

УДК 621.791.927.5:621.7.073

Голуб Д. М.

ГАЗОШЛАКООБРАЗУЮЩИЕ ОСНОВЫ СОВРЕМЕННЫХ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК

Штампы холодного деформирования металлов подразделяются на штампы для разделительных (вырубка, резка, обрезка облоя, пробивка отверстий и др.) и формоизменяющих операций (вытяжка, гибка, формовка, выдавливание и др.). Условия работы металла штампового инструмента определяют вид износа его контактирующей поверхности (истирание, выкрашивание, растрескивание, налипания штампуемого металла и др.), а последний предопределяет выбор состава штамповой стали и режимов ее термической обработки.

Основным видом износа этого инструмента является потеря размеров контактирующих участков вследствие истирания. Существенное повышение стойкости штампового инструмента обеспечивается выбором состава штамповой стали, оптимизацией режимов термической обработки штампового инструмента, его цементацией и улучшением условий эксплуатации штампов.

Однако наиболее эффективным методом повышения стойкости штампов является применение наплавки легированных сплавов на их изнашивающиеся поверхности, так как в этом случае наиболее доступно регулирование свойств наплавленного слоя путем изменения состава наплавленного металла и режимов его термической обработки.

Многообразие операций холодного деформирования металла вынудило уйти от использования универсальных материалов и привело к их специализации в зависимости от условий работы инструмента. Для изготовления штампового инструмента для холодной штамповки используются различные стали и сплавы с особым комплексом физико-механических свойств. Химический состав и назначение штамповых сталей в Украине регламентирует ГОСТ 5950-2000.

Разработка новой штамповой стали, организация ее производства, разработка технологического процессаковки и термической обработки требуют значительно больших затрат, чем разработка наплавочного материала, обеспечивающего наплавку новой штамповой стали. Кроме того, наплавленный слой можно наносить на основу из конструкционной стали, чем достигается экономия дефицитных легированных сталей. Современные методы наплавки позволяют наплавлять металл высокого качества, который может применяться как непосредственно после наплавки, так и после термической обработки. Для наплавки применимы все методы сварки плавлением. Однако, исходя из того, что многие типы штампового инструмента имеют сложную форму или конфигурацию контактирующей поверхности, то расширение номенклатуры наплавливаемых штампов достигается применением наплавки открытой дугой. В связи с этим в разное время в нашей стране применялся и применяется в настоящее время ряд марок наплавочных электродов, таких как Ш-7, 18КН (ЛИИВТ), Т-540, НЖ-2, Ш-1, а также другие марки, описанные в отечественной и зарубежной литературе [1–4].

Все большее применение, по данным Международного института сварки, для наплавки штампового инструмента находят порошковые проволоки (FCAW-S) [1, 5–8]. Это обусловлено, прежде всего, тем, что последняя при высокой производительности механизированной

наплавки обеспечивает хорошее качество наплавленного металла и, кроме того, улучшает маневренность процесса, позволяет выполнять наплавку в труднодоступных местах, где другие методы наплавки неприемлемы.

По данным [5] с применением самозащитной порошковой проволоки взамен покрытых электродов коэффициент загрузки оборудования снижается вдвое.

Целью настоящей работы является анализ существующих современных газошлакообразующих основ порошковых проволок для повышения стойкости штампового инструмента, выполняющего формоизменяющие операции.

При наплавке самозащитной порошковой проволокой наблюдается гораздо меньшая чувствительность к влиянию скорости ветра на газонасыщенность металла наплавки и его свойства по сравнению с наплавкой в CO_2 на открытых площадках. Наплавка в среде CO_2 , кроме того, требует дополнительного оборудования по сравнению с наплавкой самозащитной проволокой.

Композиция сердечника самозащитной порошковой проволоки должна обеспечивать сочетание защитных свойств с благоприятными сварочно-технологическими свойствами, хорошей рафинирующей способностью шлаков, достаточной раскисленностью и легированием наплавленного металла, высокой его стойкостью против образования трещин и пор. Общим для всех самозащитных порошковых проволок является обеспечение равномерности плавления металлической оболочки и порошкового сердечника.

