

УДК 621.791.755

Ю.Д. Щицын, С.Д. Неулыбин, П.С. Кучев, И.А. ГилевПермский национальный исследовательский
политехнический университет**ПЛАЗМЕННАЯ НАПЛАВКА
ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ 10X18H8T
НА НИЗКОЛЕГИРОВАННУЮ СТАЛЬ 09Г2С**

Представлены результаты исследования плазменной наплавки высоколегированной стали при работе плазматрона на токе прямой и обратной полярности. Установлена зависимость качества наплавленного слоя от полярности тока. Проведено металлографическое исследование и замер микротвердости наплавленного слоя.

Ключевые слова: плазматрон, плазменная наплавка, высоколегированная сталь, полярность, микротвердость.

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

Perm National Research Polytechnic University

**PLASMA SURFACING
OF HIGH-ALLOY STEEL 10CR18NI8TI
ON LOW-ALLOY STEEL 09MG2SI**

The results of the research of plasma surfacing high-alloy steel at work plasmatron on current direct and reverse polarity. The dependence of the quality of the deposited layer on the polarity of the current. Conducted metallographic examination and microhardness measurement of the deposited layer.

Keywords: plasma torch, plasma surfacing, high-alloy steel, polarity, microhardness.

Развитие современного машиностроения связано с повышением надежности конструкций, уменьшением металлоемкости при одновременном улучшении технических характеристик, снижением себестоимости изделия. Как известно, рабочая поверхность изделия испытывает воздействие агрессивных сред, нагрузок, повышенных температур. В связи с этим во многих отраслях промышленности широкое применение находят композитные конструкции, а наплавка разнородных металлов является актуальной проблемой сварочной науки и техники [1].

Требования к коррозионной стойкости металлических конструкционных сплавов, предъявляемые современной техникой, становятся все более высокими. Появляются новые особо агрессивные среды, повышаются температуры, давления и механические нагрузки, при которых работают ответственные металлоконструкции. Именно поэтому в последнее время широкое распространение получили коррозионно-стойкие стали и сплавы.

В настоящее время при оценке конструкционных свойств металлических сплавов характеристика их физико-химической (коррозионной) стойкости является одним из важнейших показателей наряду с показателями прочности. Борьба с коррозией – это ежегодное сохранение многих миллионов тонн черных и цветных металлов и экономических ресурсов. Разработка новых сплавов с повышенной коррозионной стойкостью и более эффективных методов защиты металлических конструкций от коррозионного разрушения в самых разнообразных условиях их эксплуатации – актуальная задача [2].

Необходимость получения биметаллических материалов возникает при изготовлении самых разнообразных изделий: сосудов химического машиностроения, изделий авиационной промышленности, строительной индустрии, также они необходимы в электротехнике и приборостроении, при изготовлении товаров широкого потребления.

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 мас. % детали в целом, однако работоспособность такой детали увеличивается в разы. Широкое использование биметаллических конструкций, полученных методом наплавки, объясняется не только технологическими, но и экономическими преимуществами [3].

Наплавка разнородных материалов, как правило, связана с рядом дополнительных технологических трудностей и поэтому требует глубокой разработки технологического процесса, применения различных способов и приемов, обеспечивающих направленное регулирование тепловых и диффузионных процессов с целью получения изделий с требуемыми свойствами.

Поскольку при наплавке разнородных сталей в зоне сплавления неизбежно образуется переходный слой с малопластичными структурами, для получения сварного соединения требуемого качества необ-

ходимо применять способ наплавки, который позволяет нейтрализовать вредное влияние этого слоя. Одним из способов нейтрализации вредного влияния переходной зоны является уменьшение ее размеров до минимума. Необходимо применять соответствующий способ и режимы наплавки, обеспечивающие минимальное проплавление основного материала и увеличение подвижности металла сварочной ванны у ее границ [4].

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. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки. Одним из основных недостатков является повышенная доля основного материала в наплавленном слое (таблица).

Характеристики переходной зоны при различных способах наплавки

Способ наплавки	Глубина проплавления основного металла, мм	Доля участия основного металла в наплавленном слое, мм
Ручная дуговая	–	30–40
Автоматическая под слоем флюса	1–1,7	10–25
Автоматическая аргоно-дуговая наплавка	1–1,5	10–15
Плазменная наплавка	0,3–0,5	5

Применение плазменных технологий благодаря своим преимуществам позволяет решить ряд проблем, связанных с наплавкой разнородных материалов. В целом плазменные источники нагрева характеризуются мощностью, плотностью теплового потока, среднемассовой температурой, газодинамическим и химико-металлургическим воздействием на обрабатываемое изделие [5].

