



го тока, особенно в диапазоне значений малых токов (от одного до нескольких процентов номинального тока), составляют низкочастотные ($f = 50 \dots 600$ Гц) переменные составляющие, для которых результаты анализа Фурье приведены на рис. 1, б. Для подавления этих шумов необходимо применять фильтры с частотой среза $f_{\text{среза}} < 10$ Гц. Для фильтров первого порядка, у которых $f_{\text{среза}} = (2\pi RC)^{-1}$ (здесь R, C — сопротивление и емкость составляющих элементов), постоянная времени составляет не менее 100 мс [1]. При этом оказывается невозможным обеспечить требуемое быстродействующее управление током пучка для сварки с импульсной модуляцией тока пучка, а также использовать вторично-электронные системы слежения за стыком свариваемых кромок в режиме реального времени, когда необходимо задавать и стабилизировать ток пучка в течение импульса длительностью 5 мс.

При установке резистивного датчика тока в высоковольтной цепи этих же источников питания сигнал обратной связи зашумлен мало, необходимость в его фильтрации отпадает и становится возможным быстродействующее управление током пучка. Однако такое решение влечет

за собой усложнение аппаратуры и снижение ее надежности [2].

В инверторных источниках питания с высокочастотным преобразованием сетевого напряжения размещение резистора обратной связи по току в плюсовой цепи источника питания применимо благодаря тому, что частоты переменной составляющей лежат в области высоких значений ($f = 20 \dots 30$ кГц) (рис. 2). Для фильтрации этих составляющих можно применить фильтры с частотой среза 2...3 кГц, что соответствует постоянной времени $t < 0,2$ мс.

Таким образом, резистор обратной связи по току в электронно-лучевых источниках ускоряющего напряжения, работающих на промышленной частоте, должен размещаться в высоковольтной цепи выпрямителя, а в инверторных источниках питания с высокочастотным преобразованием сетевого напряжения его целесообразно размещать в плюсовой цепи выпрямителя.

1. Мошниц Г., Хорн П. Проектирование активных фильтров. — М.: Мир, 1984. — 286 с.
2. Назаренко О. К., Ланбин В. С. Исследование высоковольтных цепей управления током сварочного электронного пучка // Автомат. сварка. — 2007. — № 5. — С. 20–24.

Studied were spectral characteristics of current flowing in the plus circuit of electron beam sources of accelerating voltage operating on industrial frequency or with high-frequency transformation. Recommendations on the position of resistance current sensor are given.

Поступила в редакцию 26.05.2010

ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины



В. И. Дзыкович (ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины) защитил 6 октября 2010 г. кандидатскую диссертацию на тему «Исследования и разработка материалов для износостойкой наплавки на основе сфероидизированных гранул карбидов вольфрама».

Диссертация посвящена исследованию и разработке материалов для износостойкой наплавки на основе сфероидизированных гранул карбидов вольфрама.

Проведен анализ существующих материалов для нанесения износостойких композиционных сплавов на основе дробленых частиц карбидов вольфрама. Показано, что для улучшения качества наплавленного слоя, уменьшения степени раство-

рения армирующих частиц при наплавке, улучшения эксплуатационных свойств композиционных покрытий, увеличения объемной доли износостойких гранул в наплавленном слое за счет максимального объема сферической частицы при минимальной удельной поверхности наиболее перспективна сферическая форма частиц.

Обоснован выбор способа термоцентробежного распыления тугоплавких материалов для получения сферических частиц карбидов вольфрама с целью использования их в качестве износостойкой фазы в составе материалов для композиционной наплавки.

С помощью математического моделирования способа термоцентробежного распыления карбидов вольфрама построены соответствующие математические уравнения, связывающие основные параметры (тепловые характеристики источника нагрева, скорость вращения) с производительностью процесса $V_{\text{под}}$ и размером образующихся



гранул релита d . В результате разработан механизм управления гранулометрическим составом сфероидизированных гранул карбидов вольфрама $WC - W_2C$. Получена формула для расчета скорости вращения шпиндельного узла установки с целью распыления материала требуемого гранулометрического состава.

