



из АД1, показал, что во время процесса сварки магний из АМг6 диффундирует в АД1 на глубину 60...65 мкм. При этом скопления магния у зоны соединения АД1+ВТ6 не наблюдается (рис. 2). В приконтактной зоне АМг6 образуется участок с пониженным содержанием магния глубиной до 150 мкм. В зоне соединения АД1+ВТ6 обнаружена область диффузионного взаимодействия шириной 1,5...2 мкм (рис. 3). В этой зоне титан и ванадий из ВТ6 диффундируют в АД1 на глубину 0,5...0,8 мкм, а алюминий — в ВТ6. По нашему мнению, образование обнаруженной области диффузионного взаимодействия является основным условием получения качественного сварного соединения.

### Выводы

1. Установлено, что диффузионная сварка сплавов АМг6 с ВТ6 без применения промежуточной прослойки из алюминия не обеспечивает получение сварного соединения вследствие негативного влияния магния.

2. Применение прослойки из алюминия способствует формированию в стыке двух диффузионных зон: АМг6+АД1 и АД1+ВТ6.

3. В зоне соединения, прилегающей к сплаву АМг6, магний в процессе сварки диффундирует в направлении к прослойке из АД1. При этом в сплаве алюминия АМг6 образуется зона с пониженным содержанием магния.

4. В зоне соединения, прилегающей к сплаву ВТ6, наблюдается диффузия ванадия и титана в направлении к прослойке из АД1.

1. Каракозов Э. С. Соединение металлов в твердой фазе. — М.: Металлургия, 1976. — 264 с.
2. Казаков Н. Ф. Диффузионная сварка металлов. — М.: Машиностроение, 1976. — 360 с.
3. Рабкин Д. М., Рябов В. Р., Гуревич С. М. Сварка разнородных металлов. — Киев: Техніка, 1976. — 208 с.
4. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник в 3 т. / Под общ. ред. П. Лякишева. — М.: Машиностроение, 1996. — Т. 1. — 992 с.
5. Григорьевский В. И. Диффузионная сварка алюминиевого сплава АМг6 с титановым сплавом ОТ4 через композиционную прослойку титан-алюминий // Свароч. пр-во. — 1991. — № 8. — С. 2-4.
6. Toshio E., Kenji I., Toshiharu M. Влияние промежуточных прокладок на свойства соединений Al-Ti, выполненных диффузионной сваркой // J. of Light Metal. Weld. and Constr. — 1978. — 16, № 3. — P. 107-114, 127.
7. Диффузионная сварка Ti-6Al-4V с промежуточной прокладкой из алюминия / K. Akiomi, Y. Akihika, Y. Tashihiro et al. // J. Jap. Weld. Soc. — 1985. — 3, № 1. — P. 145-151.

Поступила в редакцию 07.05.2013

## Зарубежный опыт

### РЕЖИМЫ «Speed Up» и «Speed Pulse» ПРИ СВАРКЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРОДОМ В СРЕДЕ ИНЕРТНОГО ГАЗА

*Industrial application of «Speed Up» and «Speed Pulse»  
welding and assessment of the true welding characteristics / C. Sposato //  
Welding and Cutting. — 2012. — 11, № 6. — P. 375-376.*

Как известно, при дуговой сварке металлическим плавящимся электродом в среде инертного газа существует возможность реализации трех основных вариантов переноса металла: короткой дугой (с короткими замыканиями), крупнокапельный перенос (комбинированной дугой), струйный (сосновый) перенос.

Короткую дугу применяют при сварке тонколистового металла на пониженном напряжении дуги, что ограничивает тепловложение. Вариант сварки с крупнокапельным переносом металла желательнее не использовать из-за интенсивного разбрызгивания и потери устойчивости дуги. Сварку со струйным переносом металла используют для соединения металла большой толщины при повышенном тепловложении и высокой скорости плавления электрода, достигаемой выбором повышенной силы тока и напряжения.

Для управления дуговым процессом необходимо задать следующие параметры: напряжение, скорость подачи проволоки и ток. Правильный выбор этих параметров обеспечивает использование одного из указанных выше вариантов переноса металла, и этот выбор зависит от уровня квалификации оператора.

Лорх решил эту проблему путем разработки системы автоматического управления параметрами сварки по сигналам обратной связи. В сравнении с обычным способом сварки металлическим электродом в среде инертного газа способ импульсно-дуговой сварки обеспечивает протекание процесса сварки с заданным вариантом отрыва капли металла, что позволяет снизить тепловложение, обеспечить минимальный уровень разбрызгивания, поэтому рекомендуется для сварки нержавеющей стали и алюминия.