При наплавке аустенитных сталей на стали перлитного класса нужно учитывать следующие особенности, определяющие выбор наплавляемого материала, способ наплавки и работоспособность наплавленного соединения:

- изменение состава наплавленного металла в участках, прилегающих к основному металлу, при различном легировании;
- развитие в зоне сплавления разнородных металлов хрупких кристаллизационных и диффузионных прослоек переменного состава;

– наличие остаточных напряжений в соединениях сталей определяемых разными коэффициентами линейного расширения соединяемых металлов.

Целью настоящей работы являлось исследование вариантов плазменной наплавки нержавеющей стали 10X18H8T на низколегированную сталь 09Г2С и проведение сравнительного анализа качества наплавленного слоя при работе плазмотрона на токах прямой и обратной полярности.

При работе на токе прямой полярности изделие является анодом. В этом случае распределение мощности по пятну нагрева подчиняется закону нормального распределения Гаусса.

При таком распределении максимальная мощность сосредоточена в центре пятна нагрева и при достаточных значениях тока дуги вызывает сильное подплавление обрабатываемой поверхности, что не всегда необходимо. При наплавке на обратной полярности изделие является катодом. В отличие от плазменной дуги прямой полярности, плазменная дуга обратной полярности характеризуется более равномерным распределением тепловой мощности по поверхности изделия. 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). Одной из отличительных особенностей нестационарных пятен является кратковременность их существования и большая плотность тока в них.

Сжатая дуга оказывает как тепловое, так и значительное силовое воздействие на зону обработки. Известно, что суммарное силовое воздействие и распределение теплового воздействия определяется рядом факторов: током дуги, расходом плазмообразующего газа, диаметром плазмообразующего сопла и длиной свободного участка сжатой дуги [6].

В качестве рабочего инструмента использовался универсальный плазмотрон и блок плазменной сварки, разработанные на кафедре сварочного производства и технологии конструкционных материалов Пермского национального исследовательского политехнического университета. Для выполнения наплавки использовался универсальный станок для плазменной наплавки. Это оборудование представляет собой мобильный блок и плазменную горелку для сварки металлов

и сплавов. Для питания сжатой дуги использовался источник питания типа ФЕБ ВД-300Р «Строитель». В качестве защитного и плазмообразующего газа использовался аргон.

Плазменная наплавка производилась на стальную пластину 09Г2С ($\delta = 8$ мм) нержавеющей стальной проволокой 10X18H8T ($d = 1,6$ мм) плазменной дугой прямой и обратной полярности с последовательным наложением параллельных валиков со взаимным перекрытием на 30 %. Погонная энергия составляет 28 500 Дж/см, $d_{п-с} = 4,5$ мм, $V_{п.п} = 1,4$ м/мин. Ширина наплавленного валика при работе плазматрона на токе обратной полярности составляет 13,4 мм, высота 2 мм, максимальная глубина проплавления 2,2 мм. При наплавке на обратной полярности менее заметна волнистость наплавленной поверхности (рис. 1, б).

При наплавке на токе прямой полярности ширина наплавленного слоя составляет 8,3 мм, высота 2,4 мм, максимальная глубина проплавления 2 мм (рис. 1, а).

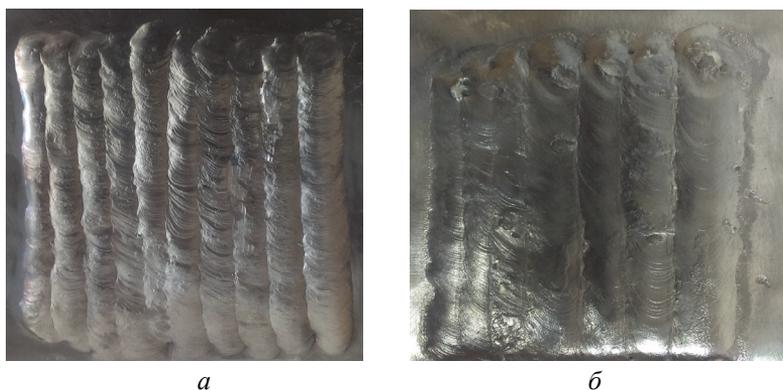


Рис. 1. Наплавленная поверхность: а – на токе прямой полярности, б – на токе обратной полярности

После наплавки были изготовлены образцы для проведения металлографического исследования. Зону наплавки можно разбить на 4 характерных участка (рис. 2). Макро- и микроструктурный анализ представлены на рис. 3–5.