Разработана технология выплавки исходных материалов с применением индукционного нагрева, что позволило получать слитки для термоцентробежного распыления эвтектического состава высокого качества.

Проведены исследования влияния качества слитков для распыления на структуру, свойства и стехиометрический состав полученных сферических частиц карбидов вольфрама. При сравнении сфероидизированных гранул карбидов вольфрама с аналогами известных зарубежных фирм установлено, что частицы, полученные методом термоцентробежного распыления, имеют максимальные значения микротвердости и однородность химического и фазового состава.

С учетом теоретических и экспериментальных результатов разработана технология термоцентробежного распыления тугоплавких материалов с использованием в качестве источника нагрева плазменной дуги, создано промышленное оборудование. Оптимальным режимом для распыления слитков карбидов вольфрама является: $I_{св} = 550...600$ А при $U_d = 38...40$ В. При этом оптимальная скорость вертикальной подачи слитка составляет $0,12...0,18$ мм/с. Основным параметром, влияющим на гранулометрический состав распыляемых сферических частиц, является скорость вращения слитка. При этом изменение частоты вращения от 1200 до 10000 об/мин позволяет получать частицы размером от 1000 до 50 мкм.

Впервые проведены исследования морфометрических характеристик сфероидизированных гранул карбидов вольфрама $WC - W_2C$ и установлено, что все тестируемые порошки имеют очень стабильные и однородные показатели по форме частиц. При отделении несферической составляющей из состава готового материала текучесть сфероидизированных гранул карбидов вольфрама на 15...20 % выше текучести исходного материала, что положительно сказывается на работе дозирующих устройств при некоторых способах наплавки.

Разработаны наплавочные материалы для нанесения износостойких композиционных слоев на основе сфероидизированных гранул карбидов вольфрама различными способами. При наплавке опытных образцов достигнута максимальная концентрация армирующей фазы в наплавленном слое (до 50 %) за счет наибольшего объема сферических частиц при минимальной удельной по-

верхности по сравнению с дроблеными частицами. За счет отсутствия концентраторов неравномерного прогрева частиц (сферическая форма не имеет острых углов достигается минимальное их растворение (до 5...10 %) в наплавленном слое. При этом в матрице сплава, особенно на основе никеля и меди, отсутствуют вторичные железо-вольфрамовые карбиды, которые в значительной степени охрупчивают наплавленный слой. Износостойкость образцов, наплавленных различными способами с использованием сфероидизированных гранул в среднем на 25 %, выше чем образцов с дроблеными частицами карбидов вольфрама, вследствие повышенной микротвердости сфероидизированных гранул, отсутствия в них дефектов в виде пор и трещин, а также минимального содержания хрупких фаз в матрице сплава.

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины



Т. Р. Ганеев (Черниговский государственный технологический университет) защитил 6 октября 2010 г. кандидатскую диссертацию на тему «Совершенствование технологии диффузионной сварки меди с молибденом».

Диссертационная работа посвящена разработке технологии диффузионной сварки в вакууме молибдена с медью.

С целью повышения статической прочности и термостойкости, а также снижения электрического сопротивления сварных узлов в работе предложено применение низкоэнергетической ионной обработки в плазме тлеющего разряда поверхности молибдена, предварительно покрытой слоем меди, для создания промежуточной прослойки при его сварке с медью.

Для выявления путей влияния низкоэнергетических ионов плазмы на свойства приповерхностных слоев молибдена применили методы молекулярной динамики. Математическим моделированием процесса установлена связь между энергией бомбардирующих поверхность металла ионов и положением максимума смещений атомов молибдена, что позволило рассчитать режим, обеспечивающий наилучшие условия внедрения атомов напыленного слоя меди в молибден.

