



$a = 0,477$  нм,  $c = 0,129$  нм,  $c/a = 2,72$ ; серия № 3:  $a = 0,477$  нм,  $c = 0,129$  нм,  $c/a = 2,71$ ).

В исходном состоянии покрытия параметр решетки нитрида титана равен  $0,426$  нм. После обработки поверхности низкой дозой СЭП он составляет  $0,422$  нм. В композиционных покрытиях после обработки поверхности высокой дозой СЭП размер решетки нитрида титана  $0,425$  нм. Результаты, касающиеся параметров решетки подслоя хрома, были следующими: для серии № 1  $a = 0,288$  нм; для серии № 2  $a = 0,287$  нм; для серии № 3  $a = 0,288$  нм.

Таким образом, основными составляющими поверхности являются алюминий, титан, хром, азот и кислород. После нанесения композиционных покрытий исходный материал покрытия из порошка оксида алюминия претерпевает ряд фазовых преобразований [4, 5]. Рентгеноструктурный анализ показал присутствие в покрытии оксида алюминия в виде трех модификаций ( $\alpha$ - $Al_2O_3$ ,  $\beta$ - $Al_2O_3$ ,  $\gamma$ - $Al_2O_3$ ): хрома и нитрида титана.

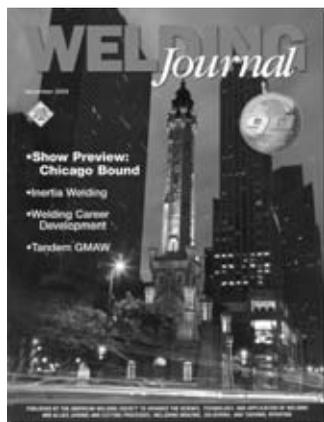
Модифицирование композиционного покрытия с помощью СЭП приводит к восстановлению

фазы корунда, увеличивает коэффициент диффузии титана. Материал композиционного покрытия после плавления СЭП имеет большую плотность, состоит из высокотемпературных фаз оксида алюминия, легированных титаном и хромом. Ожидается, что это покрытие будет иметь повышенные коррозионные свойства при эксплуатации в активных высокотемпературных средах.

1. *Тюрин Ю. Н.* Совершенствование оборудования и технологий детонационного нанесения покрытий // Автомат. сварка. — 1999. — № 5. — С. 13–18.
2. *Тюрин Ю. Н., Жадкевич М. Л.* Плазменные упрочняющие технологии. — Киев: Наук. думка, 2008. — 218 с.
3. *Ланкин Ю. Н., Бондарев А. А., Бондарев Андр. А.* Компьютерное управление процессами в сварочной ванне при электроннолучевой сварке // Инженерия поверхности и реновация изделий. — Киев: АТМ Украины, 2001. — С. 143–146.
4. *Structure and properties of  $Al_2O_3$  and  $Al_2O_3 + Cr_2O_3$  coatings deposited to steel 3 (0,3 wt% C) substrate using pulsed detonation technology / A. D. Pogrebnjak, Y. N. Tyurin, A. A. Kobzev, O. Kolisnichenko // Vacuum Surf. Eng. — 2001. — 62. — P. 21–26.*
5. *Углов В. В., Черенд И. И., Ходасевич В. В.* Модификация оксида алюминия имплантацией ионами азота // Физ. и химия обработки материалов. — 1998. — № 2. — С. 37–40.

Morphology of surface, element and phase composition of the  $Al_2O_3+TiN$  hybrid coatings deposited by the combined methods using the pulse-plasma and vacuum-arc technologies with subsequent electron beam treatment were examined by scanning electron microscopy with microanalysis, back-scattered protons and X-ray diffraction analysis. It is shown that exposure to the high-energy flow of electrons causes a change in structure, composition and properties of the hybrid coatings.

Поступила в редакцию 02.02.2010



ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛА  
«WELDING JOURNAL»,  
2009, № 11/12



**ДУГОВАЯ СВАРКА В СРЕДЕ ИНЕРТНОГО ГАЗА СДВОЕННЫМ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ТОЛСТОЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА (№ 11. — P. 34–35)**

Дуговая сварка металлическим плавящимся электродом в среде инертного газа используется в течение многих лет, однако процесс сварки с одновременным введением в зону сварки двух электродных проволок пока не нашел широкого применения при изготовлении сварных конструкций из толстолистного металла. Это частично объясняется тем, что по сравнению с процессом сварки одиночной проволокой резко увеличивается количество параметров, которыми приходится оперировать в процессе сварки.

