

УДК 621.791.(07)

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ ПОД ФЛЮСОМ ТОКОМ МАЛОЙ ПЛОТНОСТИ

С. В. ДРАГАН, канд. техн. наук, Ю. А. ЯРОС, инж.
(Нац. ун-т кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев),
А. А. ЯРОС, инж. (НПФ «АМИТИ», г. Николаев)

Изложены результаты применения источников питания с комбинированной внешней вольт-амперной характеристикой для сварки полотен в щелевой зазор и для восстановления наплавкой гребней колес грузовых вагонов.

Ключевые слова: дуговая сварка, наплавка, источник питания, стабильность процесса, плотность тока, комбинированная вольт-амперная характеристика, технология, структура металла

Обоснование возможности автоматической сварки и наплавки под флюсом током малой плотности. Автоматическая дуговая сварка и наплавка под флюсом стальных конструкций является одним из лидирующих процессов при производстве и ремонте стальных конструкций и деталей машин.

Используя отечественное оборудование и различные технические решения, направленные на стабилизацию длины дуги и повышение устойчивости работы системы «источник питания—сварочная дуга—ванна» («ИП-Д-СВ»), возможно выполнение автоматической сварки в широком диапазоне силы тока [1]. Однако использование электродной проволоки диаметром 4...5 мм и режимов сварки с плотностью тока менее 40 А/мм² затрудняет проблему стабилизации длины дуги. Для каждого диаметра проволоки d_e установлены минимально допустимые значения силы I или плотности тока j (таблица), при которых удается обеспечить устойчивый дуговой процесс при использовании стандартного сварочного оборудования. В то же время имеется возможность осуществления автоматической сварки на режимах с плотностью тока ниже приведенных в таблице, что открывает перспективы применения электродной проволоки большого диаметра взамен тонкой.

Применение проволок большого диаметра и малой плотности сварочного тока целесообразно при автоматической сварке под флюсом в щелевую разделку (уменьшается давление на сварочную ванну), при изготовлении сложных пространственных конструкций (снижаются остаточные сварочные деформации), а также при выполнении наплавочных работ (уменьшается перемещение основного и наплавленного металлов) [2]. Снижение плотности тока и увеличение диаметра электрода оказывают положительное влияние и на стойкость токоведущих наконечников и соответственно сокращает затраты на эксплуатацию оборудования. Применение для сварки электродных проволок диаметром 4...5 мм вместо 2...3 мм экономически оправдано вследствие низкой стоимости проволок большего диаметра независимо от их марки, так как при производстве проволоки диаметром 5 мм из катаной заготовки отсутствует такая трудоемкая операция, как многоцикловая «горячая протяжка», обязательная для тонких проволок.

Так, например, стоимость 1 т сварочной проволоки марки Св-08А (Св-10Х2М) диаметром 2 мм составляет соответственно 4,08 (8,96); 3 — 3,84 (8,43); 4 — 3,78 (7,92); 5 — 3,72 (7,84) тыс. грн. т [3].

Устойчивость дугового процесса при сварке током малой плотности может быть существенно повышена путем применения выпрямителей с комбинированной внешней вольт-амперной характеристикой [4]. При этом скорость подачи

Допустимые значения силы (плотности) тока в зависимости от диаметра электродной проволоки

Род тока, принцип стабилизации дуги	Диаметр электродной проволоки, мм			
	2	3	4	5
Переменный ток, автоматическое регулирование	290 (92,3)	400 (56,6)	530 (42,2)	680 (34,7)
Переменный ток, саморегулирование	220 (70,0)	330 (46,7)	420 (33,4)	550 (28,0)
Постоянный ток	160 (51,0)	220 (31,1)	320 (25,5)	450 (22,3)

