

УДК 621.795

ПЛАЗМЕННАЯ НАПЛАВКА МЕДИ НА СТАЛЬ НА ТОКЕ ОБРАТНОЙ ПОЛЯРНОСТИ

© 2014 С.Д. Неулыбин, Ю.Д. Щицын, П.С. Кучев, И.А. Гилев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Поступила в редакцию 20.03.2014

Представлены результаты исследования и разработки технологии плазменной наплавки током обратной полярности меди на сталь. Определены оптимальные условия формирования наплавленного валика. Показана принципиальная возможность получения бездефектных наплавленных поверхностей при минимальных затратах и высокой производительности.

Ключевые слова: *плазма, наплавка, обратная полярность, медь*

Одним из направлений, определяющих дальнейшее развитие экономики, является снижение материалоемкости, повышение технического уровня и качества продукции на базе применения новых конструкционных материалов. Используя различные по составу металлические и неметаллические материалы, можно придавать рабочей поверхности детали требуемые свойства: кислотостойкость, жаропрочность, коррозионная стойкость, износостойкость, антифрикционные свойства и другие [1]. Медь обладает такими уникальными свойствами, как электро- и теплопроводность, коррозионная стойкость, пластичность. Медь сохраняет прочность и пластичность при температуре до -269°C . Все это позволяет использовать медь при изготовлении изделий военной промышленности, химической аппаратуры, кристаллизаторов, испарителей, фурм доменных печей, уплотнителей запорной арматуры нефтяной промышленности и во многих других областях техники [2]. Во многих изделиях применение меди во всем объеме изделия экономически не целесообразно. Замена монолитных деталей, полученных из отливок цветных металлов, биметаллическими – актуальная задача на сегодняшний день, позволяющая снизить расход дорогостоящих компонентов и себестоимость изготовления, а также повысить производительность. Номенклатура деталей со специальными свойствами рабочей поверхности весьма разнообразна по массе, форме, материалам

и условиям работы. Это вызвало появление различных видов и способов нанесения покрытий.

Одним из современных методов нанесения рабочих покрытий является наплавка. При наплавке разнородных материалов стремятся снизить долю участия основного материала в наплавленном слое. Масса наплавляемого металла при этом составляет 2-6% массы самой детали в целом, однако работоспособность такой детали увеличивается в разы, что определяет высокую экономическую эффективность наплавки [3]. В настоящее время в промышленности широкое применение нашли методы наплавки, основанные на плавлении основного и присадочного металла: ручная наплавка покрытыми электродами, электродуговая наплавка в среде защитных газов, электрошлаковая, газовая. Однако эти методы имеют свои достоинства и недостатки. Одним из основных недостатков является повышенная доля основного материала в наплавленном слое. В случае применения способов наплавки, при которых основной металл расплавляется, происходит перемешивание расплавленной стали с жидкой медью и протекают физико-химические процессы на межфазной границе. Вследствие этого в металл наплавки переходит большое количество железа (от 4 до 55-60%) и, естественно, оно будет находиться в структурно-свободном состоянии в виде отдельной фазы. Свойства наплавленного слоя при этом снижаются, и изделие не удовлетворяет требуемым характеристикам [4].

Целый ряд факторов затрудняют наплавку меди и ее сплавов на сталь:

1. Высокая теплопроводность меди. Она вызывает необходимость применения концентрированных источников нагрева большой мощности и во многих случаях предварительного и сопутствующего подогрева основного металла при сварке.

Неулыбин Сергей Дмитриевич, инженер. E-mail: sn-1991@mail.ru

Щицын Юрий Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Сварочное производство и технология конструкционных материалов». E-mail: svarka@pstu.ru

Кучев Павел Сергеевич, инженер. E-mail: kучев.p@gmail.com

Гилев Иван Александрович, магистр

2. Легкая окисляемость меди в расплавленном состоянии. При этом образуется оксид меди Cu_2O , который растворяется в жидкой меди и образует в ней эвтектический сплав с более низкой температурой плавления, что снижает стойкость металла шва против кристаллизационных трещин.

3. Большая растворимость водорода в расплавленной меди, является причиной образования пор.

4. Высокий коэффициент линейного расширения меди (в 1,5 раза больше, чем у стали). Это вызывает значительные остаточные деформации конструкций.