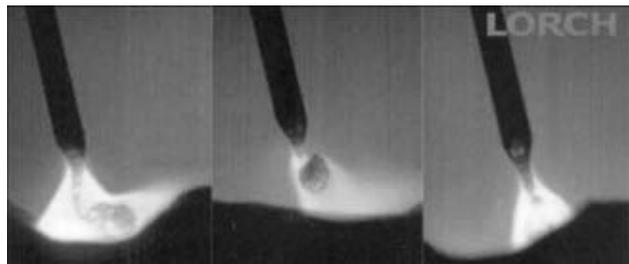


Рис. 1. Сопоставление процессов сварки с режимами «Spray Arc», «Pulsed Arc» и «Speed Arc»

Благодаря выбору заданного профиля дуги источник питания управляет энергией каждого отдельного импульса, что позволяет проводить сварку самых различных материалов. При этом происходит управление не только динамическими характеристиками дуги, что необходимо при переходе от сварки одного металла к другому, но и автоматическое управление сварочными параметрами в соответствии с компьютерной программой.

Для сварки с данным типом управления дуги Лорх использовал переменную скорость подачи проволоки при стабильном поддержании заданной длины дуги, что существенно облегчает работу сварщика.

Серия систем управления «Lorch S» обеспечивает проведение следующих процессов сварки.

«Twin Pulse» (двойной импульс). Этот режим рекомендуется для сварки металла малой и средней толщины, причем сварка реализуется аналогично режимам процесса ТИГ с изменением энергии импульсов от максимума до минимума, что обеспечивает смену фаз нагрева и охлаждения сварочной ванны. К преимуществам этого режима относится возможность более точного регулирования степени провара и тепловложения.

«Speed Pulse» (скоростная импульсно-дуговая сварка) — новый режим, обеспечивающий увеличение на 30 % скорости сварки нержавеющей стали и на 45 % черных сталей. Повышенная скорость сварки в сравнении со скоростью, характерной для обычного процесса импульсно-дуговой сварки, достигнута за счет формирования капель большего размера в момент достижения

максимального тока, причем с малым разбрызгиванием или полным отсутствием его при увеличении глубины провара. Этот режим характеризуется пониженным шумом, не более 10 дБ, что облегчает работу сварщика.

Режим «Speed Pulse» можно использовать для сварки металла толщиной вплоть до 1 мм проволокой диаметром 1,2 мм на максимальном токе сварки. Более глубокий провар достигается за счет лучшей фокусировки энергии дуги заостренным торцом проволоки. На этом режиме гарантируется высокое качество сварки почти всех металлов и снижение пористости при сварке алюминия.

«Speed Up» (форсированный режим). Сварка в вертикальном положении требует особого мастерства. Сварщик должен освоить перемещение электрода «елочкой» для контроля положения сварочной ванны, при этом существует опасность появления непровара как вглубь, так и в боковые стороны свариваемого металла. Поэтому сварку вертикальных швов всегда поручали наиболее опытным специалистам. И если сварщик ранее испытывал трудности при сварке вертикальных швов, то, используя режим «Speed Up», ему намного проще выполнять эти работы, причем с получением швов высокого качества, нормального внешнего вида и на 60...80 % быстрее.

«Speed Up» позволяет реализовать фазу нагрева и фазу охлаждения сварочной ванны. В фазе нагрева происходит интенсивный нагрев и глубокое проплавление металла, а на второй фазе происходит охлаждение сварочной ванны, препятствующее истечению жидкого металла из сварочной ванны под действием гравитационных сил.

«Speed Arc» (скоростная дуга). Этот режим обеспечивает наилучшую фокусировку энергии дуги по сравнению с обычной сваркой МИГ/МАГ и почти на 30% повышает скорость сварки сталей при более глубоком проваре. Длинный вылет проволоки может быть использован для сварки в узкий зазор без возникновения проблем со стабильностью горения дуги.