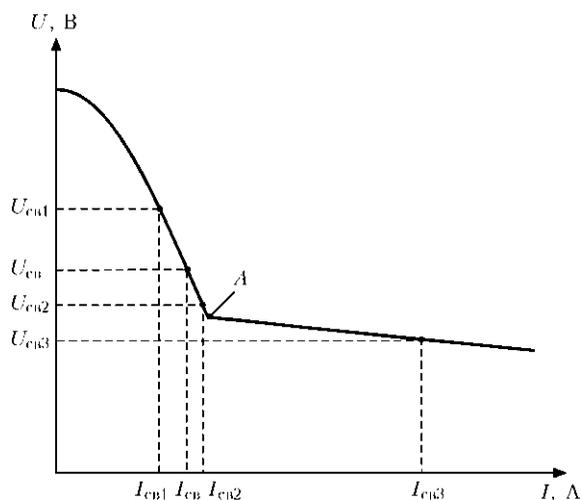


Рис. 1. Комбинированная внешняя характеристика источника питания при колебаниях длины дуги

электродной проволоки неизменна и задается технологическими требованиями, а напряжение дуги регулируется путем воздействия на напряжение и сопротивление сварочной цепи. Выпрямители серии ВДУ25 с комбинированной внешней вольт-амперной характеристикой (сертификат соответствия № UA1.012.0165143–06) содержат управляемый выпрямительный блок, собранный по шестифазной схеме выпрямления тока с уравнивающим реактором, благодаря которой обеспечивается низкий коэффициент пульсации сварочного тока и высокая точность стабилизации рабочего напряжения. Регулируемая комбинированная внешняя характеристика позволяет получать оптимальные режимы сварки и обеспечивает высокие динамические свойства источников [5].

Процесс автоматической сварки или наплавки под флюсом током малой плотности с использованием выпрямителя с комбинированной внешней характеристикой осуществляется следующим образом. Источник настраивается так, чтобы обеспечить горение сварочной дуги при рабочих значениях напряжения и тока, т. е. чтобы напряжение U в точке A (точка перехода с крутопадающей на жесткую часть комбинированной внешней характеристики) было на 14...21 % меньше рабочего напряжения U сварочного процесса (рис. 1). После зажигания сварочной дуги путем короткого замыкания электрода с изделием и достижения рабочих значений напряжения U и силы тока I начинается процесс сварки.

Однако возникающие колебания напряжения в диапазоне с $U_{св1}$ до $U_{св2}$ могут приводить к соответствующим изменениям тока. Так, при повышении напряжения с $U_{св}$ до $U_{св1}$ (до 10,5 %) происходит уменьшение силы тока от $I_{св}$ до $I_{св1}$, а при снижении напряжения с $U_{св}$ до $U_{св2}$ ток увеличивается до $U_{св2}$. Поскольку питание дуги в диапазоне рабочих напряжений и токов производится на крутопадающей части внешней харак-

теристики, то колебания тока невелики. Это существенно уменьшает колебание глубины проплавления основного металла и улучшает формирование наплавленного слоя. При возникновении возмущений и снижении напряжения дуги на 21 % и более (например, с $U_{св}$ до $U_{св3}$), которые могут привести к нарушению сварочного процесса и наступлению режима короткого замыкания, питание дуги осуществляется на жесткой части внешней характеристики. В результате сила тока увеличивается с $I_{св}$ до $I_{св3}$, интенсифицируется процесс саморегулирования дуги, т. е. возрастает скорость плавления электродной проволоки, увеличивается длина дуги и восстанавливается заданное рабочее напряжение U . Одновременно ток автоматически уменьшается до значения I . Таким образом, резкое импульсное повышение тока стабилизирует сварочный процесс, не допуская режима короткого замыкания и улучшая качество формирования шва [6].

Сварка крупногабаритных полотен в щелевой зазор. Автоматическая сварка под флюсом током малой плотности в щелевую разделку полотен толщиной 20...25 мм перспективна при изготовлении крупногабаритных судовых и машиностроительных конструкций. Очевидными преимуществами этого способа по сравнению с широко применяемой сваркой в X-образную разделку являются:

исключение из технологического процесса операции двустороннего скола стыкуемых кромок листов;

отсутствие трудоемких дополнительных работ, связанных с уменьшением продольных сварочных деформаций путем растяжения полотна перед сваркой как с одной, так и с другой стороны (жесткое закрепление листов к стенду, нагрев растягивающих планок, их удаление и повторная установка после кантования полотна);

снижение поперечных сварочных деформаций полотна вследствие возможности свободного расширения металла поперек оси шва.