5. Большая жидкотекучесть меди.

Использование концентрированных источников энергии для наплавки позволит решить большую часть проблем. Плазменная наплавка имеет ряд преимуществ. Это высокий КПД процесса, простота технического воплощения, возможность 100% автоматизации, мобильность оборудования, широкий диапазон регулирования параметров режима наплавки. Плазменная наплавка обеспечивает минимальное проплавление основного металла и позволяет снизить долю участия основного металла в наплавленном слое [5].

Цель работы: исследование и разработка технологии плазменной наплавки меди на сталь закрытой дугой при работе плазматрона на токе обратной полярности.

При работе на прямой полярности изделие является анодом. Анодные процессы сопровождаются повышенным выделением тепла, это приводит к глубокому проплавлению основного материала и повышению доли участия его в наплавленном слое. При наплавке на обратной полярности изделие является катодом. Теплопередача в этом случае осуществляется двумя механизмами: одна часть переносится за счет потока плазмы (от столба дуги), вторая за счет приэлектродных процессов на поверхности изделия (нестационарные катодные пятна). Отличительной особенностью нестационарных катодных пятен является кратковременность их существования и высокая плотность тока в них (порядка 10^5 - 10^6 А/см²). Большая плотность обеспечивает высокие удельные тепловые потоки (до 10^6 - 10^7 Вт/см²) [6]. Это приводит к резкому нагреву, расплавлению и испарению металла в очень тонком поверхностном слое. В результате катодного эффекта происходит очистка поверхности основного металла от окислов и загрязнений, улучшается смачивание наплавляемой поверхности жидким металлом и повышается качество сплавления [7].

Установлено, что решающее влияние на ширину зоны катодной очистки оказывают: сварочный ток, $I_{св}$, расход защитного газа, $Q_з$, л/мин, скорость перемещения плазматрона, $V_{св}$, м/час.

Увеличение $I_{св}$ и $Q_з$ и уменьшение $V_{св}$ расширяют зону катодной очистки, причем, рост происходит до определенного предела ($Bo=1,5 Dз$), где $Dз$ диаметр защитного сопла плазматрона. Значительное увеличение $I_{св}$ или уменьшение $V_{св}$ приводит к подплавлению поверхности образцов и соответственно к привязке дуги. Стоит отметить, что использование закрытой дуги вследствие полного заполнения камеры аргоном позволяет достичь размеров ширины зоны более чем 1,5 $Dз$ и ограничивается геометрическими размерами камеры (рис. 1). Более того, применение камеры позволяет защитить зону сварки от взаимодействия с атмосферой. Благодаря этому удастся избежать пористости наплавленного слоя.

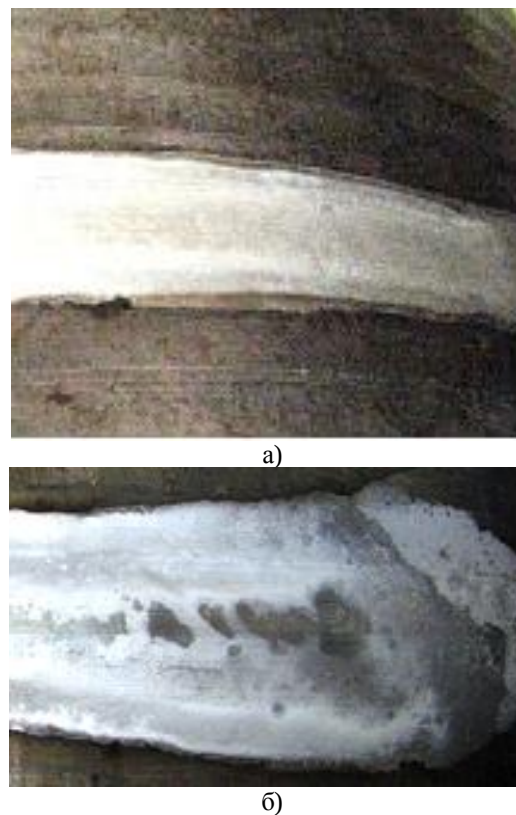


Рис. 1. Внешний вид поверхности подвергнутой катодной очистке: а) открытой дугой; б) закрытой дугой

Материалы и методы. Работа выполнялась на оборудовании, разработанном на кафедре «СП и ТКМ». Использовался универсальный плазматрон и блок плазменной сварки, для работы на прямой и обратной полярности. Схема процесса представлена на рис. 2.

