



зопасности в пределах $n_6 = 2...2,5$, показывает, что они достаточно хорошо согласуются.

Выводы

1. Математическое моделирование предельного состояния для стальных сосудов давления при наличии в стенке геометрических дефектов утонения требует более общих моделей для описания не только процесса деформирования (например, учет больших деформаций), но и процесса разрушения после стадии развитого пластического течения (например, порообразования).

2. Показано, что привлечение достаточно известных физических моделей порообразования при пластическом течении приводит к определенному эффекту «охрупчивания» зоны разрушения, снижая при этом достаточно заметно предельную расчетную нагрузку (на 20...70 % и более).

3. Результаты сопоставления расчетных предельных нагрузок в табл. 2 по методике данной работы с допускаемыми по работе [7] на основе обширного эксперимента показывают, что назна-

чаемый обычно при этом коэффициент безопасности $n_6 \approx 2...2,5$ вполне согласуется с данными табл. 2.

1. Романова В. А. Моделирование процессов деформации и разрушения в трехмерных структурно-неоднородных материалах: Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. — Томск, 2008. — 31 с.
2. Карзов Г. П., Марголин Б. З., Швецова В. А. Физико-механическое моделирование процессов разрушения. — С.-Пб.: Политехника, 1993. — 391 с.
3. Рыбин В. В. Большие пластические деформации и разрушение металлов. — М.: Металлургия, 1986. — 224 с.
4. Статическая прочность и механика разрушения сталей / Под ред. В. Даля и В. Антонова. — М.: Металлургиздат, 1986. — 224 с.
5. Махненко В. И. Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций. — Киев: Наук. думка, 1976. — 320 с.
6. Напружений стан в зоні дефектів стоншення тонкостінних труб / В. І. Махненко, О. А. Великоіваненко, Г. П. Розинка, Н. І. Півторак // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин / За ред. Б. Є. Патона. — К.: Ін-т електрозварювання ім. Є. О. Патона НАНУ, 2009. — С. 18–21.
7. Fitness-for-service. American Petroleum Institute. Recommended practice 579. — First ed., 2000. — 625 p.

The tough fracture models allowing for the pores forming in plastic flow either at non-metallic inclusions or in matrix from the microcracks that do not propagate by the cleavage mechanism provide for the corresponding algorithms of growth of the pores due to plastic strains and respective redistribution of the stress-strain state. At present, the interest in these models is determined by growth of the scope of prediction and expert estimates for the welded structures, based on the calculation estimation of the limiting state. In a number of cases, in view of the trend to utilisation of high-strength and sufficiently ductile materials in the welded structures, the limiting state occurs under the tough deformation conditions at the rigid stressed state, which contribute to the pore formation. As a result, fracture takes place at relatively low plastic strains, this decreasing deformability of the corresponding weldments prior to the fracture.

Поступила в редакцию 20.07.2012

РАЗРАБОТАНО В ИЭС

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛЕГКИХ СВАРНЫХ БАЛЛОНОВ

Разработана технология и изготовлена опытная партия легких сварных баллонов на расчетное рабочее давление 150 МПа с полезным объемом 5,0 л и удельной массой 0,5 кг/л. Баллон изготавливается из сварной прямошовной цилиндрической обечайки, к которой привариваются сферические днища и горловина. Для изготовления деталей баллона используется листовая сталь 25ХГСА толщиной 2,0 мм с пределом прочности после заключительной термообработки всего изделия на уровне 1200 МПа. Для обеспечения стабильности качества сварных баллонов на всех стадиях термообработки контролировалось качество ее исполнения. Баллоны испытаны по специальной программе согласно требованиям ДНАОП 000-1.07–94.

Легкие сварные баллоны предназначены для хранения различных газов под давлением.

Выполнена конструкторская разработка и опытно-промышленная проверка.



- В. И. Махненко, Е. А. Великоиваненко, В. М. Шекера и др. // Автомат. сварка. — 1998. — № 11. — С. 32–39.
6. *Игнатъева В. С., Кулахметьев Р. Р., Ларионов В. В.* Влияние остаточных напряжений на развитие усталостной трещины в области сварного стыкового шва // Там же. — 1985. — № 1. — С. 1–4.
7. *Ларионов В. П.* Электродуговая сварка конструкций в северном исполнении. — Новосибирск: Наука, 1986. — 256 с.

Fields of residual welding stresses in circumferential butt joints of the main pipelines of 520 mm diameter with 7 mm wall thickness after long-term service under the North conditions were experimentally studied. It is shown that a high level of tensile residual welding stresses is preserved in circumferential welded joints of the main gas pipelines after 40 years of service. In sites of corrugation formation the residual welding stresses may reach 87 % of base metal yield point. Residual stresses should be taken into account at calculations of residual life of circumferential welded joints on the main pipelines.

