

5. Совершенствование процесса кальциетермического восстановления тетрафторида циркония / К.А.Линдт, А.П.Мухачев, В.В.Шаталов [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (77). – Харьков: ННЦ ХФТИ. – 1999. – № 2. – С.3-8.

Надійшла до редколегії 15.06.2016

УДК 621.791.927.5

БАБИНЕЦ А.А., к.т.н., науч.сотр.  
РЯБЦЕВ И.А., д.т.н., профессор  
ПАНФИЛОВ А.И.\*, аспирант  
ПЕРЕМИТЬКО В.В.\*, д.т.н., доцент

Институт электросварки им. Е.О.Патона НАН Украины  
\*Днепродзержинский государственный технический университет

### **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА НАПЛАВКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ ВАЛИКОВ, НАПЛАВЛЕННЫХ САМОЗАЩИТНОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ НА ПЛОСКИЕ И ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ДЕТАЛИ**

**Введение.** Наплавка самозащитными порошковыми проволоками характеризуется простотой выполнения, маневренностью, позволяет визуально контролировать процесс формирования наплавленного металла и при этом обеспечивает надежную защиту сварочной ванны даже в полевых и монтажных условиях. Однако основным недостатком данного способа является определенный, часто достаточно узкий, диапазон режимов наплавки, несоблюдение которого приводит к повышению разбрызгивания металла, плохому формированию наплавленных валиков, наличию в них пор и т.п. [1, 2].

При выборе оптимальных режимов наплавки самозащитными порошковыми проволоками особое внимание следует уделять величине напряжения дуги, так как при повышении напряжения и, соответственно, увеличении длины дуги ухудшается защита наплавленного металла от окружающей атмосферы, металл обогащается азотом, и в нем появляются поры. Дополнительные сложности возникают при выборе оптимальных режимов наплавки цилиндрических деталей из-за значительных затрат на проведение соответствующих экспериментов.

**Постановка задачи.** Задача данной работы заключается в сравнении результатов, полученных при наплавке плоских деталей, с результатами, полученными при наплавке цилиндрических деталей. Анализ полученных данных позволит установить зависимости влияния режимов дуговой наплавки самозащитными порошковыми проволоками на качество формирования и геометрические размеры наплавленных валиков, а также оценить возможность более широкого использования результатов, полученных при наплавке плоских деталей, для выбора оптимальных режимов при наплавке цилиндрических деталей различных диаметров.

**Результаты работы.** Для проведения исследований по наплавке плоских и цилиндрических деталей было изготовлено три опытных партии порошковых проволок ПП-Нп-25Х5ФМС для наплавки открытой дугой (система защиты  $\text{CaO}+\text{TiO}_2+\text{MgO}+\text{CaF}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ ) диаметрами 1,8; 2,4 и 2,8 мм. Опытными порошковыми проволоками производили наплавку плоских (пластины из стали Ст3 толщиной 15 мм) и цилиндрических (трубы из стали Ст3 диаметром 125 мм с толщиной стенки 20 мм) образцов в широком диапазоне режимов наплавки по току и напряжению. Исследования проводили при постоянной скорости наплавки – 20 м/ч, так как в диапазоне 20...40 м/ч при прочих неизменных параметрах скорость наплавки практически не влияет на геометрические размеры наплавленных валиков [2, 3].

Експерименти по наплавке выполняли на установке У-653, записывая при этом осциллограммы тока и напряжения при помощи разработанной компьютерной информационно-измерительной системы [4]. В дальнейшем при анализе записанных осциллограмм были получены данные о характере переноса электродного металла и стабильности процесса в целом. Также в процессе экспериментов производили экспертную оценку качества формирования наплавленных валиков, наличие пор и других дефектов.

Для определения влияния электрических параметров дуговой наплавки порошковой проволокой на геометрические параметры валиков (ширина и высота валика, глубина проплавления, доля основного металла в наплавленном) наплавленные плоские и цилиндрические детали разрезались поперек валиков на отдельные образцы, из которых изготавливались соответствующие макрошлифы.