Плазменная наплавка производилась на стальную пластину 09Г2С ($\delta=8$ мм) медной проволокой М1 ($d=1,5$ мм) закрытой плазменной дугой с последовательным наложением параллельных валиков с взаимным перекрытием на 30%. Погонная энергия – 27500 Дж/см (рис. 3). По результатам наплавки видно, что отсутствует заметная волнистость наплавленного слоя, на-

блюдается хорошее смачивание основного материала наплавляемой медью. Ширина одного наплавленного валика составляет – 23 мм, высота валика – 2,5 мм.

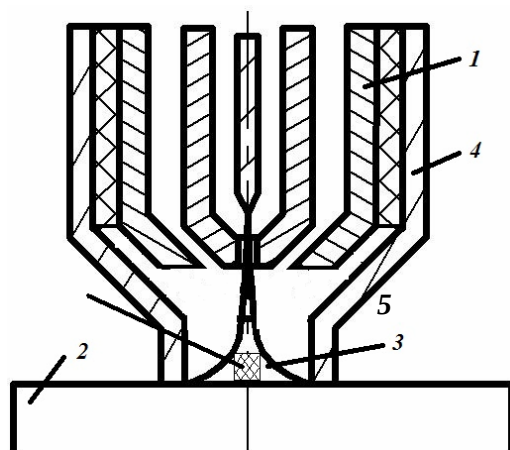


Рис. 2. Структурная схема закрытой дуги:
1 – плазмотрон; 2 – изделие; 3 – плазменная дуга; 4 – медный водоохлаждаемый концевик; 5 – присадочная проволока



Рис. 3. Вид наплавленной поверхности

На рис. 4 и 5 представлены результаты исследования макро- и микроструктуры наплавленных образцов. Зону наплавки можно разбить на 4 характерных участка:

1 – наплавленный металл медь – видна крупнозернистая литая структура характерная при сварке, наплавке.

2 – зона сплавления. Видна четкая граница сплавления двух материалов. Зона взаимного проникновения основного и наплавленного материала минимальна. Происходил нагрев основного металла выше температуры A_{c3} . Структура в этом участке представляет зону полной перекристаллизации, наблюдается закалочная структура мартенсито-бейнитного типа без заметного укрупнения зерна.

3 – зона термического влияния. Интервал температур нагрева от A_{c3} до A_{c1} . происходит неполная перекристаллизация. Структура феррито-перлитная с постепенным уменьшением размера зерна по мере перехода к основному материалу.

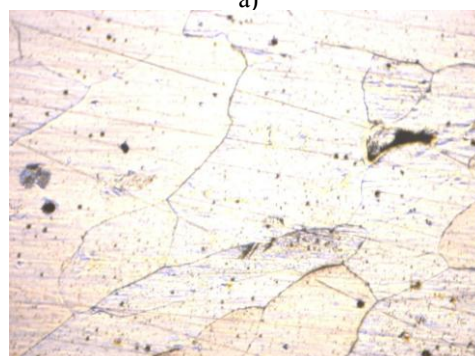
4 – основной материал. Структура основы характерная для стали 09Г2С феррито-перлитная после проката.



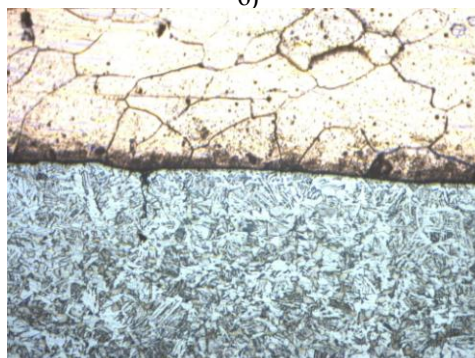
Рис. 4. Макроструктура наплавленного образца



