

УДК 621.791.927.5

Макаренко Н. А., Куликов В. П.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ УПРОЧНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ТИПА «ШТОК»

Такие изделия, как штоки, судовая арматура, облицовочные поверхности трубных валов, вварыши, переборочные стаканы, направляющие подшипника, пары трения, наплавляются с целью их восстановления и упрочнения [1].

Для наплавки применяются медные сплавы, которые наносятся на стали различных структурных классов, например, таких как перлитные, аустенитные, ферритные, бейнитные, а также бейнито-мартенситные [2].

В данном случае, наплавка должна обеспечивать высокие механические свойства изготавливаемых изделий при статистических, знакопеременных и ударных нагрузках при одновременной экономии цветных металлов.

Обычно для этих целей используют в качестве наплавленного материала не только медь, но и ее сплавы (медно-марганцевые и медно-никелевые), а также латуни. При этом, выбранный способ нанесения покрытия должен обеспечивать получение наплавленного слоя заданного состава (хорошо сопротивляющегося коррозии и обладающего антифрикционными свойствами) за минимальное количество проходов и, к тому же, обеспечивать высокую прочность соединения наплавленного металла с основой на отрыв и на срез (приближающуюся к аналогичным свойствам наплавленного медного сплава).

Одной из важнейших задач при наплавке металлов является снижение доли основного металла в наплавленном валике, что особенно является важным при наплавке на сталь бронз, высоколегированных сталей и сплавов. В настоящее время для различных способов наплавки эта проблема частично решена.

До сих пор на промышленных предприятиях как Украины, так и стран, расположенных на территории постсоветского пространства, широко применяется ручной дуговой способ при наплавке на сталь цветных металлов и сплавов, несмотря на существенные недостатки, свойственные данному процессу восстановления и упрочнения (например, наличие при данном процессе нанесения покрытий большого перемешивания основного и наплавленного металлов; имеющаяся прямая зависимость качества наплавки от квалификации сварщика и т.д.). Этот процесс целесообразно применять только в экстренных случаях, когда на предприятиях возникает необходимость в срочном восстановлении изделий, носящем единичный характер (в том случае, если на предприятии сварочное производство развито слабо и, как следствие, оно не имеет соответствующей научно-производственной базы).

Более широко для получения биметаллических изделий (особенно в условиях серийного и массового производств) используют наплавку под слоем флюса с применением порошковой проволоки. Данный способ характеризуется хорошими технико-технологическими показателями (в частности, позволяет получить достаточно низкий коэффициент проплавления основного металла и обеспечить автоматизацию процесса наплавки, где это возможно и целесообразно осуществить, например, при крупно-серийном и массовом производствах; в случаях, когда изделие является технологичным). Особенно перспективным является технологический способ нанесения покрытия, разработанный авторами исследований [3–6], которые для снижения содержания железа в наплавленном металле рекомендуют использовать расщепленный электрод, при этом доказана необходимость снижения тенденции к образованию межкристаллитных проникновений за счет уменьшения погонной энергии.

Например, такие изделия как подшипники, шестерни и втулки ответственного назначения работают в условиях высоких удельных давлений и поэтому их изготавливают из элитных бронз. Сейчас в промышленности есть тенденция заменять литые бронзовые детали (изготовленные, например, из оловянно-фосфоритной бронзы типа Бр010Ф) биметаллическими (особенно, если эти изделия крупногабаритные), что приводит к экономии дефицитных цветных металлов [6].

Однако, наплавка под слоем флюса, несмотря на ряд ее достоинств, имеет и ряд недостатков, решить которые иногда представляется невозможным (например, решая вопрос только за счет применения специфических технологических приемов данного метода с одновременным обеспечением выбора оптимальных режимов технологического процесса). При данном способе все равно наблюдается незначительная глубина проплавления основного металла, что в последствии приводит к возникновению трещин в изделии.

В последние годы во всем мире наметилась тенденция широкого применения плазменных процессов при изготовлении биметаллических изделий. По сравнению с наплавкой под флюсом (не говоря уже о ручной дуговой наплавке) плазменный процесс нанесения покрытий позволяет получить значительно меньшую глубину проплавления материала изделия.