Одним из условий получения качественного шва при автоматической сварке в щелевой зазор является стабильность горения дуги в процессе ее миграции с одной из свариваемых кромок на другую, связанной с периодическим укорочением дуги по мере расплавления кромок и формирования сварочной ванны. Для непрерывного протекания сварочного процесса система «ИП-Д-СВ» должна иметь высокую устойчивость при колебаниях длины дуги. При этом давление дуги на сварочную ванну должно быть минимальным для исключения возможности вытекания расплавленного металла из зазора [7].

Сложность одновременного выполнения указанных условий при использовании серийного оборудования ограничивает применение автома-

тической сварки в щелевой зазор в промышленности, несмотря на ее преимущества. Источники питания с жесткими и пологопадающими характеристиками не обеспечивают стабильность сварочного тока при изменении длины дуги при работе со стандартными автоматами, что приводит к возникновению несплавления на одной из кромок, вызванного прерыванием процесса миграции дуги (рис. 2, а).

Специализированные автоматы, снабженные механизмом поперечного колебания сварочной проволоки, который стабилизирует длину дуги и соответственно сварочный ток, устанавливаются, как правило, на сварочные порталы. Установка такого механизма на автоматы тракторного типа, применяемые в судостроении, затруднительна вследствие ограничений по массе и габаритам.

Источники питания с комбинированной внешней характеристикой обеспечивают высокую эластичность дуги и стабилизацию сварочного тока в рабочей части характеристики и устойчивую работу системы «ИП-Д-СВ» в области токов малой плотности, что способствует снижению давления сварочной дуги и исключению вытекания сварочной ванны.

Стенд для сварки в щелевой зазор, применяемый при изготовлении крупногабаритных полотен, представляет собой облегченную (вследствие отсутствия высоких требований к жесткости) рамную металлоконструкцию с настилом толщиной 10 мм. Вдоль оси шва предусмотрен паз шириной 120 мм для закладки желоба с флюсом.

Разработанная технология автоматической сварки полотен из стали 3сп1 толщиной 20 мм в щелевой зазор под флюсом АН-348А проволокой Св-08А диаметром $d_3 = 5$ мм с применением выпрямителя ВДУ25-1202 с комбинированной внешней характеристикой и сварочного трактора ТС-77 предусматривает следующую последовательность выполнения работ: монтаж желоба с флюсовой подушкой; установка свариваемых листов с зазором 4 мм и его фиксация технологическими планками; установка тракторного пути и настройка движения трактора; сварка первого шва на режиме: $I_{св} = 450...460$ А ($j = 22,9...23,4$ А/мм²), $U_{св} =$

$= 31...32$ В, $v_{св} = 20$ м/ч; кантовка изделия; зачистка корня шва пневмоинструментом; повторная установка тракторного пути с трактором и настройка движения трактора; сварка второго шва на режиме: $I_{св} = 890... 900$ А ($j = 45,4... 45,9$ А/мм²), $U_{св} = 33...34$ В, $v_{св} = 30$ м/ч.

Образцы, сваренные по описанной выше технологии, были подвергнуты металлографическим исследованиям и механическим испытаниям: статическому растяжению, изгибу и измерению твердости. Механические характеристики металла шва (средние значения из пяти измерений) следующие: $\sigma_b = 472$ МПа; $\sigma_T = 294$ МПа; $\delta_5 = 28,5$ %; $\psi = 68,2$ %; значение ударной вязкости KCU для металла корневого шва при +20 °С соответственно 217 Дж/см².

Твердость металла сварного соединения для корневого шва соответственно $HV 10-184$ (шов); $HV 10-18$ (металл ЗТВ); 179 (основной металл). Для лицевого шва: $HV 10 194$ (шов); $HV 10-182$ (металл ЗТВ); $HV 10-179$ (основной металл).

