

ФИЗИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ И СВАРОЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГАЗОЗАЩИТНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК ДЛЯ СВАРКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

В. Н. ШЛЕПАКОВ

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Рассмотрены особенности процесса дуговой сварки порошковой проволокой в среде защитного газа. Приведены данные по металлургическим характеристикам и классификации газозащитных порошковых проволок с различными типами сердечника, а также примеры их успешного использования в промышленности. Библиогр. 6, табл. 1, рис. 2.

Ключевые слова: дуговая сварка, низкоуглеродистые и низколегированные стали, порошковая проволока, защитный газ, стабильность плавления и переноса металла, тип порошкового сердечника, содержание газов в металле шва, технико-экономические аспекты применения

Длительное применение в основном проволоки сплошного сечения при механизированной и автоматической сварке в среде защитных газов было обусловлено ее доступностью и невысокой ценой. Со временем понимание технологических и экономических преимуществ применения порошковых проволок, подтвержденных результатами анализа затрат на выполнение сварки и качества сварных соединений, привело к тому, что порошковая проволока заняла ведущее место при выполнении сварочных работ в различных отраслях промышленности и строительства стран с высоким уровнем экономического развития [1]. Применение газозащитной сварки порошковой проволокой позволяет быстро реагировать на потребности изготовителей сварных конструкций, так как она отличается универсальностью, отличными оперативными характеристиками и высокой производительностью, что обеспечивает существенное снижение экономических затрат.

Многообразие типов порошковых проволок в настоящее время принято классифицировать по международным стандартам ISO в соответствии с определенным классом стали, для сварки которого они предназначены. Применительно к наиболее распространенным классам конструкционных сталей обычной прочности используется стандарт ISO 17632 [2], а высокой прочности — ISO 18276 [3]. Защитные газы для выполнения газозащитной сварки классифицируются по стандарту ISO 14175 [4]. Ниже используется классификация в соответствии с указанными стандартами.

Специалистам в области дуговой сварки плавлением хорошо известно, что замена проволоки сплошного сечения на порошковую не требует из-

менения базовой технологии или использования другого оборудования. В современном сварочном оборудовании предусмотрена регулировка в широких пределах статических и динамических характеристик источников питания с помощью микропроцессорной техники, что дает возможность устанавливать оптимальные параметры сварки для каждого типа проволоки. Подающие механизмы полуавтоматов, как правило, снабжены двумя парами роликов для снижения давления на проволоку, предупреждения ее деформации или нарушения геометрии, которые ухудшают подаваемость проволоки по шлангам.

Металлургические характеристики газозащитных порошковых проволок. Устоявшаяся классификация порошковых проволок по типу порошкового сердечника, включенная в международные стандарты, разделяет их на три базовых типа, а именно: рутиловый, основной и металлический.

К рутиловому типу (по названию минерала — рутил) относят проволоки, основу шлаковой системы которых составляют оксиды титана в композиции с другими оксидами (например, силикатами или алюмосиликатами), образующими при плавлении шлаки с низкой основностью. Изменение состава и использование флюсующих агентов открывает широкие возможности для регулирования технологических свойств этих проволок. По сварочно-технологическим свойствам они подразделяются на рутиловые с медленно твердеющим и быстро твердеющим шлаком, что определяет возможность их использования для сварки соединений в различных пространственных положениях.

К основному типу относят проволоки со шлаковой основой сердечника, включающей системы

карбонатно-флюоритно-оксидного типа с высокой долей оксидов щелочноземельных металлов, что благодаря высокой основности образующегося шлакового расплава позволяет обеспечить высокую рафинирующую способность шлака и снизить уровень окисления расплавленного металла. Возможности управления технологическими свойствами этих проволок более узкие по сравнению с рутиловыми ввиду более крупнокапельного переноса металла, что, однако, можно компенсировать применением импульсного процесса сварки.

К проволокам с металлическим сердечником относят проволоки, содержащие порошки железа, ферросплавов и другие металлические порошки с незначительными добавками минеральных веществ, повышающих стабильность горения дуги и улучшающих сварочно-технологические свойства проволоки. Количество минеральных добавок составляет обычно от 0,5 до 1,5 % массы проволоки. Сварочно-технологические свойства порошковых проволок с металлическим сердечником близки к свойствам проволок сплошного сечения, но они обеспечивают более высокую стабильность горения дуги и производительность плавления, незначительные потери электродного металла и благоприятное формирование шва.

Влияние металлургических характеристик порошковых проволок указанных типов можно оценить по обобщенным данным типичного содержания газов и неметаллических включений в металле швов. Данные о содержании газов и неметаллических включений в металле швов, выполненных порошковыми проволоками с различным типом сердечника в смеси $Ag + 18 \text{ об. } \% \text{ CO}_2$ (M21 по ISO 14175 [4]), приведены в таблице.