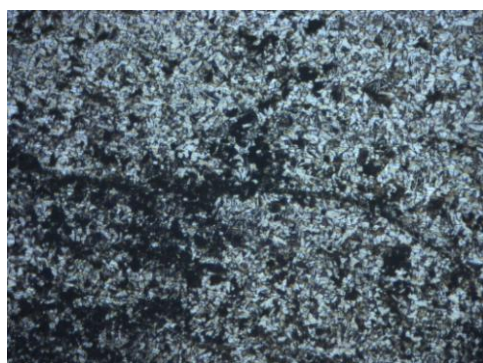
а)



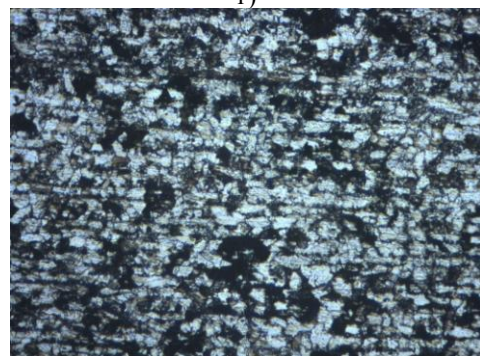
б)



в)



г)



д)

Рис. 5. Микроструктура образца с обозначением характерных участков наплавки (x200): а) общий вид, б) участок 1, в) участок 2, г) участок 3, д) участок 4

При наплавке меди на сталь на токе обратной полярности с использованием закрытой дуги наблюдается четкая граница сплавления, обеспечивается структурная однородность металла наплавки в различных микроучастках, удается максимально сократить размер переходной зоны. Наплавленный слой плотный, отсутствуют включения стали, усадочные раковины, поры, кристаллизационные трещины.

Выводы:

1. Использование тока обратной полярности при плазменной наплавке позволяет наносить наплавленный слой без расплавления основы, благодаря этому зона взаимного проникновения двух материалов минимальна.
2. Наблюдается четкая граница сплавления двух материалов.
3. Установлено, что при наплавке закрытой дугой ширина валика за один проход составляет 23 мм, а высота – 2,5 мм, что обеспечивает высокую производительность процесса.
4. Применение плазменной наплавки меди закрытой дугой при работе плазматрона на токе обратной полярности обеспечивает надежную защиту зоны расплавленного металла, отсутствие дефектов наплавленном слое.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Готальский, Ю.Н. Сварка разнородных сталей. – К.: Техніка, 1981. 184 с.
2. Абрамович, В.Р. Сварка плавлением меди и сплавов на их основе / В.Р. Абрамович, В.П. Демьянцевич, Л.А. Ефимов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1988. 215с.
3. Вайнерман, А.Е. Плазменная наплавка металлов / А.Е. Вайнерман, М.Х. Шоршоров, В.Д. Веселков, В.С. Новосадов. – М.: Машиностроение, 1969. 192 с.
4. Рябов, В.Р. Сварка разнородных металлов и сплавов / В.Р. Рябов, Д.М. Рабкин, Р.С. Курочко, Л.Г. Стрижевская. – М.: Машиностроение, 1984. 239 с.
5. Сидоров, В.П. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. – М.: Машиностроение, 1980. 190 с.
6. Приэлектродные процессы и эрозия электродов плазматронов. – Новосибирск, 1977, сборник статей.
7. Щицын, Ю.Д. Возможности плазменной обработки металлов током обратной полярности / Ю.Д. Щицын, О.А. Косолапов, В.Ю. Щицын // Сварка. Диагностика. 2009. №2. С. 42-45.

PLASMA SURFACING OF COPPER ON STEEL AT OPPOSITE POLARITY CURRENT

© 2014 S.D. Neulybin, Yu.D. Shchitsyn, P.S. Kuchev, I.A. Gilev

Perm National Research Polytechnical University

Results of research and development the technology of plasma surfacing by opposite polarity current of copper on steel are presented. Optimum conditions of formation the built-up roller are defined. Basic possibility of receiving the faultless built-up surfaces at the minimum expenses and high efficiency is shown.

Key words: *plasma, surfacing, opposite polarity, copper*

Sergey Neulybin, Engineer. E-mail: sn-1991@mail.ru; Yuriy Shchitsyn, Doctor of technical Sciences, Professor, Head of the Department "Welding Production and Technology of Constructional Materials". E-mail: svarka@pstu.ru; Pavel Kuchev, Engineer. E-mail: kuchev.p@gmail.com; Ivan Gilev, Master