«Speed Root» (скоростной провар корня шва). На данном режиме сварочная дуга отличается стабильностью, характерной для короткой дуги, что позволяет легко управлять уровнем провара корневого шва без появления разбрызгивания металла. На этом режиме легко достигается провар даже при наличии больших зазоров, которые обычно вызывают затруднения. На этом режиме управление дугой также легко осуществляется, как и при сварке ТИГ, причем без появления газовых пор и со скоростью сварки, достижимой способами МИГ/МАГ. Все эти преимущества достигнуты благодаря цифровому управлению процессом сварки, что исключает прерывание процесса сварки при коротких замыканиях дуги и обеспечивает

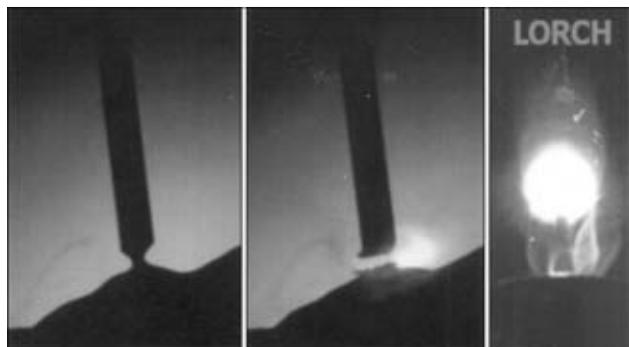


Рис. 2. Детализация процесса сварки с режимом «Speed Root»



управляемый перенос металла и получение качественных швов даже при наличии зазоров в корне шва до 3 мм и более (используя поперечные колебания электрода). Благодаря температурной осцилляции сварочной ванны упрощается управление сварочным процессом. Использование компьютерных программ исключает затраты на закупку специальных систем подачи проволоки и более сложных сварочных горелок.

Рассматривая вопросы оценки выделяемой в дуговых процессах мощности и энергопотребления, Лорх в отличие от традиционных подходов использует собственную методику. Естественно, что при этом очень важно брать измеряемые величины наиболее близкие к истинным. Обычно измеряют эффективное значение тока и напряжения внешними аппаратными средствами, например, по показаниям измерительных приборов, а методика Лорха основана на измерении потребляемой мощности и энергии, выделяемой каждым отдельным импульсом, учитывая и искажения его формы, чем обычно пренебрегают при традицион-

ном подходе измерения энергопотребления. При этом очень важно учитывать разницу между энергией, выделяемой дугой и поглощаемой свариваемым металлом. В методике Лорха учитываются и потери энергии в сварочном кабеле, а также другие специфические потери, что повышает точность измерений.

Для оценки мощности дуги и реально потребляемой энергии нельзя пользоваться среднестатистическими или эффективными значениями. Исходя из тенденции совершенствования процессов дуговой сварки особенно импульсно-дуговой сварки с повышенным энергопотреблением, рассчитанным на режим короткого замыкания дуги, возрастает потребность в новых методиках измерения параметров источников питания, поскольку существующие методы измерения не обеспечивают достаточной точности.

*Более детальную информацию можно найти на сайте [www.lorch.eu](http://www.lorch.eu).*

Материал подготовил В. М. Кислицын

## ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

**Национальный технический университет Украины «КПИ»**



**А. В. Клименко** (ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины) защитил 27 февраля 2013 г. кандидатскую диссертацию на тему «Создание научных основ и технических средств исследования, оценки и прогнозирования стресс-коррозионного разрушения магистральных газопроводов».

Диссертационная работа посвящена созданию научных основ и технических средств исследования, оценки и прогнозирования стресс-коррозионного разрушения (СКР) магистральных газопроводов. Определены основные факторы, способствующие процессу СКР: близость участков магистрального газопровода к компрессорным станциям; тип защитного покрытия; условия местности; катодная защита; напряженно-деформированное состояние. На лабораторной установке проведено исследование процесса СКР трубных сталей в условиях катодной защиты с учетом напряженно-деформированного состояния и влияния среды с высокой коррозионной активностью. В результате 753 ч циклических испытаний образца фрагмента трубы образовалась стресс-коррозионная трещина, глубиной около 3,5 мм. Созданы система коррозионного мониторинга трубопрово-

дов, методика прогнозирования участков, склонных к СКР, и универсальный коррозиметр магистральных трубопроводов. Проведена апробация разработанных технических средств в трассовых условиях. Разработана установка с узлом дополнительного циклического нагружения, которая позволяет исследовать процесс СКР образцов труб магистрального газопровода в лабораторных условиях.

**Национальный университет кораблестроения имени Адмирала Макарова**



**Ю. А. Хохлова** (ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины) защитила 23 апреля 2013 г. кандидатскую диссертацию на тему «Диффузионное соединение биметаллических элементов теплообменных систем».

При изготовлении теплообменных биметаллических блоков для капсулирования микроэлектроники требуется ограничить температурный диапазон технологических процессов до 250, а иногда до 140 °С. Теплообменный блок конструктивно представляет собой цилиндрическое сталеалюминиевое соединение «труба в трубе». Сердечник из нержавеющей стали (труба) содержит внутри компоненты микроэлектроники, а оболочка из алюминиевого сплава (фланец) обеспечивает теплоотвод.