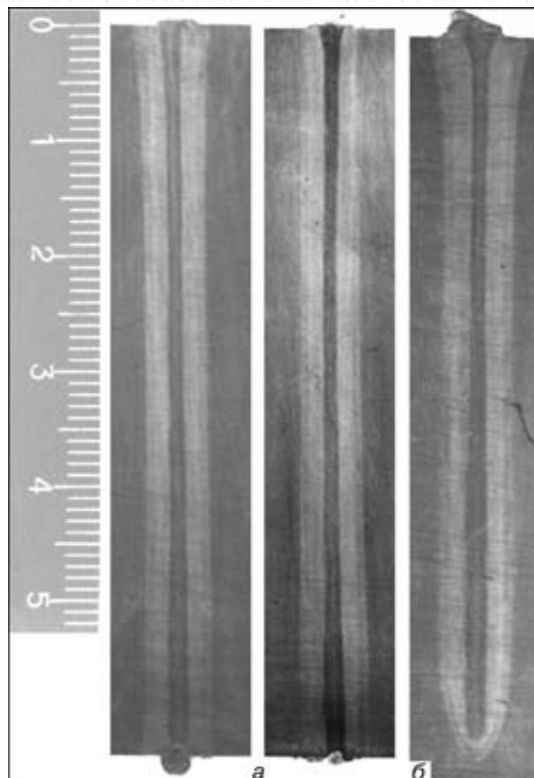


Рис. 5. Швы со сквозным (а) и несквозным (б) проплавлением на стали в нижнем положении ( $U_{\text{уск}} = 60$  кВ,  $I_{\text{н}} = 235$  мА,  $v_{\text{св}} = 18$  м/ч, пилообразная развертка луча специальной формы)

ных материалов уделяется большое внимание фундаментальным и прикладным исследованиям в области пайки. Разработаны новые припои для высокотемпературной пайки высоколегированных никелевых сплавов (например, на основе системы Ni-Cr-Zr). Они имеют новый качественный уровень по сравнению с традиционными и позволяют значительно расширить объем применения конструкционной и ремонтной пайки в современном двигателестроении.

Большой шаг сделан в направлении создания пропоев и технологии пайки сплавов на основе интерметаллидов, в частности,  $\gamma$ -TiAl — альтернативы высоколегированным никелевым сплавам. Со-

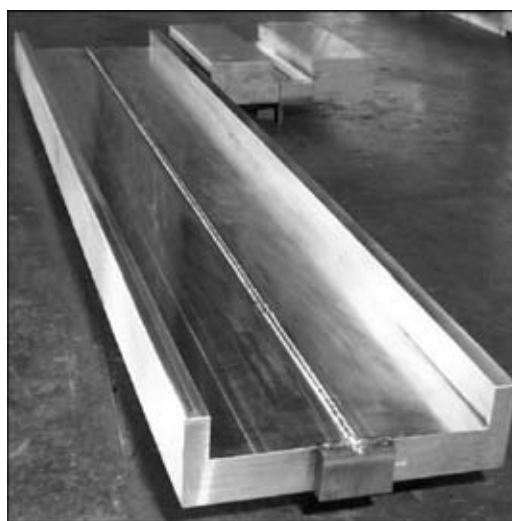


Рис. 6. Заготовка для крыла пассажирского самолета из высокопрочного алюминиевого сплава толщиной 100 мм, выполненная электронным лучом



**Прочностные свойства интерметаллидного сплава  $\gamma$ -TiAl и его паяных соединений с применением припоя системы Ti-Zr**

Объект исследования, материал	Прочность, МПа			
	при комнатной температуре	при 700 °С	Длительная при $T = 700$ °С	
			нагрузка 140 МПа	нагрузка 200 МПа
Сплав $\gamma$ -TiAl	650...700	320...350	—	—
Паяное соединение	650...690	280...315	500 ч	300 ч

\* Образец не разрушился.

единения, полученные с использованием разработанных припоев, близки к прочности основного материала при комнатной и высокой (700 °С) температурах, а также при испытании на длительную прочность (таблица).