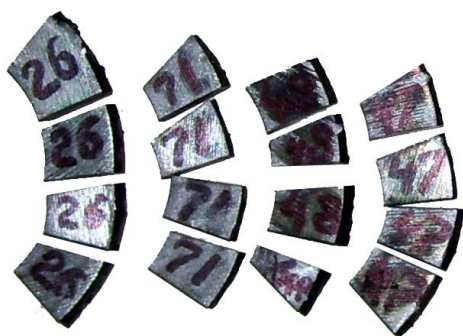


Рисунок 1 – Внешний вид образцов, вырезанных из наплавленных цилиндрических заготовок

Замеры геометрических параметров валиков на макрошлифах для плоских деталей выполнялись при помощи инструментального микроскопа БМИ-1 при 75-ти кратном увеличении. Однако в случае цилиндрических деталей выполнить замеры по такой же схеме было невозможно, так как в плане они имели скошенную форму (рис.1), и при установке такого образца на горизонтальный стол появлялась существенная погрешность при измерении, которая определяется углом наклона поверхности шлифа к горизонтали.

Определять угол наклона и изготавливать индивидуальные компенсирующие подкладки или вычислять соответствующие корректирующие коэффициенты под каждый из более 100 образцов было признано нерациональным, поэтому необходимо было разработать соответствующую методику измерений, легко адаптируемую к образцам любой конфигурации.

Была предложена методика определения геометрических параметров наплавленных валиков, основанная на методе простой пропорции. Вначале каждый макрошлиф фотографировали с размещенным в одном кадре с ним эталоном известной длины. Далее полученные снимки импортировали в программу для проектирования и черчения AutoCAD, в которой при помощи инструмента «Отрезок» проводили соответствующие отрезки, определяющие длину эталона ( $x$ ), ширину ( $e$ ) и выпуклость ( $g$ ) валика, а также глубину проплавления ( $h$ ) (рис.2).

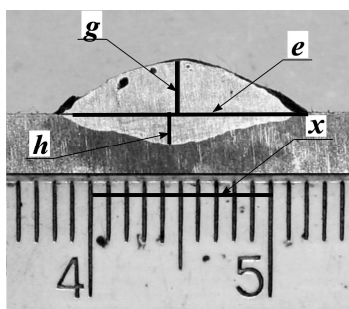


Рисунок 2 – Пример определения геометрических размеров валика по фотографии макрошлифа с размещенным в одном кадре эталоном

Далее из меню «Свойства» записывали длину каждого из отрезков, а затем, исходя из известного размера эталона, методом простой пропорции высчитывали геометрические размеры валиков. При этом погрешность измерений для полученных снимков с высоким разрешением (300 dpi) не превышает  $1\pi x$  или 0,09 мм.

Величину доли основного металла в наплавленном ( $g_0$ ) определяли при помощи инструмента «Сплайн», поочередно обводя контуры наплавленного и проплавленного металла, а затем из меню «Свойства» запи-

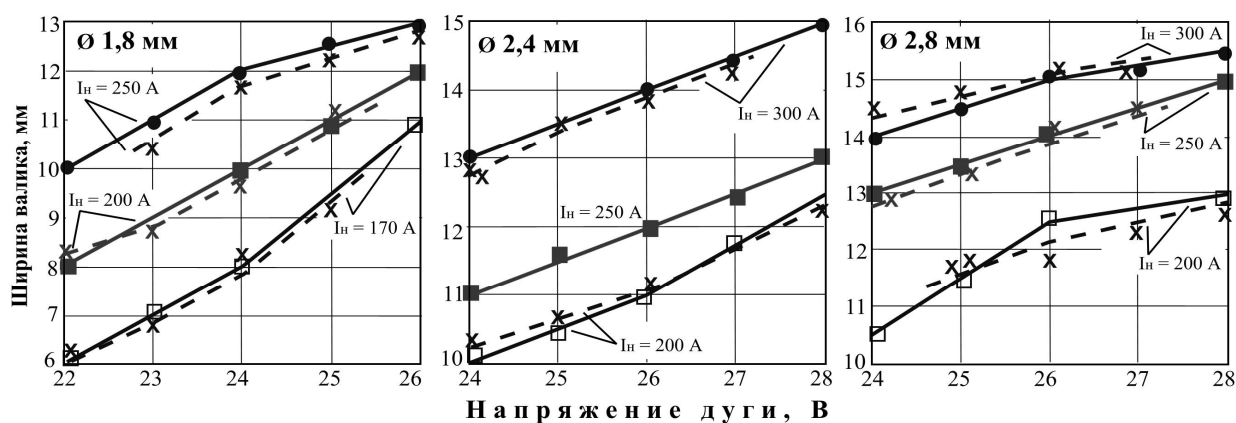
сывали площадь, занимаемую полученными фигурами. Далее подставляли полученные значения в известное выражение [3]:

$$g_o = \frac{F_o}{F_o + F_H} \cdot 100\% , \quad (1)$$

где  $F_o$  – площадь сечения расплавленного основного металла,  $F_H$  – площадь сечения наплавленного металла.

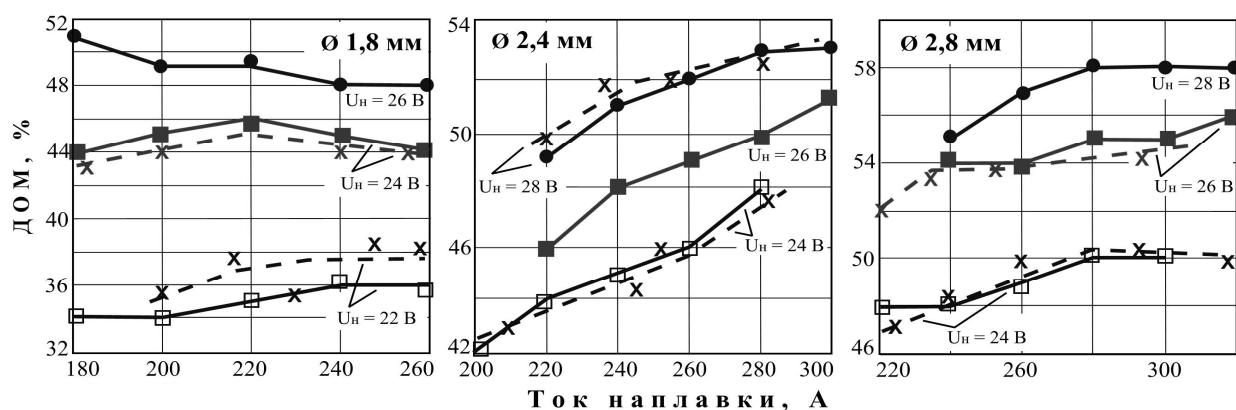
Учитывая большое количество измерений, так как для каждого валика рассчитывалось среднее значение соответствующего геометрического параметра по шести-восьми макрошлифам, был разработан алгоритм расчета указанных величин средствами компьютерной программы MathCAD.

Все полученные данные заносили в общую таблицу. По этим значениям строили зависимости влияния геометрических размеров наплавленных валиков от режимов наплавки, которые затем анализировали. Т. К. целью экспериментов было сравнение результатов, полученных при наплавке плоских и цилиндрических деталей, соответствующие зависимости были построены на одной координатной плоскости (рис.3-5).