Поступила в редакцию 27.10.2012

РАЗРАБОТАНО В ИЭС

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКИ ОПЛАВЛЕНИЕМ ТРУБОПРОВОДОВ

В ИЭС разработаны технологии и оборудование для стыковой сварки непрерывным оплавлением трубопроводов диаметром от 57 до 1420 мм. С применением этих технологий сварено более 70 тыс. км газо- и нефтепроводов, в том числе в условиях Крайнего Севера России, пустынь Ирака и Туркмении. Технологии контактной стыковой сварки имеют следующие преимущества:

- высокое и стабильное качество сварных соединений, соответствующее требованиям международных стандартов;
- высокая производительность — 6... 12 стыков в час;
- сварка выполняется без вспомогательных материалов;
- для торцов труб не требуется специальная разделка под сварку;
- процесс сварки полностью автоматизирован, что обеспечивает стабильное воспроизведение заданных режимов;
- компьютеризированная система контроля режима сварки обеспечивает высокую достоверность оценки качества соединений.



8. Стрижало В. А., Новогрудский Л. С., Воробьев Е. В. Прочность материалов при криогенных температурах с учетом воздействия электромагнитных полей. — Киев: Ин-т пробл. прочности им. Г. С. Писаренко НАНУ, 2008. — 504 с.
9. Бобров В. С., Лебедин М. А. Электрические эффекты при низкотемпературной скачкообразной деформации алюминия // Физ. твердого тела. — 1989. — 31, № 6. — С. 120–124.

Influence of various discharge circuits on effectiveness of electrodynamic treatment (EDT) of aluminium alloy AMg6 and its welded joints was studied. It is established that maximum EDT effectiveness is achieved at simultaneous impact of pulsed electric current and dynamic load on the treated metal, while minimum effectiveness is achieved at the impact of just the pulsed current. Deformation wave parameters at EDT of AMg6 alloy welded joints were studied.

Поступила в редакцию 26.07.2012

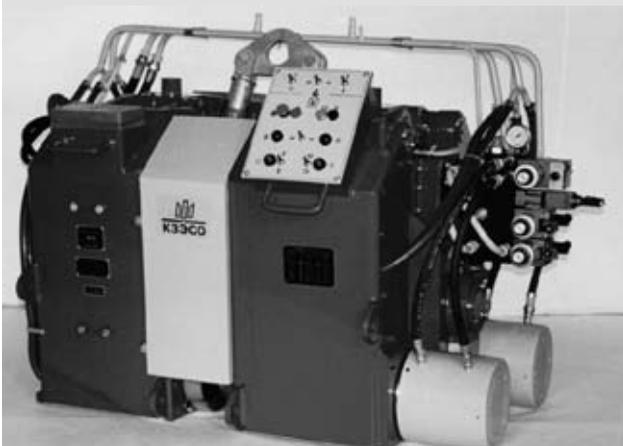
РАЗРАБОТАНО В ИЭС

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКИ ОПЛАВЛЕНИЕМ ТРУБОПРОВОДОВ

Разработана технология и оборудование для стыковой сварки оплавлением труб диаметром 114...325 мм. Процесс сварки производится в локальной камере (от воды изолируется только зона сварки). Полная автоматизация цикла сварки позволяет проводить сварочные работы без участия сварщиков-водолазов.

Технология и оборудование предназначены для автоматической стыковой сварки оплавлением труб различных категорий прочности и химического состава при строительстве трубопроводов разного назначения диаметром 57...1420 мм, в том числе при строительстве морских и подводных трубопроводов.

Серийное производство трубосварочного оборудования освоено ОАО «Каховский завод электросварочного оборудования», г. Каховка Херсонской области (Украина) и заводом «Псковэлектросвар», г. Псков Ленинградской области (Российская Федерация).