Создан новый флюс для пайки алюминия. Его отличительной чертой является то, что пайка может проводиться без припоя, который образуется вследствие реакции компонентов флюса с алюминием. Новый флюс — хорошая основа для создания высокоэффективных технологий серийного производства алюминиевых радиаторов, излучающих антенн и других изделий различного назначения.

Рациональное использование новых конструкционных материалов с высокими показателями механических свойств позволяет эффективно решать проблемы снижения металлоемкости, повышения надежности и долговечности сварных конструкций. Для изготовления конструкций строительных сооружений созданы высокопрочные экономнолегированные стали марок 06Г2Б и 09Г2СЮч с пределом текучести более 440 МПа и пределом прочности 590 МПа, с высоким сопротивлением слоистому разрушению и высокой хладостойкостью при температурах до -70 °С, что установлено на образцах с острым надрезом типа Шарпи ( $KCV 150... 300$  Дж/см<sup>2</sup>). Под воздействием термических циклов сварки в достаточно широком диапазоне скоростей охлаждения формируются высокие показатели прочности, пластичности и хладостойкости металла ЗТВ этих сталей. Установлено, что для снижения вероятности замедленного разрушения соединений сталей 06Г2Б и 09Г2СЮч условия их сварки должны выбираться таким образом, чтобы содержание диффузионного водорода в наплавленном металле  $[H]_{диф} < 10$  мл/100 г, а скорость охлаждения металла ЗТВ —  $w_{6/5} < 30$  °С/с.

Алюминий и его сплавы по объемам производства и потребления занимают второе место после стали. Все более широкое применение находят высокопрочные алюминиево-литиевые сплавы, сплавы с предельно высоким легированием, а также сплавы, которые содержат в своем составе эффективные модификаторы — скандий, цирконий и другие для одновременного улучшения свариваемости материалов и механических свойств сварных соединений.

Расширение областей применения алюминиевых сплавов в сварных конструкциях зависит от обеспечения требуемого сопротивления соединений усталостным разрушениям. Циклическая долговеч-

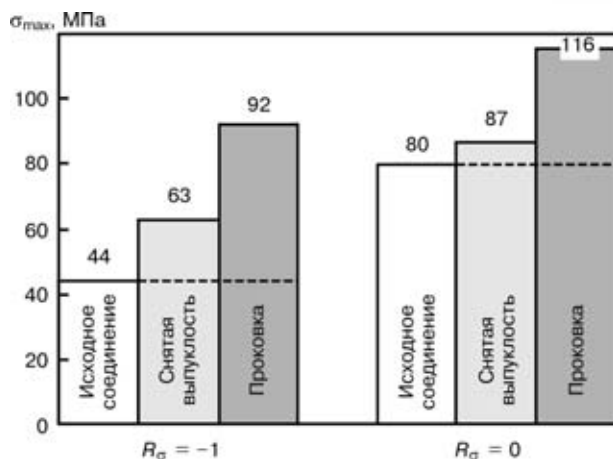


Рис. 7. Изменение значений предела ограниченной выносливости  $\sigma_{max}$  при  $N = 1 \cdot 10^7$  циклов в зависимости от способа обработки сварного соединения сплава АМг6 и асимметрии цикла  $R_s$  переменных напряжений

ность сварных соединений алюминиевых сплавов составляет около 40 % соответствующего показателя соединений конструкционных сталей. Поэтому сварные алюминиевые конструкции в большей степени, чем стальные, нуждаются в послесварочной обработке. Исследования показали, что эффективным способом послесварочной обработки сварных соединений алюминиевых сплавов может стать поверхностное пластическое деформирование зоны перехода от шва к основному металлу высокочастотной механической проковкой. Иллюстрацией к этому служат приведенные на рис. 7 результаты усталостных испытаний стыковых сварных соединений алюминиевого сплава АМг6 в исходном состоянии, после механической зачистки выпуклости и после высокочастотной механической проковки с применением технологического оборудования сравнительно небольшой потребляемой мощности (до 0,3 кВт) с пьезокерамическим преобразователем. Повышение сопротивления усталости стыкового соединения алюминиевого сплава АМг6 после обработки по сравнению с исходным состоянием в зависимости от асимметрии цикла составило 45... 100 %.