сплошные линии – плоских деталей; штриховые – цилиндрических деталей

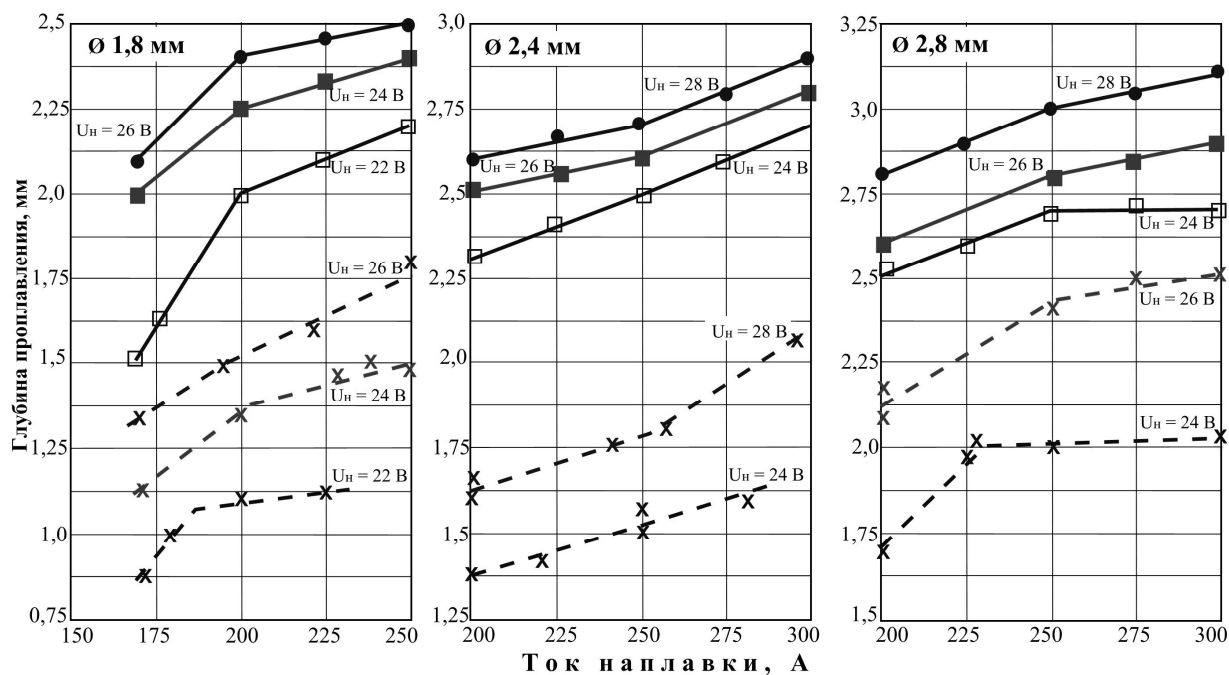
Рисунок 3 – Влияние параметров режима на ширину валика при наплавке



сплошные линии – плоских деталей; штриховые – цилиндрических деталей

Рисунок 4 – Влияние параметров режима на долю основного металла (ДОМ) при наплавке

Напряжение дуги мало влияет на глубину проплавления, но оказывает существенное влияние на ширину и качество наплавленных валиков и, в первую очередь, на вид поверхности наплавленного металла. При слишком малом напряжении получается



сплошные линии – плоских деталей; штриховые – цилиндрических деталей

Рисунок 5 – Влияние параметров режима на глубину проплавления при наплавке

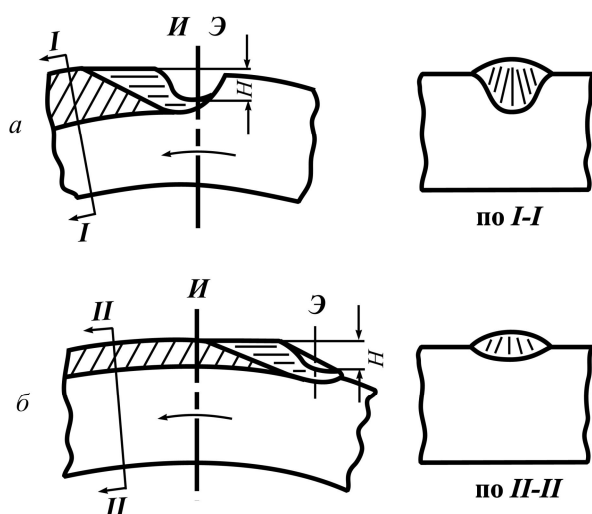
узкий и высокий наплавленный валик. Повышение напряжения увеличивает ширину и уменьшает высоту валика, так как возрастает длина дуги, что приводит к повышению потерь на угар, разбрызгивание и т.п. При слишком большом напряжении формирование валика ухудшается, он получается очень широким. Повышение тока приводит к резкому увеличению глубины проплавления и образованию высоких, узких валиков. Это связано с более интенсивным вытеснением жидкого металла из-под электрода вследствие увеличения давления дуги и ростом погонной энергии.