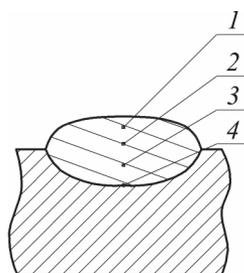


Рис. 2. Характерные участки наплавленного валика

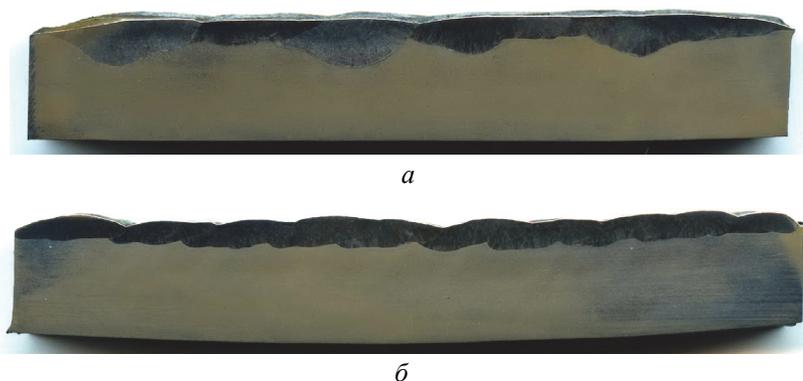


Рис. 3. Макроснимок наплавки: *a* – на токе обратной полярности; *б* – на токе прямой полярности. $\times 2$

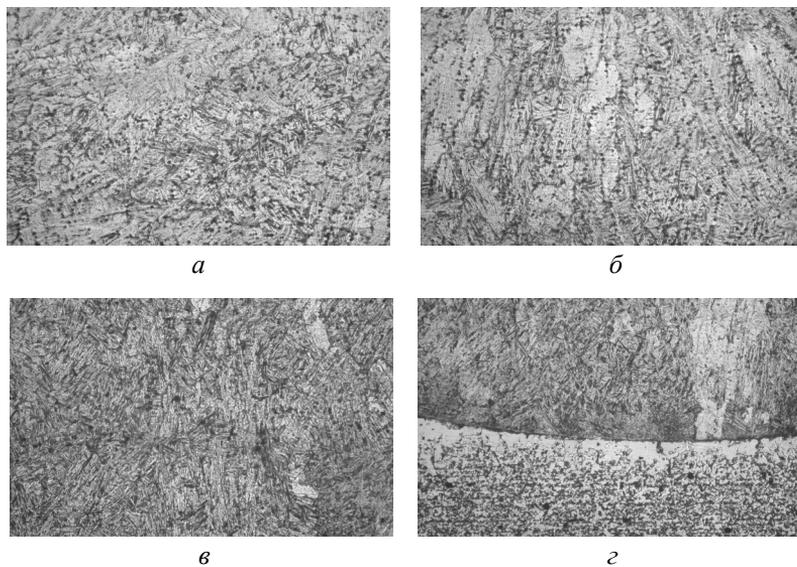


Рис. 4. Микроструктура наплавленного слоя при работе на токе обратной полярности: *a* – участок 1; *б* – участок 2; *в* – участок 3; *г* – участок 4. $\times 100$

При наплавке на токах обратной полярности удается получить благоприятную мелкозернистую дендритную структуру игольчатого типа – участок 1, далее наблюдается вытягивание дендритов при сохранении благоприятной структуры – участок 2. Участок 3 – пропадает дендритность, игольчатость сохраняется. Участок 4 – произошла небольшая диффузия, переходная зона минимальная.

Благодаря высоким скоростям охлаждения и удельным тепловым потокам не происходит значительного нагрева основного материала. Нагрев происходит не выше температуры A_{c1} , следовательно, фазовых превращений основного материала не происходит. При наплавке образуется четкая граница сплавления, отсутствует перемешивание основного и наплавленного материала. Также отсутствует четкая направленность фронта кристаллизации. При замере микротвердости в характерных участках наблюдается увеличение твердости наплавленного слоя (420–460 НВ), значительных изменений твердости основы не происходит (160 НВ).