Ведутся работы по созданию новых конструкционных хорошо свариваемых титановых сплавов для аэрокосмической техники, химического машиностроения, медицины и др. Создан опытный сплав Т-110 (Ti-5,5Al-1,2Mo-1,2V4Nb-1,8Fe), который по уровню прочности не уступает известному сплаву ВТ22, но обладает хорошей свариваемостью как дуговым, так и электронно-лучевым способами сварки. Сварные соединения сплава Т-110 после термической обработки имеют удовлетворительные характеристики пластичности при уровне прочности не менее 95 % этого показателя основного металла (1100 МПа), а долговечность сварных соединений при нагрузке 600 МПа составляет  $5 \cdot 10^5$  циклов.

Стойкость в агрессивных средах является одной из важнейших характеристик титана, определяющих его широкое применение в химическом машиностроении. Наиболее высокая коррозионная стойкость у технического титана и его сплавов с палладием. Однако прочность этих сплавов не пре-



вышает 500 МПа. Коррозионная стойкость высокопрочных промышленных титановых сплавов уступает этому показателю технического титана.

Исследования показали, что повысить прочность титана без снижения его коррозионной стойкости можно, если в качестве легирующих элементов использовать изоморфные  $\beta$ -стабилизаторы, в частности, молибден, ванадий, ниобий. На этой основе разработан титановый сплав системы Ti-4,5Al-2,5V-2,5Mo-3,5Nb-1,5Zr. Прочность сплава (950 МПа) почти в 2 раза превышает прочность технического титана, а его коррозионная стойкость под напряжением не уступает этому показателю технического титана.

Теоретические и экспериментальные исследования в области химически чистых галогенидных флюсов для сварки титана и сплавов на его основе легли в основу создания принципиально новых (применительно к титану) способов сварки. К ним относится автоматическая сварка плавящимся электродом под флюсом, электрошлаковая сварка титана, аргонодуговая сварка вольфрамовым электродом по слою флюса (А-ТИГ), сварка в узкий зазор магнитоуправляемой дугой.

Разработаны порошковые титановые проволоки и технологии сварки титана вольфрамовым электродом в аргоне. Этот процесс позволяет выполнять однопроходные швы без разделки кромок на титане толщиной до 16 мм. Созданы технологии механизированной сварки титана неплавящимся электродом и соответствующее оборудование для сварки в заводских и монтажных условиях. Ведутся исследования по активации металлургических процессов при ЭЛС титана с помощью соответствующих флюсов.

Созданы технологии электронно-лучевого переплава и оборудование для производства тита-

новых слитков и полуфабрикатов (рис. 8) с использованием более дешевого исходного сырья — титановой губки. Установленное в НПЦ «Титан» оборудование позволяет выпускать промышленные партии титановых слитков до 1500 т в год.

Конечным продуктом сварочного производства являются сварные конструкции. Создание надежных и долговечных конструкций, работающих в различных условиях эксплуатации, остается важнейшей научно-технической проблемой.

Сегодня существенно возросла доля конструкций, сооружений и оборудования, приближающихся к своему критическому возрасту или уже отработавших свой нормативный срок. По оценкам специалистов, исчерпание ресурса оборудования и машин в странах СНГ превышает 50 %. В сложном положении оказался целый ряд отраслей промышленности (энергетика, транспорт, нефтехимическая, химическая и др.).

В сложившихся условиях первоочередным заданием является обеспечение безопасной эксплуатации сооружений и конструкций. Поэтому исключительно актуальной является проблема достоверной оценки остаточного ресурса конструкций и его гарантированное продление. За последние годы много сделано для развития прочностных расчетов сварных конструкций, достаточно интенсивно развивались методы и аппаратура технической диагностики сварных соединений не только с целью выявления формы и размеров дефектов, но и количественной оценки деградации прочностных свойств конструкционных материалов. На основании полученных знаний найдены новые подходы к оценке ресурса конструкций. Одним из таких подходов, базирующимся на вероятностно-экономической основе, является риск-анализ. Он позволяет получить достаточно обоснованную стратегию обеспечения безопасной работы конструкции длительного срока эксплуатации, когда усложнение условий их работы идет быстрее, чем исследование и нормирование работоспособности.