Контактная стыковая машина K813



Контактная стыковая машина K548M



Контактная стыковая машина K805



Контактная стыковая машина K700-1

1. *Металлургия* и технология сварки титана и его сплавов / С. М. Гуревич, В. Н. Замков, В. Е. Блащук и др. — 2-е изд., доп. и перераб. — Киев: Наук. думка, 1986. — 240 с.
2. *Электронно-лучевая сварка* / О. К. Назаренко, А. А. Кайдалов, С. Н. Ковбасенко и др.; под ред. Б. Е. Патона. — Киев: Наук. думка, 1987. — 255 с.
3. *Laser welding of titanium alloys* / В. Е. Paton, V. D. Shelyagin, S. V. Akhonin et al. // *The Paton Welding J.* — 2009. — № 7. — P. 30–34.
4. *Гибридная сварка* излучением CO₂-лазера и дугой плавящегося электрода в углекислом газе / В. Д. Шелягин, В. Ю. Хаскин, В. П. Гарашук и др. // *Автомат. сварка.* — 2002. — № 10. — С. 38–41.
5. *TIG or MIG arc augmented laser welding of thick mild steel plate* / J. Matsuda, A. Utsumi, M. Katsumura et al. // *Joining and Materials.* — 1988. — 1, № 1. — P. 31–34.
6. *Ottimizzazione dei parametri di saldatura ibrida laser-arco della lega di titanio Ti6Al4V* / M. Brandizzi, C. Mezzacappa, L. Tricarico, A. A. Satriano // *Riv. ital. Saldat.* — 2010. — № 2. — S. 77–85.
7. *Лазерне зварювання конструкційних титанових сплавів* / В. Ф. Топольський, С. В. Ахонін, В. Д. Шелягин та ін. // *Теорія і практика металургії.* — 2010. — № 5/6. — С. 22–27.
8. *Лазерная техника и технология.* В 7 кн. Кн. 5: *Лазерная сварка металлов: Учеб. пос. для вузов* / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов / Под ред. А. Г. Григорьянца. — М.: Высш. шк., 1988. — 207 с.

Techniques were developed, and parameters were selected for hybrid laser-arc welding of titanium alloys. It was established that hybrid laser-arc welding makes it possible to produce the joints on low and medium titanium alloys with properties that are not inferior to those of the base metal. Impact toughness of the hybrid laser-arc welded joints on high titanium alloy T110 is much higher than that of the laser welded joints.

Поступила в редакцию 19.09.2012

РАЗРАБОТАНО В ИЭС

ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ СВАРКА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ТОЛЩИНОЙ ДО 400 мм

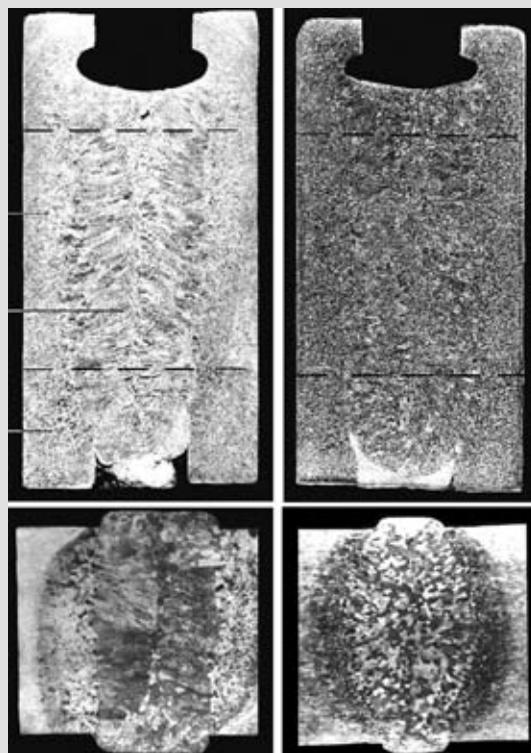
Технология предназначена для сварки деталей и узлов толщиной 40...400 мм из титана и его сплавов при выполнении стыковых, угловых и тавровых соединений.

Сварка осуществляется вертикальными швами за один проход без разделки кромок. Максимальная толщина свариваемого металла в месте стыка 400 мм при максимальной длине шва до 2 м и сварочном зазоре 22...30 мм. В зависимости от конструктивных особенностей изделий сварка может вестись с использованием проволочных электродов, плавящегося мундштука и пластинчатого электрода.

Отличительной особенностью технологии является использование электромагнитного воздействия на сварочную ванну, обеспечивающего высокое качество сварных соединений.

Преимущества:

- возможность сварки изделий толщиной до 400 мм за один проход без разделки кромок;
- высокая производительность процесса сварки;
- мелкозернистая структура металла шва без пор, шлаковых включений, несплавлений и прочих дефектов;
- простота и надежность используемого технологического оборудования.