Наиболее оптимальным выбором способа восстановительной и упрочнительной наплавки является плазма-МИГ наплавка с применением в качестве плавящегося электрода порошковой проволоки. Данный процесс возможно проводить на таких режимах наплавки, что перемешивание основного и наплавленного металлов будет практически нулевым, в этом случае процесс может приближаться к «пайко-сварке». Однако, и этому процессу присущи недостатки [7, 8]. В частности, промышленностью не выпускаются специализированные порошковые проволоки, предназначенные непосредственно для плазменной сварки и наплавки с аксиальной их подачей, что существенно усложняет широкое применение в производстве данного процесса восстановления и упрочнения. При данном методе проблема снижения глубины проплавления решается (в основном) за счет выбора режимов, обеспечивающих вращение дуги плавящегося электрода, что позволяет получать широкий валик наплавленного металла (так необходимый при наплавке) или за счет применения специализированных наплавочных материалов [2, 9].

Таким образом, можно сделать вывод, что для различных способов наплавки проблема снижения перемешивания основного и наплавленного металлов в настоящее время частично решена. А для плазма-МИГ наплавки имеются лишь отдельные примеры решения данной проблемы, перечисленные выше.

В связи с этим поиск новых путей уменьшения доли основного металла в наплавленном является актуальной задачей.

Цель исследования заключается в создании процесса плазма-МИГ наплавки, обеспечивающего снижение доли основного металла в наплавленном.

Разработана установка плазма-МИГ наплавки, которая обеспечивает высокое качество наплавленного металла уже в первом валике. Процесс основан на импульсном принципе горения дуги (рис. 1) [10]. При этом процессе плазменная дуга горит между неплавящимся электродом плазматрона и изделием, часть тока плазменной дуги ответвляется на плавящийся электрод, который через балластный реостат и дроссель соединяется с изделием. При этом происходит нагрев плавящегося электрода активным (катодным) пятном дуги «Неплавящийся-Плавящийся электроды», что обеспечивает увеличение скорости плавления плавящегося электрода и, соответственно, увеличение доли электродного металла в наплавленном валике. Так как при таком включении плавящегося электрода в сварочную цепь катодное пятно дуги располагается на нем, то поверхность плавящегося электрода подвергается эффективной катодной очистке, что позволяет улучшить качество наплавленного металла за счет уменьшения в нем включений оксидного характера. Генератор униполярных импульсов подает

на плавящийся электрод импульсы длительностью 1,2–2,4 мс при частоте следования 300 импульсов в секунду. Во избежание шунтирования генератора балластным реостатом R в цепь последовательно с R включен дроссель L , представляющий собой большое индуктивное сопротивление для импульсного тока.

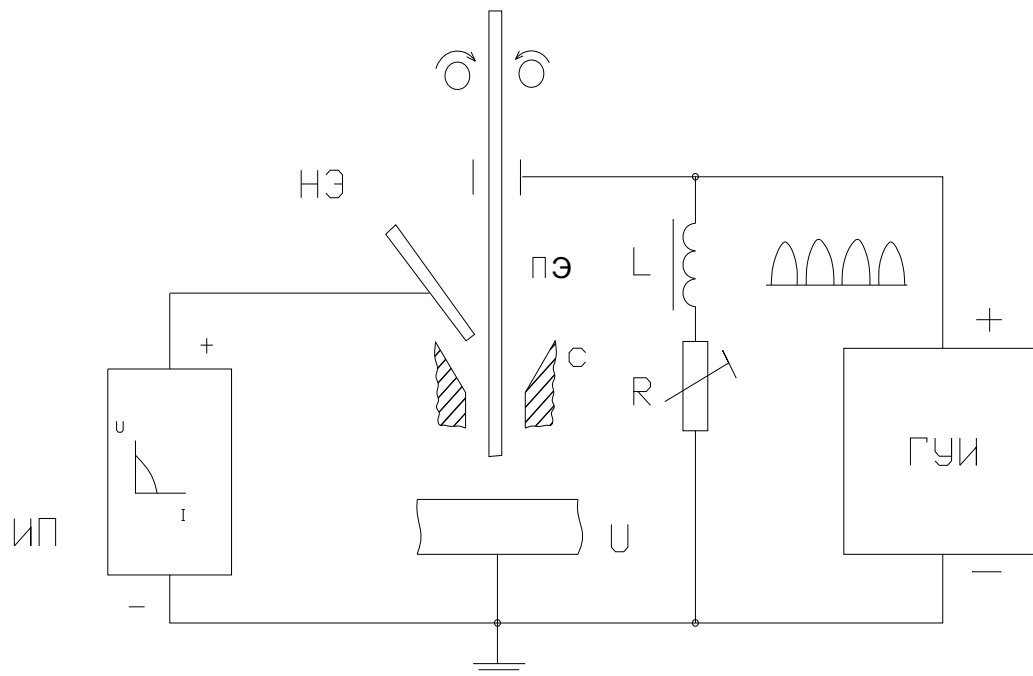


Рис. 1. Схема процесса импульсной плазма-МИГ наплавки:

ПЭ – плавящийся электрод; НЭ – неплавящийся электрод; С – сопло плазмообразующее; И – изделие; ИП – источник питания пламенной дуги; ГУИ – генератор униполярных импульсов; L – дроссель; R – балластный реостат

Генератор униполярных импульсов выполнен по принципу накопления энергии в конденсаторных батареях, регулировка энергии импульсов осуществляется изменением напряжения заряда конденсаторов и изменением емкости конденсаторных батарей.

При этом процессе плазменная дуга горит между неплавящимся электродом плазмоторона и изделием, часть тока плазменной дуги ответвляется на плавящийся электрод, который через балластный реостат и дроссель соединяется с изделием. При этом происходит нагрев плавящегося электрода активным (катодным) пятном дуги «Неплавящийся-Плавящийся электроды», что обеспечивает увеличение скорости плавления плавящегося электрода и, соответственно, увеличение доли электродного металла в наплавленном валике.

Так как при таком включении плавящегося электрода в сварочную цепь катодное пятно дуги располагается на нем, то поверхность плавящегося электрода подвергается эффективной катодной очистке, что позволяет улучшить качество наплавленного металла за счет уменьшения в нем включений оксидного характера.

Генератор униполярных импульсов подает на плавящийся электрод импульсы длительностью 1,2–2,4 мс при частоте следования 300 импульсов в секунду. Во избежание шунтирования генератора балластным реостатом R в цепь последовательно с R включен дроссель L , представляющий собой большое индуктивное сопротивление для импульсного тока.

Генератор униполярных импульсов выполнен по принципу накопления энергии в конденсаторных батареях, регулировка энергии импульсов осуществляется изменением напряжения заряда конденсаторов и изменением емкости конденсаторных батарей.

Во время паузы между импульсами тока (вследствие горения дуги между плавящимся и неплавящимся электродами) ток дуги между неплавящимся электродом и изделием резко снижается, при этом уменьшается тепловложение в изделие, что приводит к уменьшению проплавления основного металла (в то же время происходит катодная очистка поверхности основного металла от оксидов и других загрязнений).

В период прохождения импульсов тока плавящегося электрода (вследствие появления на этом электроде положительного потенциала) дуга «Неплавящийся-Плавящийся электроды» прерывается, при этом возрастает ток плазменной дуги «Неплавящийся электрод-Изделие», а также возникает дуга «Плавящийся электрод-Изделие».

Плавление предварительно подогретого плавящегося электрода обеспечивается за счет выделения тепла анодным пятном дуги «Плавящийся электрод-Изделие». Образовавшийся жидкий металл на торце плавящегося электрода переносится в ванну за счет сил Пинч-эффекта, действующих в период прохождения импульса тока. При этом на поверхности плавящегося электрода практически не остается расплавленного металла, вследствие чего эффективность его расплавления (при прохождении следующего импульса тока) резко возрастает.

Проведенные исследования показали возможность получения наплавленных валиков, имеющих глубину проплавления основного металла (сталь 20) 0,3-0,6 мм, при доле участия основного металла в наплавленном до 8%.

В условиях высоких скоростей охлаждения при кристаллизации сварочной ванны структура металла наплавки определяется количеством перешедшего в наплавку железа (эта закономерность имеет место и при использовании в качестве присадки одного и того же наплавочного материала). Кроме того, структура металла наплавки зависит от растворимости железа в наплавляемом металле. При наплавке может быть получена однофазная структура металла, то есть когда железо, перешедшее в металл наплавки, будет находиться в твердом растворе с медью. Такая структура металла наплавки может быть получена только при отсутствии расплавления основного металла (она представляет собой твердый раствор в меди не только железа, но и остальных легирующих элементов, находящихся в присадочной проволоке, например, кремния, никеля и др.).