Влияние параметров дуговой наплавки на долю основного металла характеризуется сложной зависимостью (рис.4). В общем случае, увеличение этих параметров приводит к увеличению доли основного металла, однако следует отметить наличие таких диапазонов наплавки, для которых при увеличении тока величина доли основного металла остается практически неизменной или уменьшается. Это объясняется соотношением величин тока и напряжения, от которых зависит тепловая мощность дуги и, соответственно, скорость роста площади наплавки и площади расплавленного основного металла, определяющих долю основного металла (1).

Как видно из рис.3 и 4, при наплавке и плоских и цилиндрических деталей на одинаковых режимах наблюдаются практически идентичные зависимости по влиянию режимов наплавки на ширину валика и долю основного металла. Погрешность, наблюдаемая на рисунках, находится в пределах 3...5 %, что не превышает статистической ошибки и объясняется сложением соответствующих погрешностей при измерении электрических параметров наплавки, порезке образцов на отдельные шлифы, вычислении средних значений по этим шлифам и недостаточной стабильностью используемого в работе источника питания ВДУ-506.

Следует отметить более низкую величину проплавления основного металла в случае наплавки цилиндрических деталей (рис.5). Это связано с тем, что большее значение для формирования слоя, наплавленного на цилиндрическую деталь, имеет правильный выбор смещения с зенита, т.е. расстояния от зенита наплаваемой поверхности до оси электрода (рис.6). Форма сечения наплавленного валика будет определяться тем, как уравниваются давление дуги и гидростатическое давление жидкой ванны.

Если наплавляемый участок поверхности наклонен в ту же сторону, куда перемещается дуга, уровень жидкого металла в кратере повышается, и расплавленный металл как бы вытесняет дугу. Это приводит к уменьшению глубины проплавления и валик приобретает наиболее благоприятную форму (рис.6, б).



Э – ось электрода, И – зенит;  
 а – ось электрода совпадает с зенитом,  
 б – ось электрода смещена с зенита против  
 направления вращения

Рисунок 6 – Влияние смещения с зенита на глубину проплавления и форму сечения наплавленного валика [3]

**Выводы.** На проплавление и долю основного металла в наплавленном наибольшее влияние оказывает величина тока наплавки, а на стабильность процесса наплавки, качество формирования наплавленного металла и наличие в нем дефектов – напряжение дуги.

В ходе сравнительных исследований по наплавке открытой дугой плоских и цилиндрических деталей установлено, что в обоих случаях наблюдаются практически идентичные зависимости по влиянию режимов наплавки на ширину валика и долю основного металла. Меньшая глубина проплавления при наплавке цилиндрических деталей по сравнению с наплавкой плоских деталей на одинаковых режимах объясняется влиянием смещения с зенита оси электрода. Установленные зависимости позволяют использовать результаты по наплавке плоских образцов при подборе оптимальных режимов наплавки цилиндрических деталей.

Определены оптимальные диапазоны режимов для наплавки самозащитными порошковыми проволоками диаметрами 1,8; 2,4 и 2,8 мм, обеспечивающие получение качественного наплавленного металла типа 25Х5ФМС с минимальным проплавлением основного металла.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Исследования и разработки ИЭС им. Е.О.Патона в области электродуговой сварки и наплавки порошковой проволокой (Обзор) / [И.К.Походня, В.Н.Шлепаков, С.Ю.Максимов, И.А.Рябцев] // Автоматическая сварка. – 2010. – № 12. – С.34-42.
2. Рябцев И.А. Теория и практика наплавочных работ / И.А.Рябцев, И.К.Сенченков. – Киев: Екотехнологія, 2013. – 400с.
3. Фрумин И.И. Автоматическая электродуговая наплавка / И.И.Фрумин. – Харьков: Metallurgizdat, 1961. – 421с.
4. Компьютерная информационно-измерительная система для исследования процессов дуговой наплавки / [И.А.Рябцев, Ю.Н.Ланкин, В.Г.Соловьев и др.] // Автоматическая сварка. – 2015. – № 9. – С.34-37.

Поступила в редколлегию 10.10.2016.