Однако разработчикам EWI (Edison Welding Institute) удалось найти новую область практического применения способа сварки сдвоенным металлическим электродом для изготовления сварных конструкций в судостроении, агрегатов энергетического комплекса, тяжелого машиностроения и в других отраслях промышленности. К преимуществам разработанного способа (по сравнению с известными способами дуговой сварки металлическим плавящимся электродом в среде инертного газа пульсирующей дугой, сварки при постоянном напряжении, сварки порошковыми проволоками,

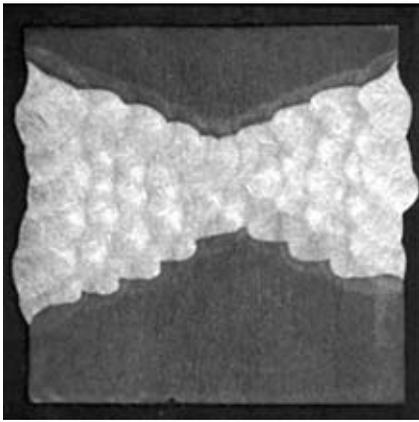


Рис. 1. Микрошлиф сварного соединения стали толщиной 50,8 мм (2 дюйма), выполненного в горизонтальном положении способом сварки сдвоенным электродом

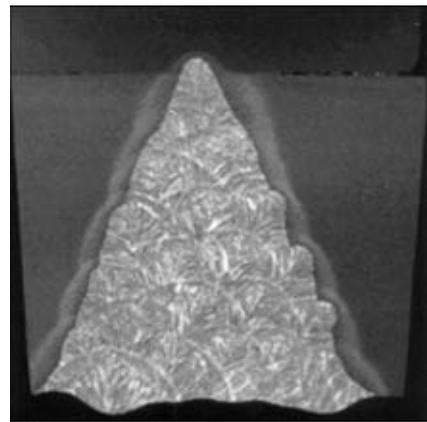


Рис. 2. Микрошлиф сварного соединения стали толщиной 25,4 мм, выполненного в потолочном положении способом сварки сдвоенным электродом

дуговой сварки под флюсом, сварки с подогревом присадочной проволоки) относится снижение стоимости сварочных работ и повышение производительности.

Новый процесс сварки разработан для повышения скорости плавления присадочной проволоки и скорости сварки, а также снижения тепловложения при сварке металлов больших толщин.

Основной особенностью способа сварки сдвоенным металлическим электродом является использование двух независимо управляемых сварочных источников, подключенных к сварочной головке, которая обеспечивает подачу двух электродных проволок в общую сварочную ванну. Взаимодействие между двумя сварочными дугами способствует повышению стабильности процесса сварки, увеличению скорости плавления присадочного металла и скорости сварки.

При изготовлении сварных конструкций из толстолистового металла часто возникает необходимость проведения процесса сварки в различных пространственных положениях, что зачастую определяет выбор способа сварки. Например, преимущества высокопроизводительного способа дуговой

сварки под флюсом реализуются преимущественно при сварке в нижнем положении шва, и для выполнения сварных швов в вертикальном или потолочном положении приходится использовать менее производительные способы, что увеличивает себестоимость изготовления сварных конструкций.

В качестве примера использования разработанного способа на рис. 1 представлен микрошлиф сварного соединения, выполненного в горизонтальном положении при производительности наплавки электродного металла 11,34 кг/ч и скорости сварки около 0,76 м/мин, что по сравнению со способом сварки одиночной сварочной проволокой увеличивает эти параметры на 195 и 185 % соответственно.