Макрошлифы сварных соединений, выполненных без электромагнитного воздействия (слева) и с воздействием (справа)

3. Степанов В. Г., Клестов М. И. Поверхностное упрочнение корпусных конструкций. — Л.: Судостроение, 1977. — 198 с.
4. Олейник Н. В., Кычин В. П., Луговской А. Л. Поверхностное динамическое упрочнение деталей машин. — Киев: Техніка, 1984. — 151 с.
5. Коломийцев Е. В., Серенко А. Н. Экспериментальная оценка сопротивления усталости стыковых соединений низколегированных сталей в коррозионной среде // Автомат. сварка. — 1985. — № 4. — С. 49–52.
6. Коломийцев Е. В., Карпов И. В. К выбору базы испытаний корпусных сталей на коррозионную усталость // Судостроение. — 1986. — № 10. — С. 39–40.
7. Коломийцев Е. В., Серенко А. Н. Влияние ультразвуковой и лазерной обработок на сопротивление усталости стыковых сварных соединений в воздушной и коррозионной средах // Автомат. сварка. — 1990. — № 11. — С. 13–15.

Results of fatigue testing of tee-joints on stainless steel 12Kh18N10T in air and in corrosive medium are presented, and influence of surface strengthening on improvement of strength properties and fatigue life of welded elements of hydrofoil ship wing assemblies is determined.

Поступила в редакцию 04.09.2012

РАЗРАБОТАНО В ИЭС

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ ПРОКОВКА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Упрочняющая высокочастотная механическая проковка (ВМП) сварных соединений является развитием технологий поверхностного пластического деформирования металлов и применяется для повышения служебных характеристик сварных соединений конструкций различного назначения прежде всего для повышения их сопротивления усталости. Поверхностное пластическое деформирование металла при ВМП осуществляется в результате механического импульсного действия ударных элементов ручного инструмента, возбуждаемых ультразвуковым генератором.



Для упрочнения сварных соединений в целях повышения сопротивления усталости при ВМП пластическому деформированию подвергается только зона сплавления шва с основным металлом шириной 4... 7 мм.

По сравнению с другими способами поверхностного пластического деформирования сварных соединений ВМП имеет следующие преимущества: высокую производительность и экономичность; компактность и мобильность оборудования; незначительную площадь обработки (зона перехода от металла шва к основному металлу); обработку в произвольном пространственном положении; возможность прогнозирования эффективности обработки; возможность использования на стадиях производства и эксплуатации конструкций.

1. Походня И. К. Сварочные материалы: состояние и тенденции развития // Автомат. сварка. — 2003. — № 3. — С. 9–20.
2. Маковецкая О. К. Основные тенденции на рынке сварочной техники в 2008–2011 гг. и прогноз его развития // Там же. — 2012. — № 6. — С. 44–50.
3. Voitkevich V. Welding fumes: formation, properties and biological effects. — Cambridge: Abington publ., 1995. — 110 p.
4. *Металлургия дуговой сварки. Процессы в дуге и плавление электродов* / И. К. Походня, В. Н. Горпенюк, С. С. Миличенко и др.; под ред. акад. И. К. Походни. — Киев: Наук. думка, 1990. — 222 с.
5. Походня И. К., Марченко А. Е., Бейниш А. М. Высокопроизводительные электроды с железным порошком в покрытии // Автомат. сварка. — 1961. — № 10. — С. 52–68.

Presented is the dependence of the specific emissions and chemical composition of the particulate matter of welding fumes on the content of iron powder in electrode covering. Effect of the content of potassium compounds in covering of rutile electrodes on their sanitary-hygienic characteristics is considered.

Поступила в редакцию 08.10.2012

РАЗРАБОТАНО В ИЭС

ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ ШЛАКОВОЙ КОРКИ В ТРУБОСВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Разработана технология переработки отходов флюса после сварки, включающая сепарацию с последующим возвратом годного флюса в производство и изготовление из шлаковой корки флюса АН-60СМ. Технология производства флюса из шлаковой корки не предусматривает энергоемкого и экологически опасного процесса выплавки флюса в печах. Флюс изготавливается путем многостадийного дробления шлаковой корки, магнитной сепарации, россева полупродукта и сушки.

Флюс АН-60СМ по DIN 32522-81 имеет класс FMS 168 ACM SHP 53-403-40(2-16). Шлаковая основа: $\text{SiO}_2\text{-MnO-CaO-CaF}_2$. Основность (по формуле МИСа) — 0,85. Насыпная плотность — 1,3...1,8 кг/дм³. Механические свойства металла шва, сваренного под этим флюсом (СтЗ + Св08А): предел текучести — 375 МПа, временное сопротивление — 500 МПа, ударная вязкость КСЧ при +20 °С — 125 Дж/см², КСЧ при -20 °С — 40 Дж/см² (сталь 10ХСНД + Св10ГН).

Утилизация отходов флюса сварочного производства позволяет сократить количество закупки исходного флюса. Изготавливаемый из шлаковой корки флюс АН-60СМ пригоден для сварки взамен флюсов общего назначения АН-348А, ОСЦ-45, АНЦ-1 в судо-, резервуаростроении, общем и химическом машиностроении.