В самозащитных порошковых проволоках газовая защита обеспечивается введением в состав шихты их сердечников карбонатов, например: мрамора, магнезита, кальцинированной соды и пр. или органических компонентов. В большинстве сердечников порошковых проволок обязательным компонентом является плавиковый шпат, который вводится с целью повышения жидкотекучести шлака, что способствует улучшению рафинирования металла наплавки. По содержанию других шлакообразующих компонентов самозащитные порошковые проволоки существенно отличаются.

Из порошковых проволок для сварки открытой дугой в настоящее время нашли широкое применение сердечники двух типов: рутил-органического и карбонатно-флюоритного или рутил-карбонатно-флюоритного [6, 7].

Для сердечников проволок рутилового типа в качестве шлакообразующих материалов применяют рутил и алюмосиликаты – полевой шпат, гранит, слюду. Раскислителями служат ферромарганец и ферросилиций, а газообразующими – крахмал целлюлоза. Разработаны самозащитные порошковые проволоки рутил-органического типа следующих марок: ПП-АН1, ПП-1ДСК, ПВС-1Л, ПВС-1С. При разработке состава указанных проволок исследовалась система шлака, которую в первом приближении можно отнести к тройной системе – $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$. Было установлено, что наиболее удовлетворительными свойствами обладают шлаки следующего состава: 60–70 % TiO_2 ; 25–35 % SiO_2 ; 8–10 % Al_2O_3 . Шлаки с большим содержанием SiO_2 и TiO_2 имеют неудовлетворительные физико-химические свойства. При повышении содержания SiO_2 ухудшаются сварочно-технологические свойства проволоки – формирование шва, отделимость шлака, склонность к пористости. При большом содержании TiO_2 ухудшается кроющая способность шлака [6–8].

Рутиловые проволоки, применяемые для сварки в нижнем положении, обладают хорошими сварочно-технологическими свойствами. Они мало склонны к образованию пор, при наличии на кромках свариваемых изделий влаги, ржавчины и окалины. Сварка производится на вылетах 25–30 мм, на токе не более 300 А, что не обеспечивает производительность

расплавления больше 4,5 кг/ч. Сварка на высоких плотностях тока приводит к образованию внутренней пористости, вызываемой водородом, сварка на больших вылетах приводит к выгоранию органических газообразующих компонентов и возникновению внешней пористости, поэтому повысить производительность расплавления проволок рутилового типа не представляется возможным. Механические свойства металла недостаточно высоки. Указанные недостатки порошковых проволок рутил-органического типа явились причиной того, что в наплавочных самозщитных порошковых проволоках эта газошлакообразующая основа практического применения не нашла. В порошковых проволоках карбонатно-флюоритного (основного) типа в качестве газообразующих компонентов сердечника применяют карбонаты, образующие при диссоциации окись углерода и углекислый газ. В качестве шлакообразующего используется флюорит (CaF_2) в виде плавикового шпата или флюоритного концентрата. Раскисление и легирование осуществляется введением в шихту ферромарганца и ферросилиция. Шлаковые системы обычно тройные: $\text{CaO-TiO}_2\text{-CaF}_2$; $\text{MgO-SiO}_2\text{-CaF}_2$ [7].

Шлаки с высоким содержанием TiO_2 и CaO не обладают удовлетворительными физическими свойствами. Замена мрамора магнезитом позволила создать новую шлаковую систему типа $\text{MgO-SiO}_2\text{-CaF}_2$. Шлаки с большим содержанием MgO имеют высокую температуру плавления и неудовлетворительные физико-химические свойства. Оптимальный шлак близок по составу к тройной эвтектике $\text{MgO-SiO}_2\text{-CaF}_2$. Согласно данным, магнезит в шлаке оказывает положительное влияние на сварочно-технологические свойства. Он имеет более низкую температуру диссоциации, чем мрамор, вследствие чего обеспечивается интенсивное поступление углекислого газа в атмосферу дуги. Магнезитные шлаки менее газопроницаемы, чем известковые [8]. Однако отделимость шлака очень низкая, причем она ухудшается при наплавке сплавов, легированных хромом или ванадием [9].