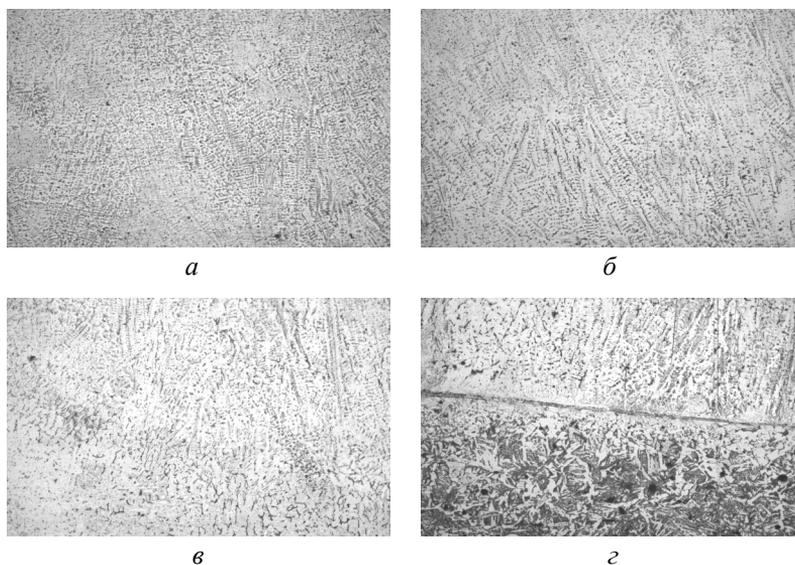


Рис. 5. Микроструктура наплавленного слоя при работе на токе прямой полярности: *а* – участок 1; *б* – участок 2; *в* – участок 3; *г* – участок 4. $\times 100$

При наплавке на прямой полярности на участке 1 наблюдается мелкодендритная структура, характерная для стандартной кристаллизации, на участке 2 структура не претерпевает серьезных изменений, наблюдается увеличенная переходная зона. Структура наплавленного и основного материала характерна для традиционных способов наплавки, основанных на плавлении, образуется характерная видманштеттова структура. Линия сплавления увеличена, местами происходит перемешивание наплавленного и основного материала. Наблюдается определенная направленность фронта кристаллизации в направлении от линии сплавления. Однако следует отметить качество наплавки: отсутствуют дефекты – трещины, поры, неметаллические включения. Распределение твердости по сечению шва

характерно для сварочных швов с незначительным разупрочнением основного материала. Твердость по сечению шва составляет 100–190 НВ, твердость основного материала 110–170 НВ.

Сделаем следующие выводы:

1. Проведено исследование вариантов плазменной наплавки высоколегированной стали 10X18H8T на низколегированную сталь 09Г2С при работе плазмотрона на токе прямой и обратной полярности.

2. Плазменная наплавка позволяет получить наплавленный слой высокого качества.

3. При плазменной наплавке на токе прямой полярности структура наплавленного слоя и основного материала характерна для традиционных методов наплавки.

4. При плазменной наплавке на обратной полярности тока удается получить бездефектный наплавленный слой с мелкодисперсной игольчатой структурой высокой твердости.

5. Линия сплавления при наплавке на обратной полярности четкая, отсутствует перемешивание наплавленного и основного материала.

6. Применение тока обратной полярности позволяет увеличить ширину наплавленного валика за один проход в 1,5 раза по отношению к прямой полярности тока.

Список литературы

1. Сварка разнородных металлов и сплавов / В.Р. Рябов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1984. – 239 с.

2. Тормашов Н.Д., Чернова Г.П. Теория коррозии и коррозионно-стойкие конструкционные сплавы. – М.: Металлургия, 1986. – 359 с.

3. Строение и свойства биметаллических материалов / А.И. Тананов [и др.]. – М.: Наука, 1975. – 124 с.

4. Готальский Ю.Н. Сварка разнородных сталей. – Київ: Техніка, 1981. – 184 с.

5. Плазменная наплавка металлов / А.Е. Вайнерман [и др.]. – М.: Машиностроение, 1969. – 192 с.

6. Щицын Ю.Д., Косолапов О.А., Щицын В.Ю. Возможности плазменной обработки металлов током обратной полярности // Сварка. Диагностика. – 2009. – № 2. – С. 42–45.

Получено 17.07.2014

Щицын Юрий Дмитриевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Сварочное производство и технология конструкционных материалов» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: svarka@pstu.ru

Неулыбин Сергей Дмитриевич (Пермь, Россия) – инженер кафедры «Сварочное производство и технология конструкционных материалов» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: sn-1991@mail.ru

Кучев Павел Сергеевич (Пермь, Россия) – ассистент кафедры «Сварочное производство и технология конструкционных материалов» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: kучев.p@gmail.com

Гилев Иван Александрович – магистрант гр. ТСП-11м Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: navokain@mail.ru

Shicin Yuri Dmitrievich (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department “Welding Technology and Production of Structural Materials”, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: svarka@pstu.ru

Neulybin Sergei Dmitryevich (Perm, Russian Federation) – Engineer, Department “Welding technology and Production of Structural Materials”, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: sn-1991@mail.ru

Kuchev Pavel Sergeevich (Perm, Russian Federation) – Assistant, Department “Welding Technology and Production of Structural Materials”, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: kучев.p@gmail.com

Gilev Ivan Alexandrovich (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: navokain@mail.ru