Методами поляризационного сопротивления и краевого угла смачивания определен режим ионного травления, позволяющий повысить качество подготовки поверхности молибдена перед термическим вакуумным напылением на нее слоя меди. Предложен режим, обеспечивающий напыление слоя необходимой толщины.



Обнаружен диапазон режимов ионной обработки поверхности молибдена, покрытой слоем меди, при котором образуется модифицированный слой с механическими свойствами, обеспечивающими сварному образцу плавное изменение микротвердости от меди к молибдену.

Для определения влияния предложенной последовательности операций на служебные характеристики сварного соединения проведен ряд исследований. С помощью метода микрорентгеноспектрального анализа показано увеличение ширины диффузионной зоны меди в молибдене на 15 % при применении модифицированного слоя. Определен режим сварки молибдена с медью, обеспечивающий повышение прочности соединения на срез до 110 МПа, т. е. равнопрочной меди.

С помощью экспериментального рентгеновского метода и метода математического моделирования показано снижение остаточных эквивалентных напряжений в полученных соединениях на 30...35 %, увеличение стойкости при термоциклировании в 5 раз по сравнению с соединением непосредственно Cu–Mo, а также снижение удельного электрического сопротивления на 20 % по сравнению со сварным соединением, полученным по традиционной технологии с применением прослойки никеля.

На основе проведенных исследований разработана технология изготовления способом диффузионной сварки в вакууме медномолибденовых анодов.



ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛА «WELDING and CUTTING», 2010, № 2

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПЛАЗМЕННОЙ, ГАЗОКИСЛОРОДНОЙ И ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ. — С. 91–93

В данной статье рассматриваются вопросы выбора оптимального способа резки в зависимости от совокупности требований к качеству реза, производительности процесса, капитальных и технологических затрат, рентабельности и диапазона технологической применимости конкретного способа.

В зависимости от указанных выше требований применяют три основных способа резки: плазменный, газокислородный или лазерный. Например, для раскроя углеродистой стали толщиной более 50 мм, если отсутствуют высокие требования к качеству реза, наиболее подходящей с точки зрения перечисленных выше критериев является газокислородная резка. Этот процесс характеризуется минимальными капитальными и технологическими затратами, но себестоимость отдельного реза достаточно высока из-за низкой скорости процесса и низкого качества реза, что зачастую приводит к необходимости механической зачистки разрезаемых кромок.

В процессе плазменной резки используют комбинацию электрической энергии и энергии сжатого газа и ее применяют для раскроя любых металлов толщиной от 0,5 до 50 мм, независимо от состояния поверхности (покрытой ржавчиной, окрашенной или рифленой). Ширина реза при плазменной резке в зависимости от толщины разрезаемого металла варьируется в пределах 1,3...8,6 мм. Способ плазменной резки представляет собой наиболее полное сочетание преимуществ относительно

соотношения капитальных и технологических затрат, качества реза и производительности процесса.

Лазерный нагрев используют для нагрева, плавления, частичного испарения металлов и резки при раскрое любых металлов с нормальным состоянием поверхности (без следов коррозии), толщиной менее 6 мм, хотя известно ее применение и для толщин до 25 мм, с достаточно жесткими требованиями к точности. При этом ширина реза составляет от 0,15 до 0,51 мм.

Выбор наиболее подходящего для данной задачи способа резки зависит от наиболее существенного критерия выбора, например, от требуемого качества реза, производительности, технологических затрат, экономической эффективности или возможности быстрой переналадки оборудования и процесса для решения новых технологических задач.

Относительно влияния способа резки на глубину зоны термического влияния, при лазерной резке она минимальна и не превышает 0,2 мм, максимальная глубина этой зоны образуется при газокислородной резке. Лазерный и плазменный способы резки до определенной толщины листа обеспечивают получение достаточно высокой чистоты реза, и в случае образования натеков металла шлак легко удаляется. Точность резки при лазерной сварке находится в пределах 0,0762...0,254 мм, при плазменной резке — 0,254...0,762 мм, а при газокислородной — в пределах 0,508...1,524 мм.