Результаты металлографического анализа и механических испытаний сварного соединения показали следующее: в соединении отсутствуют трещины, шлаковые включения, несплавления по кромкам (рис. 2, б) и другие дефекты, что подтверждает стабильность миграции дуги с одной из свариваемых кромок на другую при питании дуги током малой плотности от источника с комбинированной внешней характеристикой;

при испытаниях сварного соединения на растяжение все образцы разрушились по основному металлу, при испытаниях на статический изгиб в продольном и поперечном направлениях на оправке диаметром 30 мм образцы выдержали угол загиба 100° без образования трещин; металл шва имеет ферритно-перлитную структуру, протяженность ЗТВ 4...6 мм; геометрические размеры сварного шва, механические характеристики и структура металла сварного соединения соответствуют требованиям СНиП III-18-75, СНиП 3.03.01-87.

Разработанное оборудование и технология автоматической сварки полотен толщиной до 25 мм, обеспечивающие качественное формирование шва без предварительной жесткой фик-

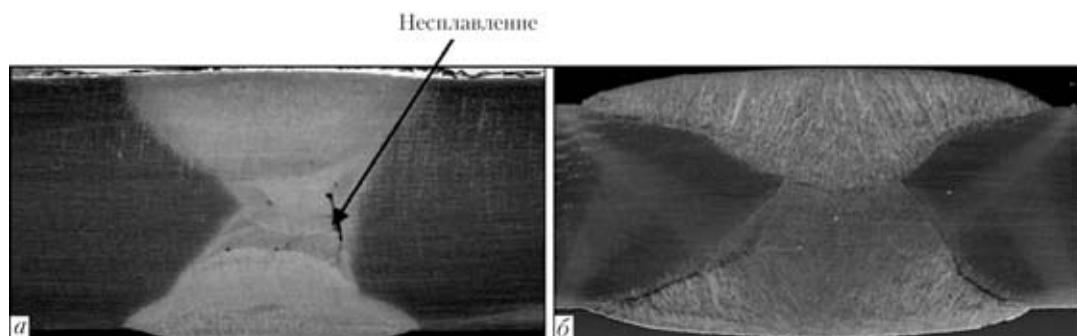


Рис. 2. Макрошлифы соединения, выполненного сваркой в щелевой зазор с применением стандартного оборудования (а) и источника питания с комбинированной внешней характеристикой (б)

сации свариваемых листов, внедрены на «МК МОНТАЖ» (г. Кривой Рог).

Наплавка гребней колес грузовых вагонов.

Наиболее изнашиваемыми элементами колесных пар грузовых вагонов являются гребни цельнокатаных колес, изготовленных из стали 65Г. Для их восстановления на ремонтных предприятиях применяют технологию двухдуговой автоматической наплавки под флюсом с предварительным подогревом до 200 °С проволоками сплошного сечения диаметром 2 мм. Особенностью технологии является сварка в две ванны, когда вторая дуга переплавляет валик, наплавленный первой дугой, без непосредственного контакта дуги с основным металлом.

Наплавку выполняют на режиме: сила тока на первой дуге $I_{н1} = 190...250$ А; на второй $I_{н2} = 290...330$ А; напряжение на каждой дуге $U_{д} = 30...34$ В; скорость наплавки $v_{н} = 24...25$ м/ч; шаг наплавки 4,5 мм [8]. Указанным параметрам режима соответствует плотность тока в дуге $j = 60...100$ А/мм². При использовании такого режима глубина проплавления основного металла достигает 3,0...4,0 мм. Кроме того, из-за интенсивного отвода тепла в массу колеса велика вероятность образования закалочных структур с высокой твердостью и, как следствие, недопустимых по условиям эксплуатации колес трещин или надрывов металла в наплавленном слое [8, 9]. Вместе

с тем затрудняется и механическая обработка наплавленной поверхности.

Необходимые свойства наплавленного металла и ЗТВ при одновременном снижении стоимости наплавочного процесса можно обеспечить путем применения электродной проволоки большего диаметра при сохранении существующих параметров режима.

Применение наплавки током плотностью менее 40 А/мм² позволяет снизить как глубину проплавления, так и долю участия основного металла в наплавленном при одновременном улучшении структуры наплавленного металла.