Разработанная установка импульсной плазма-МИГ наплавки позволяет получить металл, имеющий однофазную структуру. Металлографические исследования показали, что металл, полученный с использованием данного способа нанесения покрытия, достаточно однороден (имеется в виду, что он имеет значительно высокий показатель количества выравнивания химического состава металла наплавки в различных микрообъемах, что связано с условиями прохождения кристаллизации). Однако, данные, полученные с помощью рентгеновского микроанализатора, показывают, что даже при однофазной структуре металла наплавки есть значительное различие в химическом составе наплавленного металла.

В зависимости от того, каким способом, каким присадочным материалом и на какую сталь происходит процесс наплавки медных сплавов на сталь, в структуре металла наплавки всегда будет наличие значительного количества структурно-свободного железа (это касается процессов наплавки, в которых происходит процесс расплавления основного металла). В этом случае изменение условий наплавки может привести только к изменению количества железистых составляющих в металле наплавки.

Сравнительные исследования показали, что в наплавленном металле наибольшее количество структурно-свободного железа наблюдается при наплавке ручным дуговым способом, несколько лучшие показатели – при автоматической наплавке под слоем флюсом (рис. 2).

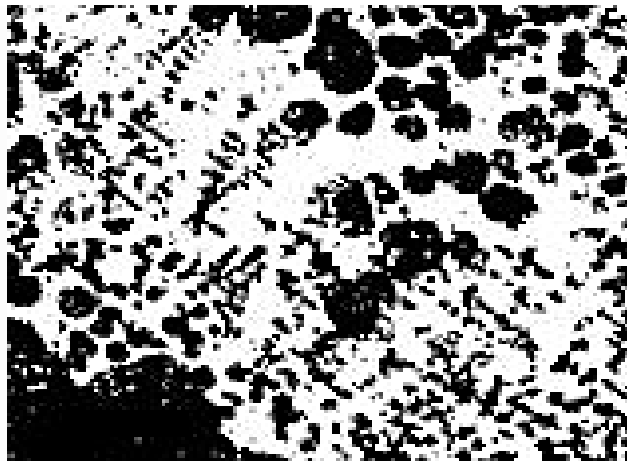


Рис. 2. Микроструктура металла, наплавленного автоматической сваркой под слоем флюса бронзы типа МНЖ5-1 на сталь 20 ($\times 300$)

Кроме того, в структуре наплавленного металла наибольшее количество железистых составляющих будет в случае наличия большей глубины проплавления основного металла и меньшей высоты слоя наплавки. Проведенные исследования показали, что разработанная установка импульсной плазма-МИГ наплавки позволяет получить наплавленный металл без включений структурно-свободного железа (рис. 3), т. к. практически отсутствует процесс расплавления основного металла (стали), при этом процесс максимально приближен к эффекту «пайко-сварка». Такое строение металла наплавки, свободного от железистых составляющих, и определяет его физико-химические и механические свойства.

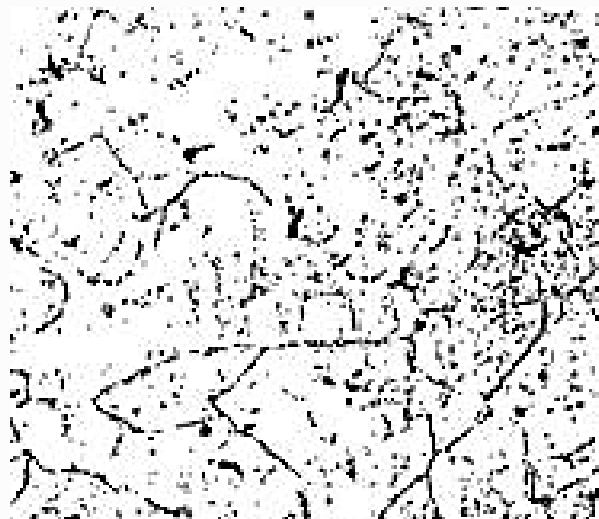


Рис. 3. Микроструктура наплавленного металла, полученная с помощью разработанной установки импульсной плазма-МИГ наплавки медного сплава (бронзы типа МНЖ5-1 на сталь 20) ($\times 150$)

Как показали исследования, в случае возникновения производственной необходимости нанесения второго слоя покрытия (например, при необходимости повторной восстановительной наплавки), целесообразно применять процесс, обеспечивающий минимально возможное расплавление предыдущих валиков, т. к. (в данном случае) в структуре металла не наблюдается практически никаких изменений: ни у границы сплавления, ни по сечению наплавленного слоя. Тогда как, в случае применения для этих целей таких процессов, как

ручная дуговая сварка, сварка под слоем флюса, а также некоторых разновидностей плазменных способов наплавки (при которых имеется пусть и незначительное расплавление стали), во втором слое (или последующих слоях) наблюдается наличие включений структурно-свободного железа.