В результате исследований, проведенных в ИЭС им. Е. О. Патона и другими организациями, разработано несколько марок порошковых проволок карбидно-флюоритного типа. В настоящее время в нашей стране применяют порошковые проволоки ПП-АН3, 2ЛСК, ЭПС-15-3, ПП-АН7, ПП-АН2 (на основе магнезита) для автоматической и полуавтоматической сварки открытой дугой низкоуглеродистых и низколегированных сталей в нижнем и наклонном положении. Их основной недостаток – повышенная пористость швов при сварке удлиненной дугой на ржавых и влажных кромках и при увлажнении сердечника [8, 9].

Производительность наплавки проволоками основного типа значительно превосходит этот показатель для порошковых проволок рутил-органического типа и достигает 10 кг/ч. Для наплавки рекомендуется применять самозащитные проволоки трубчатого сечения, обеспечивающие наиболее широкие пределы легирования наплавленного металла и небольшой провар основного металла [8].

В порошковых проволоках для износостойкой наплавки газошлакообразующая часть сердечника чаще всего строится на основе мрамора (магнезита), плавикового шпата и рутилового концентрата. Эти проволоки для широкого диапазона составов обеспечивают хорошее формирование валиков и отделимость шлаковой корки, умеренное разбрызгивание. При содержании в проволоке 10–15 % газошлакообразующих в наплавленном слое азот находится в пределах 0,04–0,06 % [8].

Одна из наибольших трудностей, возникающих при наплавке самозащитными порошковыми проволоками, заключается в предотвращении пористости, зависящей, главным образом, от эффективности защиты жидкого металла от азота воздуха. Применительно

к сварке самозащитной порошковой проволокой в работе показано, что на эффективность защиты металла от азота воздуха значительно влияет конструкция порошковой проволоки. Однако при наплавке на низких напряжениях на дуге конструкция порошковой проволоки и размещение защитных материалов в ней существенно не влияют на содержание азота, а, следовательно, и на пористость [8].

В наплавочных проволоках, как правило, содержится значительное количество легирующих элементов, которые существенно влияют на растворимость азота в жидком металле. Поэтому влияние состава газо- и шлакообразующих составляющих сердечников порошковых проволок на растворимость газов в наплавленном металле необходимо рассматривать в связи с его химическим составом. Подтверждением этого могут служить данные работы, которые характеризуют влияние количества газо- и шлакообразующих компонентов (система рутил-мрамор-флюорит) на содержание азота в наплавленном слое для среднелегированного металла 5Х4ВЗФТ. Проволоки ПП-АН125 и ПП-АН170, а также проволоки, описанные в работах [8, 10], не содержат газо- и шлакообразующих веществ и обеспечивают отсутствие пор в широком диапазоне режимов наплавки. Однако металл, наплавленный этими проволоками, содержит повышенное количество нитридов, характеризуется низкой пластичностью и в связи с этим не может применяться при высоких ударных нагрузках [8, 10].

Количество защитных материалов в сердечнике порошковой проволоки влияет на коэффициент наплавки. По данным максимальное значение коэффициента наплавки достигается примерно при 12 % защитных материалов в порошковой проволоке. Если в проволоку трубчатого сечения ввести более 14–16 % газо- и шлакообразующих компонентов, то сердечник начинает плавиться медленнее оболочки, и нормальный процесс переноса электродного металла нарушается [10].

С целью получения струйного переноса электродного металла, повышение качества металла наплавки, снижения разбрызгивания в состав шихты вводится соединение натриевая и калиевая глыба, а также окислы элементов IV группы периодической системы элементов Д. И. Менделеева, титан калия и силикат натрия [6].

В наплавочные порошковые проволоки иногда вводят силико-кальций, ферроборал и другие соединения бора. Силико-кальций улучшает пластичность металла наплавки. Бор оказывает флюсоующее действие и улучшает смачиваемость кромок сварного соединения. Некоторая часть бора переходит в металл наплавки и способствует формированию в микроструктуре твердых фаз [10].