Для разработки промышленной технологии нами проведены исследования качества автоматической наплавки валиков током малой плотности проволокой Св-08ХМ диаметром 4 мм под флюсом АН-348А на образцы-пластины толщиной 5 мм из стали 65Г.

Наплавку выполняли на сварочном посту, оборудованном сварочным трактором ТС-77 и выпрямителем ВДУ25-630К с комбинированной внешней характеристикой. Валики наплавливали на режиме: $I_{н} = 220...230$ А ($j = 17,5...18,3$ А/мм²), $U_{д} = 31...32$ В, $v_{н} = 24$ м/ч. Опыты проводили с варьированием исходных условий.

Вариант 1. Наплавка одного валика с интенсивным отводом тепла в воду. Данный вариант имитирует технологию наплавки на гребень колеса и моделирует отвод тепла в радиальном направлении. Образец-пластину перед наплавкой закрепляли на специальном столе так, чтобы ее нижняя поверхность была погружена в воду.

Вариант 2. Наплавка одного валика с предварительным подогревом основного металла до температуры $T = 250...300$ °С.

Вариант 3. Последовательная наплавка двух валиков со смещением на шаг по предварительному подогреву до $T = 250...300$ °С металлу (приближенно к реальным условиям работы промышленной наплавочной установки).

На основании изучения макро- и микроструктур поперечных шлифов установлены следующие закономерности:

при наплавке, выполненной по варианту 1, в металле ЗТВ вследствие высокой скорости охлаждения возникают закалочные трещины (рис. 3, а) и наблюдается незначительное проплавление основного металла на периферийных участках шва. Ширина наплавленного валика достигает 16 мм, глубина проплавления 2,6 мм;

применение предварительного подогрева (вариант 2) приводит к увеличению ширины наплавленного валика и глубины проплавления основного металла на 10... 15 % (рис. 3, б). Однако глубина проплавления при этом все же оказывается меньше на 30...40 %, чем при существующей промышленной технологии. Наложение второго валика на по-

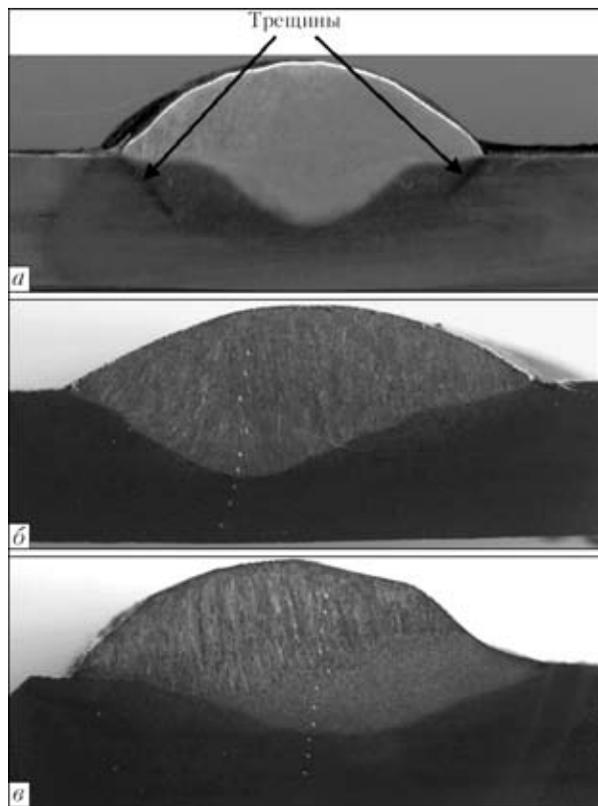


Рис. 3. Макрошлифы поперечных сечений валиков при различных условиях наплавки: а — без предварительного подогрева; б — с предварительным подогревом; в — последовательная наплавка двух валиков

верхность пластины, подогретую предыдущей наплавкой (вариант 3), не увеличивает глубину проплавления основного металла (рис. 3, в);

при последовательной наплавке двух валиков структура металла второго валика (рис. 4, а) — среднезернистый сорбит, граница сплавления второго валика с первым (рис. 4, б) характеризуется переходом от среднезернистого сорбита к мелкозернистому. Структура металла, наплавленного первой дугой (рис. 4), — мелкозернистый сорбит, отпущенный второй дугой, граница сплавления первого валика с основным металлом (рис. 4, в) имеет переходную структуру: от мелкозернистого сорбита к перлитно-сорбитной структуре;