Считаем целесообразным и необходимым продолжить дальнейшие исследования особенностей разработанного процесса импульсной плазма-МИГ наплавки с целью определения механических характеристик наплавленного металла, полученного данным методом. Необходимо осуществить экспериментально-исследовательские работы по определению прочностных характеристик соединения наплавленного металла со сталью, показатели которых находятся на уровне аналогичных свойств наплавленного медного сплава (в частности, испытать полученное наплавленное соединение на срез и отрыв).

ВЫВОДЫ

Доказано, что наиболее перспективным методом внедрения в промышленность является получение биметаллических изделий методом импульсной плазма-МИГ наплавки, который обеспечивает высокое качество наплавленного металла, причем уже в первом слое (за счет значительного уменьшения глубины проплавления основного металла и снижения доли участия основного металла в наплавленном валике).

Проведенные металлографические исследования доказали, что наплавленный металл, полученный с помощью разработанной установки, имеет высокие показатели качества, структура которого практически не содержит включений структурно-свободного железа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осинцев О. Е. Медь и медные сплавы : справочник / О. Е. Осинцев, В. Н. Федоров. – М. : Машиностроение, 2014. – 336 с.
2. Чигарев В. В. Улучшение технологических характеристик плазма-МИГ наплавки порошковой проволокой / В. В. Чигарев, Н. А. Макаренко, К. А. Кондратов // Автоматическая сварка. – 2001. – № 5. – С. 53–55.
3. Илюшенко В. М. Сварка и наплавка меди и медных сплавов / В. М. Илюшенко, Е. П. Лукьянченко. – Киев : Международная ассоциация «Сварка», 2014. – 396 с.
4. Илюшенко В. М. Эффективность наплавки медных сплавов на сталь расцепленным электродом / В. М. Илюшенко, А. С. Белов, А. П. Кинович // Наплавка. Опыт и эффективность применения. – Киев : ИЭС им. Е. О. Патона. – 1985. – С. 82–86.
5. Рыбин В. В. Исследование особенностей и разработка технологий сварки медных сплавов со сталями и наплавки медных сплавов / В. В. Рыбин, А. Г. Вайкерман, А. В. Баранов // Вопросы материаловедения. – 2016. – № 1. – С. 200–220.
6. Майданчук Т. Б. Улучшение качества биметаллического соединения при наплавке под флюсом высококобальтовой бронзы на сталь / Т. Б. Майданчук, В. М. Илюшенко, А. Н. Бондаренко // Автоматическая сварка. – № 5–6. – 2015. – С. 42–45.
7. Макаренко Н. А. Износостойкая плазменная наплавка с аксиальной подачей разработанной порошковой проволоки [Электронный ресурс] / Н. А. Макаренко, И. О. Дьяченко, А. С. Мирошниченко // Научный Вестник ДГМА : сб. науч. трудов. – Краматорськ : ДГМА, 2015. – № 3 (18Е). – С. 208–213. – Режим доступа: [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/%E2%84%963\(18%D0%95\)_2015/article/30.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/%E2%84%963(18%D0%95)_2015/article/30.pdf).
8. Макаренко Н. О. Дослідження порошкового дроту для наплавлення виробів, що працюють в умовах зносу тертям / Н. О. Макаренко, І. О. Дьяченко, А. С. Мирошниченко // Тези доповідей III-ої міжнародної інтернет-конференції «Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій», 23 грудня 2015 року : зб. наук. праць. Частина I / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інші.]. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – С. 9.
9. Корниенко А. Н. Преимущества упрочнения и восстановления пресс-форм для стекла способом плазма-МИГ наплавки / А. Н. Корниенко, Н. А. Макаренко, К. А. Кондратов // Материалы международной научно-технической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий». – Феодосия, 2011. – С. 126–128.
10. Макаренко Н. А. Применение импульсного режима при плазма-МИГ наплавке / Н. А. Макаренко, А. А. Бозуцкий, А. М. Куций // Захист металургійних машин від поломок : Міжвуз. темат. зб. наук. праць. – Маріуполь : ПДТУ, 2008. – Вип. 10. – С. 249–250.

Статья поступила в редакцию 11.03.2018 г.