Большое внимание уделяется оценке ресурса конструкций и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности, к характерным особенностям которой относится разнообразие агрессивных сред, воздействующих на оборудование, а также многообразии эксплуатационных дефектов, начиная от коррозионно-эрозионных повреждений и заканчивая деградацией служебных свойств конструкцион-

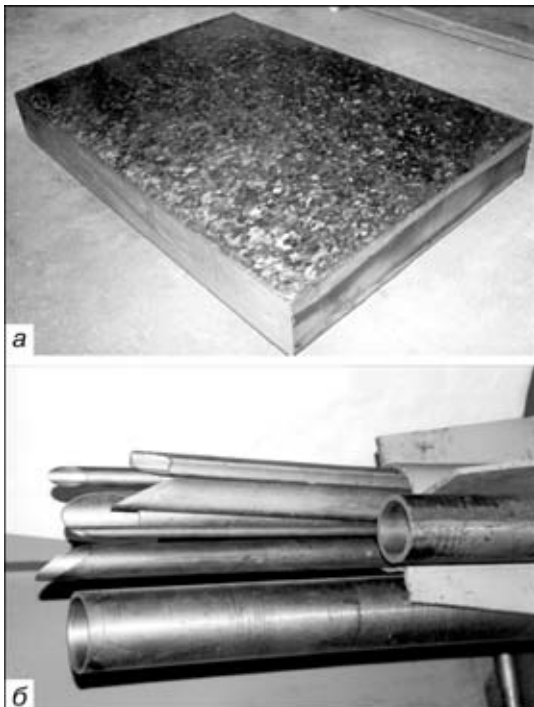


Рис. 8. Титановый слиток (а) и полуфабрикаты труб (б), полученные электронно-лучевым переплавом

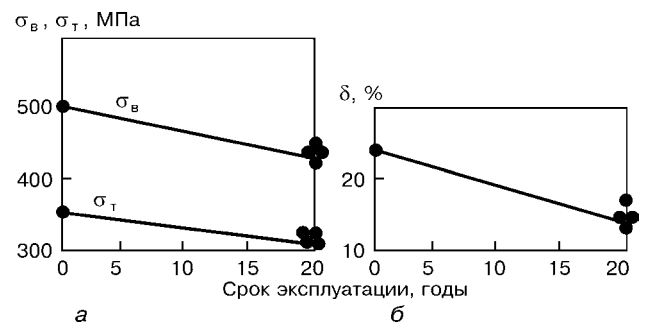


Рис. 9. Изменение прочностных свойств (а) и относительного удлинения (б) металла нефтеперерабатывающего оборудования (марки 17Г) за период эксплуатации

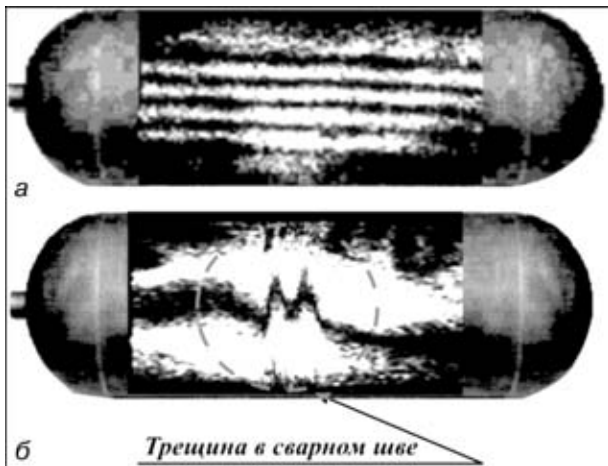


Рис. 10. Иллюстрация контроля качества сварных баллонов для сжатого газа методом электронной ширографии: *а* — изделие без дефектов; *б* — баллон с волосной трещиной в сварном шве

ных материалов. На рис. 9 приведены некоторые характерные примеры изменения прочностных характеристик металла сосудов, работающих на протяжении 20 лет в углеводородсодержащей среде. Прочностные характеристики за этот период снизились примерно на 11 %, а относительное удлинение — на 35 %. Дальнейшее развитие представлений о механизмах и скоростях развития типичных эксплуатационных дефектов и повреждений в связи с оценкой предельных состояний позволит обеспечить разработку более совершенных нормативных документов для оптимизации ремонтно-восстановительных мероприятий и повышения надежности сварных конструкций.