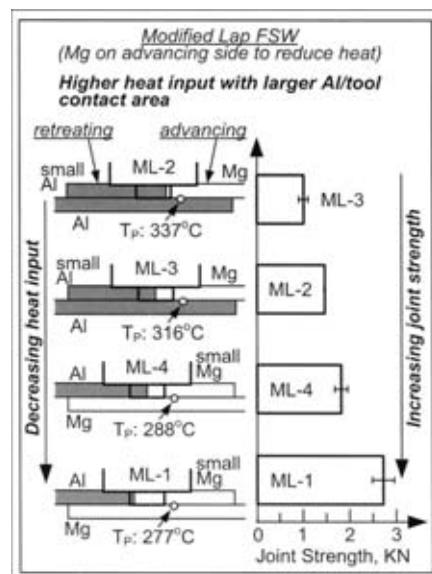
На рис. 2 представлен микрошлиф сварного соединения, выполненного в потолочном положении при производительности наплавки электродного металла 6,8 кг/ч и скорости сварки около 0,89 м/мин, что по сравнению со способом сварки одиночной сварочной проволокой увеличивает эти параметры на 235 и 535 %.

### СВАРКА ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ АЛЮМИНИЯ С МАГНИЕМ (№ 11. — Р. 213-с–223-с)

В настоящее время наиболее востребованы разработки технологических процессов сварки разнородных металлов, в частности, для сварки стали с алюминием или алюминия с магнием, что позволяет снижать массу металлоизделий. В этом отношении способ сварки трением с перемешиванием представляет собой более выгодный вариант соединения разнородных металлов по сравнению со способами сварки плавлением.

Несмотря на интенсивное проведение исследований способ сварки трением с перемешиванием, остается невыясненным вопрос о влиянии на прочность соединения вариантов расположения свариваемых металлов относительно сварочного инструмента. В данной статье приведены результаты исследований этого способа сварки применительно к стыковым и нахлесточным соединениям наиболее широко применяемых марок алюминиевых (6061 Al) и магниевых сплавов (типа AZ Mg или AM Mg).

В случае стыкового соединения исследованы варианты размещения алюминия на стороне как набегающей, так и сбегающей кромки сварочного инструмента. Кроме того, проведены исследования процесса сварки при перемещении сварочного инструмента строго по линии стыка или со смещением его относительно стыка металлов в сторону листа алюминиевого или магниевых сплава. При сварке нахлесточного соединения исследовали различие качества сварного соединения при нижнем и верхнем расположении листа алю-



Влияние расположения свариваемых металлов на тепловложение и механическую прочность сварных соединений AZ31 Mg + 6061 Al (термопара установлена на расстоянии 3 мм от оси перемещения сварочной головки и на глубине 0,25 мм от верхней поверхности нижнего листа)



миния, при изменении длины выступа сварочного инструмента.

Существенное повышение механической прочности сварного соединения (почти в два раза) выявлено при использовании усовершенствованного варианта нахлесточного типа сварного соединения.

Суть предлагаемого метода снижения значения тепловложения за счет особой конструкции сварного соединения состоит в том, что к торцу верхнего листа свариваемого металла прикладывают дополнительную полоску из металла нижнего листа свариваемого металла, как показано на рисунке (small Al или small Mg), а сварочный инструмент располагают чуть сбоку от линии стыка в сторону дополнительной полоски металла.

При этом прочность сварного соединения алюминия с магнием достигала значения прочности нахлесточного соединения листов магниевого сплава (AZ31Mg + AZ31Mg).

### **МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЛАТУНИ, ВЫПОЛНЕННЫХ СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ (№ 11. — Р. 225-s–232-s)**

Разработанный в начале 1990-х годов способ сварки трением с перемешиванием позволяет получать сварные соединения алюминиевых сплавов с намного лучшими прочностными характеристиками, чем при использовании обычных процессов сварки различными методами плавления.

Данный способ сварки нашел широкое применение в процессах сварки алюминиевых сплавов в судостроении, при изготовлении рам высокоскоростных поездов, подвесных систем в автомобилестроении, изготовлении топливных баков космических аппаратов. Однако почти нет информации об использовании сварки трением с перемешиванием в случае сварки других металлов, а именно, магния, титана, медных сплавов и низкоуглеродистой стали.

Целью данной статьи является выявление условий использования данного способа сварки для соединения латуни (63%Cu–37%Zn) толщиной 3 мм, а также исследование влияния скорости вращения сварочного инструмента и скорости его перемещения вдоль линии соединения на прочностные характеристики сварного шва.