измерение твердости металла при различных вариантах наплавки подтверждает результаты металлографических исследований. Так, твердость наплавленного металла для варианта 1 составляет соответственно $HV\ 5-440$; 2 — $HV\ 5-270$; 3 — $HV\ 5-240$; металла ЗТВ для варианта 1 — $HV\ 5-630$; 2 — $HV\ 5-300$; 3 — $HV\ 5-250$; твердость основного металла для всех вариантов наплавки одинакова и составляет $HV\ 5-240$.

При выполнении наплавки без предварительного подогрева (вариант 1) наплавленный металл приобретает твердость, которая превышает твердость основного металла более чем в 1,5 раза; в металле ЗТВ наблюдается значительное упрочнение металла с резким снижением ее при переходе к основному металлу. При наплавке на предварительно подогретый металл (вариант 2) наблюдается снижение твердости в наплавленном металле и сохраняется зона упрочненного металла в ЗТВ. Наплавка двух валиков со смещением на шаг (вариант 3) обеспечивает в зоне наплавки практически полное выравнивание твердости наплавленного и основного металла.

Полученная по варианту 3 твердость металла не препятствует дальнейшей механической обработке наплавленного слоя восстановленных гребней колес и отвечает требованиям, предъявляемым к условиям эксплуатации колесной пары. Таким образом, третий вариант технологии наплавки током плотностью менее $40\ \text{А/мм}^2$ является допустимым для промышленного использования.

Опытно-промышленная технология и партия источников питания с комбинированной вольт-

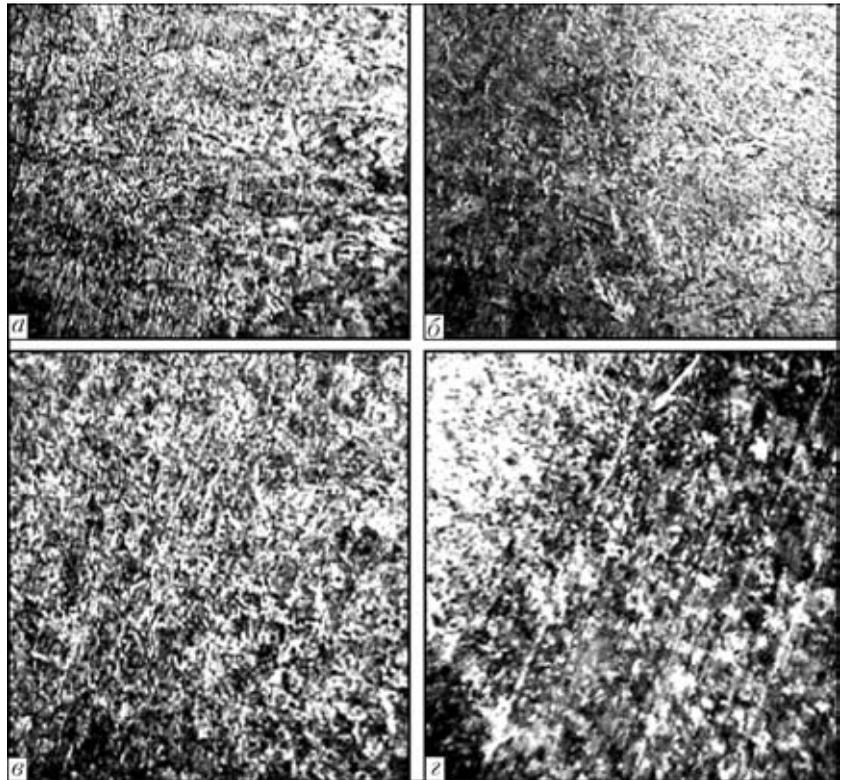


Рис. 4. Микроструктура ($\times 170$) металла при последовательной наплавке двух валиков: а — наплавленный металл второго валика; б — граница сплавления первого и второго валика; в — металл первого валика; з — граница сплавления первого валика и основного металла

амперной характеристикой, входящих в состав установок КТ 068 (разработчик — ПКТБ ЦВ «Укрзалізниця», г. Киев) для восстановления колесных пар железнодорожных вагонов, внедрены в производство на ремонтных предприятиях «Укрзалізниця».