В настоящее время все более широкое применение находит технология акустоэмиссионной (АЭ) диагностики, основанной на анализе сигналов, возникающих при деформировании материалов конструкций. Она обеспечивает возможность эксплуатации конструкций по фактическому состоянию, минуя планово-предупредительные контрольные операции и ремонт. Широкое применение АЭ технологии объясняется возможностью осуществления 100 %-го контроля объектов сравнительно небольшим количеством датчиков и определения разрушающей нагрузки на ранних стадиях возникновения опасных ситуаций. Эти достоинства позволяют уже сейчас применять АЭ технологию для



Рис. 11. Решетчатые фермы перекрытия Международного выставочного центра в Киеве

мониторинга технического состояния конструкций в процессе эксплуатации. Например, система АЭ диагностики, установленная на Одесском припортовом заводе, призвана в течение 15 лет обеспечить непрерывный контроль 56-ю датчиками состояния изотермического хранилища аммиака, поверхность которого составляет 4500 м<sup>2</sup>.

Ведутся работы по совершенствованию систем неразрушающего контроля магистральных трубопроводов. Для задач строительства и эксплуатации магистральных нефте-, газопроводов разработан электромагнитно-акустический дефектоскоп, который успешно прошел промышленные испытания. Возбуждение ультразвуковых волн осуществляется с помощью электромагнитно-акустического преобразователя, не требующего контактной жидкости. Этот метод контроля не критичен к качеству поверхности трубы и форме валика усиления шва. Сканирование преобразователя по поверхности трубы и ввод ультразвуковых волн в разных направлениях обеспечивает идентификацию типа, размеров и расположения внутренних дефектов в сварных соединениях и в материале трубы.

Разработаны методы лазерной интерферометрии для исследования напряженно-деформированных состояний и контроля качества сварных соединений и конструкций. Созданы компактные голографические приборы, с помощью которых осуществляется диагностика конструкций из неметаллических и композиционных материалов. Развитием методов оптической голографии является метод ширографии, основанный на электронной обработке оптической информации. Важным преимуществом этого метода является бесконтактность измерений и возможность наблюдения в реальном масштабе времени картины интерференционных полос на экране дисплея, исключая какую-либо фотозапись. Методом электронной ширографии эффективно осуществляется неразрушающий контроль качества сварных баллонов для сжатого газа, используемого в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания на автотранспорте (рис. 10).

Проектировать, строить и вводить в эксплуатацию в максимально короткие сроки — такова тенденция в строительстве гражданских и промышленных объектов с применением сварных конструкций. Яркий пример — строительство в Киеве Международного выставочного центра. Характерной особенностью инженерного решения конструкций (рис. 11) является система решетчатых ферм перекрытия с непосредственным примыканием трубчатых элементов в узле пролетом 24, 35 и 54 м.

Возможностям сварки, по-видимому, нет границ. Подтверждением тому является сварка тканей живых организмов. В СССР впервые этой проблемой заинтересовался академик Г. А. Николаев применительно к сварке костей. Известны работы украинских ученых по склеиванию хирургических ран и исследования, выполненные в Корнельском университете (США).

ИЭС им. Е. О. Патона совместно с Институтом хирургии АМН и Минздрава Украины при участии на начальном этапе объединения «ОХМАДИТ»

Минздрава Украины, а позже с привлечением Главного госпиталя СБУ разработали новую медицинскую технологию соединения сваркой мягких тканей без использования ниток, металлических скоб, клеев-припоев или других инородных для организма веществ и изделий из них. Новая сварочная технология признана оригинальной, что засвидетельствовано патентами.

Установлено, что при определенных условиях можно осуществить соединение разрезов тканей в результате тепловой денатурации белков, приводящей к их коагуляции. При этом используются безопасные для организма токи высокой частоты.