### **ПУТИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОКИСЛЕНИЯ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ПРИ СВАРКЕ ТРУБ (№ 12. — Р. 38–39)**

Нержавеющая сталь, титан и другие металлы, обладающие большим сродством к кислороду, широко применяются в тех областях промышленности, где к аппаратуре предъявляются требования стойкости к агрессивным средам в течение длительного времени и исключения вариантов загрязнения технологических сред частицами металла конструкции.

Важная роль защиты зоны сварки аргоном или другими инертными газами с минимальным содержанием в них кислорода хорошо известна сварщикам и изготовителям сварных изделий, но часто не всерьез принимается во внимание в среде специалистов, использующих эту аппаратуру на предприятиях нефтехимии, пищевой, полупроводниковой, атомной и химической промышленности. Появление синеватого оттенка на сварном шве указывает на наличие окисления металла, вызванного недостаточной эффективностью газовой защиты металла в зоне сварки. В результате локального окисления металл в зоне сварного шва теряет коррозионную стойкость, что приводит к необходимости удаления окисленных

Установлено, что увеличение тепловложения в зону соединения приводит к плавлению металла (хотя способ сварки трением с перемешиванием относится к группе способов сварки в твердой фазе) и к существенному снижению прочности сварного соединения из-за развития трещин и зарождения хрупких интерметаллических фаз типа  $Al_3Mg_2$ ,  $Mg_2Si$ ,  $Al_{12}Mg_{17}$ .

Эффект снижения тепловложения был предсказан и затем подтвержден экспериментально при сварке как стыковых, так и нахлесточных соединений (рисунок).

Для выявления микроструктуры и характера перемешивания металлов в зоне сварного соединения разработана специальная методика травления образцов, позволяющая окрашивать в различные цвета участки алюминия, магния и их интерметаллических соединений.

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

способ сварки трением с перемешиванием позволяет получать прочные соединения без пористости или других дефектов в широком диапазоне параметров (при различных скоростях вращения и перемещения сварочного инструмента);

практически во всех образцах сварных соединений наблюдается измельчение зерен металла в зоне перемешивания, причем более мелкая зернистость металла достигается при снижении тепловложения;

выявлено снижение твердости металла в зоне перемешивания, указывающее на соответствующее повышение механической прочности сварного соединения;

наилучшее сочетание прочности и пластичности сварных соединений получено при использовании следующих параметров: скорость вращения сварочного инструмента 1600 об/мин, скорость перемещения 225 мм/мин.

слоев механическими либо химическими средствами, вместе с которыми нередко происходит удаление и защитного слоя пассивации. Однако проведение этой операции в некоторых случаях, например, при сварке труб, чревато либо высокой трудоемкостью, либо вообще невозможно.

В идеале для исключения окисления металла при его сварке содержание кислорода в защитной газовой смеси должно быть сведено к нулю, но во многих случаях содержание кислорода допускается на уровне 70 ppm (частиц на миллион), однако большинство существующих моделей аппаратуры рассчитано на регистрацию минимального содержания кислорода в пределах 1000...100 ppm. При изготовлении наиболее ответственных узлов с помощью сварки необходимо использование индикаторов, позволяющих улавливать наличие остаточного кислорода в защитной газовой смеси на уровне 1 ppm, что реализовано, например, в модели Pro2-plus фирмы «Intercon Enterprises».

### **ВАРИАНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ КАЧЕСТВА КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ (№ 12. — Р. 40–41)**

Процесс контактной точечной сварки используют при изготовлении широкого ассортимента изделий во многих роботизированных автоматических линиях. При этом первостепенными требованиями к производственному процессу является обеспечение высокого качества выпускаемой про-

дукции и необходимость постоянного повышения его производительности.

Основными расходными статьями, влияющими на обеспечение качества выпускаемой продукции, являются конфронтирующие статьи затрат на процессы контроля и затрат, связанных



с поставкой дефектной продукции, из-за необходимости выплаты штрафов, замены изделия или его ремонта или исправления брака, утилизации затраченных материалов, расходов, связанных с оплатой простоев или сверхурочной работы.