Для наплавки углеродистых сплавов в состав шихты порошковой проволоки вводится графит. Полагают, что последний стабилизирует дугу. При наплавке износостойких сплавов в состав шихты порошковой проволоки вводится значительное количество сыпучих порошков легирующих металлов и ферросплавов. Дополнительное введение зернистых материалов в виде шлакообразующих компонентов нежелательно, так как это ухудшает уплотняемость шихты проволоки, что вызывает порывы проволоки в процессе перетяжек. С этой точки зрения применение рутила и кварцевого песка в порошковых проволоках следует ограничить. Кроме того, значительное количество азота, содержащегося в металле наплавки, свидетельствует о том, что его защита от взаимодействия с воздухом при наплавке порошковой проволокой рутил-карбонат-флюоритного типа недостаточна. Одним из путей снижения насыщенности металла наплавки азотом является опробование других шлакообразующих компонентов. Перспективным является применение минералов с малым углеродным весом, например, во вспученном состоянии, что улучшает уплотняемость шихты сердечников [10].

Самозащитные порошковые проволоки нашли применение при наплавке металла различного состава и назначения. Наплавленный ими металл предназначен для работ в условиях коррозионной среды, кавитации или абразивного износа. Для ударного нагружения рекомендуется ограниченное число порошковых проволок, которые не полностью удовлетворяют современным требованиям к материалам для наплавки штампового инструмента. Это связано как с разработкой состава газо- и шлакообразующих компонентов, обеспечивающих достаточно эффективную защиту жидкого металла от взаимодействия с воздухом, так и с выбором состава наплавленного металла [6].

В литературных данных содержится мало сведений о влиянии состава шлакогазообразующей части наполнителя самозащитной порошковой проволоки на газо- и пылевыделение при горении дуги, на газосодержание металла сварных швов серы и фосфора, а также на отделимость шлака и физико-химические свойства [6–8, 10].

ВЫВОДЫ

Таким образом, анализ литературных данных по газшлакообразующим основам шихты самозащитных порошковых проволок показал, что для сварки и наплавки применяется небольшое число газшлакообразующих основ, что затрудняет получение оптимальных свойств самозащитных порошковых проволок для наплавки. Возникает потребность в расширении составов наполнителей, что достигается увеличением номенклатуры применяемых для шихтовки минералов. Недостаточно изучено влияние состава наполнителей на свойства самозащитных порошковых проволок, сварочного шлака и качество металла наплавки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Металлургия дуговой сварки. Взаимодействие металла с газами / Под ред. акад. НАН Украины И.К. Походня. – Киев : Наукова Думка, 2004. – 442 с.*
2. *Табачников П. И. Изготовление и восстановление кузнечных штампов электродуговой наплавкой / П. И. Табачников, П. П. Гольман // Вестник машиностроения. – 1954. – № 3. – С. 12–18.*
3. *Фридлянд Л. А. Восстановление дуговой сваркой штампового инструмента для горячей штамповки / Л. А. Фридлянд. – ТЭКСО, 1952. – № 2029/65.*
4. *Welding of tool and die steels // Tooling. – 1966. – № 9. – С. 53–58.*
5. *Cary Howard B. Flux-cored arc welding. Advances and applications in USA / Howard Cary B. // Welding and metal fabrication. – 1971. – № 1. – С. 39.*
6. *Походня И. К. Сварка порошковой проволокой / И. К. Походня, А. М. Суптель, В. Н. Шлепаков. – Киев : Наукова думка, 1972. – 223 с.*
7. *Производство порошковой проволоки / И. К. Походня, В. Ф. Альтер, В. Н. Шлепаков и др. – Киев : Вища школа, 1980. – 231 с.*
8. *Исследования и разработки ИЭС им. Е. О. Патона в области электродуговой сварки и наплавки порошковой проволокой / И. К. Походня, В. Н. Шлепаков, С. Ю. Максимов, И. А. Рябцев // Автоматическая сварка. – 2010. – № 12. – С. 34–42.*
9. *Шоно С. А. Плавкость шлаков, образующихся при износостойкой наплавке порошковой проволокой открытой дугой / С. А. Шоно // Автоматическая сварка. – 1974. – № 1. – С. 7–9.*
10. *Юзвенко Ю. А. Защита металла при наплавке порошковой проволокой открытой дугой / Ю. А. Юзвенко, Г. А. Кирилюк // Автоматическая сварка. – 1974. – № 3. – С. 58–60.*