Флюс АН-60СМ обеспечивает стойкость металла шва против образования пор в 1,5...2 раза выше, чем флюсы типа АН-348А (содержание диффузионного водорода меньше 3 см³/100 г металла шва).

Внедрение технологии переработки шлаковой корки позволяет сэкономить до 50 % стоимости исходного флюса за счет повторного использования регенерированного флюса в производстве.

Технология производства флюсов на основе переработки шлаковой корки не требует энергоемкой, сопровождающейся вредными выбросами в атмосферу, плавки флюса в печи.

4. *Worldwide demand for welding consumables. Worldwide demand for welding machines* // Ibid. — 2009. — 13, № 47. — P. 7.
5. *General description for welding robots market* // Ibid. — 2012. — 165, № 56. — P. 6–7.
6. *US demand for welding equipment & consumables to exceed \$7 Billion (USD) in 2015*//DAILY NEWS. —2011. — Nov. 11.
7. *Occupation employment statistics. 51-4121 Welders, cutters, solders and brazers. 51-4122. Welding, soldering and brazing machine setters, operators and tenders* // U.S. Census Bureau. — <http://www.census.gov>.
8. *Lincoln Electric Holdings, Inc. 4Q 2011. Financial results conference call, Febr. 17, 2012.* — <http://www.lincolnelectric.com>.
9. *ILLINOIS TOOL WORKS INC. 2011 Annual Report.* — <http://www.itw.com>.
10. *Thermadyne Holdings Corporation. Investor presentation. Aug., 2011.* — <http://www.thermadyne.com>.

The paper presents statistical data characterising the state-of-the-art and main trends in development of the welding market in the North America.

Поступила в редакцию 03.09.2012

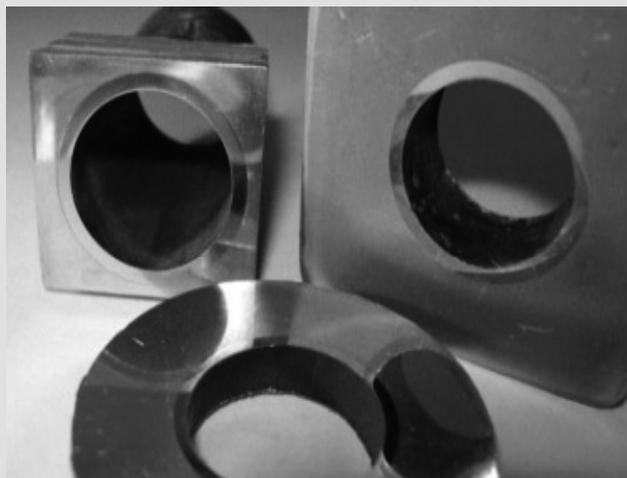
РАЗРАБОТАНО В ИЭС

ТЕХНОЛОГИЯ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предлагается оригинальный способ диффузионного соединения биметаллических теплообменных систем, а также капсулирующих блоков для микроэлектроники путем использования двух промежуточных прослоек: демпферного, нанесенного микроплазменным методом, и активатора из жидкого металла. Первый слой регулирует разницу в значениях коэффициентов температурного расширения соединяемых материалов, а второй обеспечивает адгезию их поверхностей. Оба промежуточных слоя соответствуют функциональному назначению свариваемого изделия, т. е. не препятствуют теплоотводу. Особенностью данного способа является низкий температурный режим соединения (140...250 °С). Наличие тонкого интерметаллидного слоя, который при этом образуется, исключает разъединение деталей в процессе эксплуатации изделия.

При осуществлении технологического процесса возможно одновременное соединение металлических элементов блока и закрепление внутри него компонентов микроэлектроники. С этой целью в качестве внешней оболочки микроэлектроники используют поликарбонат повышенной плотности с температурой плавления 140...200°С. Внешняя деталь теплообменного блока может быть изготовлена из различных легких сплавов с высоким коэффициентом теплопроводности: пористого алюминия, магниевых и алюминиевых сплавов с кремнием. Для обеспечения качественного крепления металлических деталей блока используют конусность внешней цилиндрической поверхности или наличие продольных пазов. Способ рекомендуется для соединения по замкнутым, цилиндрическим и сопрягающимся поверхностям.

Области применения. Изготовление сварных приборных элементов для ракетно-космической техники, кораблей, воздушного и наземного транспорта, работающих в сложных условиях эксплуатации.



Пример теплообменного блока и фрагменты диффузионного соединения разнородных металлов