Исходя из анализа факторов, приводящих к отклонениям режима сварки от оптимального, установлено, что основным дестабилизирующим фактором является износ наконечника сварочного электрода. Более частое проведение операции заточки электрода приводит к дополнительным затратам на

проведение сварочного процесса, а просрочка в выборе момента заточки увеличивает затраты на устранение брака.

Для определения момента необходимости заточки наконечника сварочного электрода разработана компьютерная самообучающаяся (после ввода первичной информации) программа WTS (Система отображения наконечника сварочного электрода), которая выводит на дисплей реальное отображение торца наконечника и торца эталона. Программа позволяет более точно определять момент заточки и проводить корректировку первичного массива данных.

### **ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛИ МЕТОДОМ АЗОТИРОВАНИЯ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИЕЙ (№ 12. — Р. 243–s–248-s)**

В процессах термического нанесения специальных покрытий (керамики, жаропрочных сплавов) используют нанесение готовых порошков или распыление проволоки (при нанесении некоторых металлов: алюминия, меди, легированной стали), при котором металл плавится в струе газового пламени или в электрической дуге, горящей между двумя расходоуемыми проволоками. К преимуществам последнего варианта термического нанесения покрытий относится существенное снижение стоимости напыляемого материала и более высокая производительность процесса.

Недостатками процесса термического напыления является низкая прочность и неравномерность напыленного слоя, однако существенно повысить износостойкость поверхностного слоя стальных изделий можно за счет использования в этом процессе метода азотирования ионной имплантацией.

Процесс ионной имплантации характеризуется внедрением ионизированных атомов в атомную структуру обрабатываемой поверхности металла. Количество внедренных ионов легирующего элемента зависит от физических свойств взаимодействующих металлов, коэффициента диффузии и в основном от параметров процесса имплантации.

В данной статье приведены результаты исследования двух вариантов активации методов нанесения покрытий путем распыления проволоки с целью измельчения напыляемых частиц: 1) активации за счет увеличения скорости разгона напыляемых частиц и 2) ультразвуковой активации.

В результате проведенных исследований получены следующие результаты: метод распыления проволоки в электрической дуге, горящей между двумя расходоуемыми проволоками, позволяет существенно повысить прочность адгезии порошка к обрабатываемой поверхности. Покрытия из частиц металла с размерами 2...30 мкм, наносимых на обрабатываемую поверхность при скорости до 300 м/с, обеспечивают получение однородной структуры покрытия с минимальной пористостью (менее 1 % объема); полученные покрытия высокой плотности могут быть эффективно упрочнены имплантацией ионов азота, которые образуют на обрабатываемом металле поверхностный слой толщиной до 40 мкм с твердостью до 1530 HV; ионная имплантация стальных покрытий, полученных методом высокоскоростного распыления проволоки, обеспечивает повышение износостойкости в восемь раз и почти четырехкратное возрастание прочности при испытаниях на срез.

### **ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ ПЕРЕД ПРОЦЕССОМ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ СВАРНЫХ ШВОВ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ (№ 12. — Р. 233-s–241-s)**

Аустенитные нержавеющие стали, несмотря на достаточно высокую коррозионную стойкость, подвержены локальному проявлению щелевой, межкристаллитной, точечной коррозии и коррозионному растрескиванию под влиянием механических напряжений. Возникновению локальной коррозии часто способствует наличие в технологических водных средах ионов хлора, следов азотной кислоты, низкой величины рН и других факторов.

Проведенные ранее исследования варианта оплавления поверхности лазерным лучом показывают, что повышение коррозионной стойкости нержавеющей сталей при этом дос-

тигается за счет растворения в металле нежелательных включений (например, карбидов, обогащенных хромом) и гомогенизации состава металла на обработанной поверхности.

В данной работе показано, что лазерная обработка стали типа 304 SS в предполагаемой зоне термического влияния приводит в результате плавления и повторного затвердевания к созданию на поверхности микроструктуры, обладающей повышенной стойкостью к формированию участков межкристаллитной коррозии при последующем проведении процесса сварки в инертных газах.

Материал подготовил В. М. Кислицын,  
канд. техн. наук