Выводы

1. Разработана технология автоматической сварки и наплавки под флюсом током малой плотности ($17,0...24,0\ \text{А/мм}^2$) с использованием источников питания с комбинированной внешней характеристикой для изготовления крупногабаритных полотен и восстановления изношенных колесных пар железнодорожных грузовых вагонов.

2. Замена сварки с двусторонней разделкой кромок на сварку в щелевой зазор полотен толщиной до 25 мм обеспечивает качественное формирование шва без предварительной жесткой фиксации свариваемых листов и достижение свойств соединения, отвечающих требованиям СНиП.

3. Наплавка гребней колес грузовых вагонов двумя электродными проволоками диаметром 4 мм позволяет получить свойства наплавленного металла, удовлетворяющие требованиям дальнейшей механической обработки поверхности и условиям эксплуатации колесной пары.

1. *Технология* электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1974. — 768 с.
2. *Рябцев И. А.* Наплавка деталей машин и механизмов. — Киев: Екотехнологія, 2004. — 10 с.
3. *Сварочное производство* Украины в 1990–2005 гг. (экономико-статистический обзор). — Киев: Екотехнологія, 2006. — 53 с.
4. *Пат. України* на корисну модель 30840. Випрямляч для дугового зварювання та наплавлення під флюсом / С. В. Драган, Ю. О. Ярослав, О. О. Ярослав та ін. — Опубл. 11.03.2008; Бюл. № 5.
5. *Драган С. В., Ярослав Ю. А.* Обеспечение устойчивости сварочной дуги с малой плотностью тока при воздействии технологических возмущений // Автомат. сварка. — 2008. — № 1. — С. 32–36.
6. *Пат. України* на корисну модель 30841. Спосіб електродугового наплавлення під флюсом / С. В. Драган, Ю. О. Ярослав, О. О. Ярослав та ін. — Опубл. 11.03.2008; Бюл. № 5.
7. *Процесс* плавления основного металла при сварке / Под ред. И. И. Рыкалина. — М.: Изд-во АН СССР, 1960.
8. *Оборудование* по восстановлению сваркой и наплавкой деталей и узлов подвижного состава. Каталог-справочник. — Киев: ПКТЬ подвижного состава, 2003. — 32 с.
9. *Рябцев И. А., Кондратьев В. Н.* Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования. — Киев: Екотехнологія, 1999. — 64 с.

The paper describes the results of application of power sources with a combined external volt-ampere characteristic for narrow-gap welding of plates and repair cladding of freight car wheel flanges.

Поступила в редакцию 12.04.2009

Тканесохраняющая высокочастотная электросварочная хирургия. Атлас / Под ред. Б. Е. Патона и О. Н. Ивановой. — Киев: Наук. думка, 2009. — 200 с.

В атласе представлены этапы исследовательской работы: теоретическое и экспериментальное обоснование способа высокочастотной электрической сварки живых мягких тканей, разработка оборудования и инструментария, а также опыт клинического применения новой хирургической технологии. Приведены фактические материалы последовавшего широкого клинического освоения разработанных хирургических методик, которые могут свидетельствовать о том, что создана тканесохраняющая ВЧ-электросварочная хирургия. В осуществлении этой разработки приняли участие выдающиеся украинские ученые, хирурги, инженеры.

Предназначен для медицинских работников, врачей хирургического профиля, врачей ветеринарной хирургии, организаторов здравоохранения, специалистов в области медицинской техники, а также студентов старших курсов высших медицинских учебных заведений.



**По вопросам приобретения книги обращаться
в редакцию журнала «Автоматическая сварка»:**

03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11,

Институт электросварки им. Е. О. Патона, отд. № 51.

Тел.: 529-26-23; факс: (38044) 528-34-84; E-mail: journal@paton.kiev.ua