Первые опыты по использованию этой технологии, проведенные на мелких лабораторных животных, подтвердили перспективность избранного направления и позволили создать образцы оборудования для дальнейших исследований. Опыты на животных были завершены сваркой разрезов различных органов у большой контрольной партии свиней с получением устойчивых положительных результатов. Это открывает возможность проверки этого способа на тканях человека. Первоначально в экспериментах использовались удаленные органы. Затем после получения положительных результатов начались постепенно усложняемые эксперименты по применению сварки непосредственно во время операций. Все это стало основанием для получения от Министерства охраны здоровья Украины разрешения на применение в клинической практике нового хирургического оборудования.

Аппарат для сварки мягких тканей состоит из источника питания и управляющего компьютера (рис. 12). Компьютер не только управляет источником питания, но и адаптирует процесс сварки к конкретным свойствам тканей соединяемых участков разреза. За прошедшие два года в двух киевских клиниках с использованием сварки было прооперировано около тысячи пациентов. Полученный опыт свидетельствует о перспективности применения сварки в общей хирургии, хирургической гинекологии, урологии, отоларингологии и других областях медицины, связанных с нарушением целостности тканей.

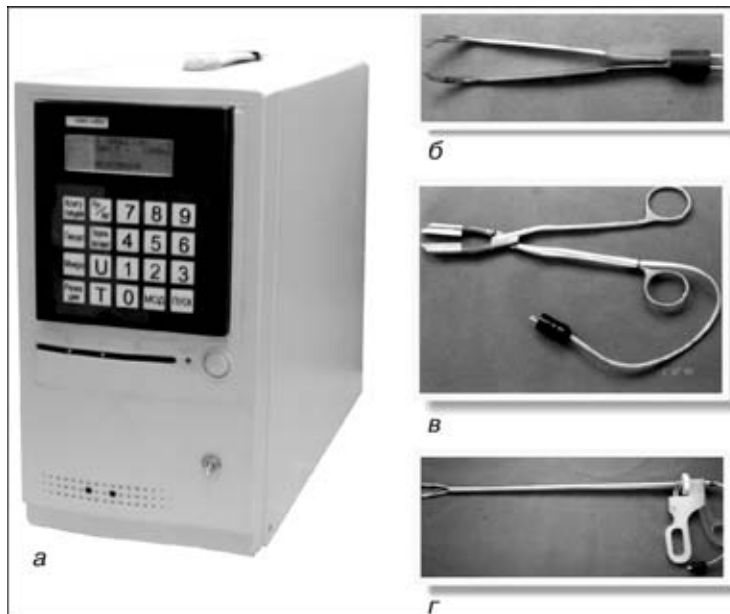


Рис. 12. Оборудование и инструмент для сварки живых тканей: а — высокочастотный сварочный источник питания; б — медицинский сварочный пинцет; в — медицинский сварочный зажим; г — медицинский сварочный лапароскопический зажим

Можно ожидать, что в дальнейшем сварка позволит создать новые хирургические приемы, изменить в лучшую сторону технику выполнения некоторых сложных операций. Впереди еще много интересных исследований в этом важном направлении. А пока нужно расширить круг клиник, в которых применяется сварка с тем, чтобы, опираясь на полученный опыт, довести экспериментальное оборудование до серийного производства и повсеместного применения.

Сварка и родственные технологии продолжают активно и всесторонне развиваться как вглубь, так и вширь. Создаются теоретические и технологические предпосылки для изготовления новых изделий в традиционных областях сварочного производства, а также для освоения все более широких сфер ее применения, которые раньше считались «экзотическими». На протяжении всего XXI века сварка и родственные технологии сохранит свою роль ведущей и массовой технологии во всех отраслях промышленного производства.

The paper presents some developments made lately by the E. O. Paton Electric Welding Institute, such as hybrid welding methods, activation of processes occurring in the weld pool under the effect of minor additions of chemicals, electric arc welding using an embedded electrode, machines for flash butt and electron beam welding, new filler alloys and fluxes for brazing, and new structural materials. It is noted that structures, constructions and equipment that approach their critical age have substantially increased in number. In this connection, the pressing problem is reliable estimation of residual life of structures using non-destructive testing and technical diagnostics methods, e.g. holography and shearography. Technology and instruments for welding of live tissues are considered.

Поступила в редакцию 11.06.2003