Отличительной особенностью бесшовных порошковых проволок является низкое содержание диффузионного водорода в металле наплавки благодаря их термообработке в процессе изготовления и герметичности конструкции. Содержание кислорода в металле шва зависит от состава неметаллической части сердечника (типа шлаковой системы) и рафинирующих свойств шлака. В проволоках с металлическим сердечником, где объем шлака незначителен, для снижения уровня содержания кислорода и оксидных включений в последнее время используют комплексные системы

микролегирования и обработки расплава, позволяющие уменьшить загрязненность металла неметаллическими включениями.

Номенклатура порошковых проволок для сварки в углекислом газе или газовых смесях $Ag + \text{CO}_2$ включает проволоки для сварки конструкционных сталей с пределом текучести 360... 500 [2] и 550... 890 МПа [3]. Производители изготавливают порошковые проволоки диаметром 1... 2 мм, что позволяет выполнять сварку конструкций из металла толщиной от 2 до 50 мм и более в зависимости от класса свариваемой стали.

Особенности газозлектрической сварки порошковой проволокой. При газозлектрической сварке различают три основных вида переноса электродного металла в сварочную ванну: с короткими замыканиями, капельный и струйный. В определенных диапазонах параметров режима перенос металла может носить смешанный характер. Использование современных импульсных источников питания с программным управлением существенно расширяет возможности управления переносом электродного металла, в частности, импульсно-струйный переносом с контролируемым поверхностным натяжением расплавленного металла. Основные способы регулирования характеристик управляемого переноса основаны на балансе сил, определяющих отрыв капли от электродной проволоки [5].

Основную роль в переходе от капельной формы переноса в струйную играет поверхностное натяжение расплавленного металла (пинч-эффект, вызванный действием электромагнитных сил на торцевую часть электрода). Существенное влияние оказывает также состав защитного газа. Использование газовых смесей (двух- или трехкомпонентных) позволяет оптимизировать химическую активность, ионизационный потенциал и термическую проводимость газозащитной среды [6]. Замена углекислого газа смесями на основе аргона существенно улучшает характеристики переноса металла — уменьшает размеры капель, тем самым способствуя переходу от капельного к струйно-капельному переносу. Струйный перенос по сути является тоже капельным, но в виде очень мелких капель. Регулировать перенос путем изменения параметров режима (сварочного тока, вылета проволоки и напряжения на дуге) для

Обобщенные результаты анализа содержания газов и неметаллических включений в металле, наплавленном порошковыми проволоками различного типа в защитном газе M21 [4]

Порошковая проволока	[N], мас. %	[O], мас. %	[H] _{диф} , см ³ /100 г	HV, об. % *
Рутилового типа	0,005 ... 0,008	0,057 ... 0,065	6 ... 15	0,38 ... 0,48
Основного типа	0,009 ... 0,011	0,035 ... 0,045	3 ... 5	0,31 ... 0,34
С металлическим сердечником	0,004 ... 0,010	0,078 ... 0,083	5 ... 10	0,53 ... 0,61
Бесшовная	0,009 ... 0,010	0,045 ... 0,057	4 ... 5	0,33 ... 0,44

* По данным металлографических исследований нетравленных шлифов.

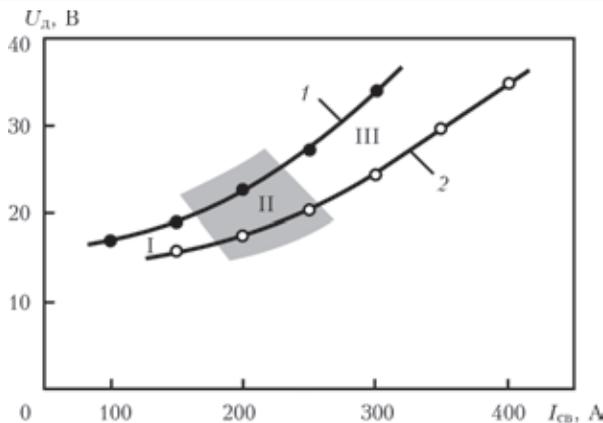


Рис. 1. Диапазон параметров сварки в смеси газов M21 [4] порошковыми проволоками с металлическим типом сердечника диаметром 1,2 (1) и 1,6 (2) мм: I — область капельного; II — смешанного; III — струйного переноса; заштрихованная — область перехода от капельного к струйному переносу

проволок каждого конкретного диаметра можно с учетом получаемых технологических характеристик сварного соединения. Изменение состава сердечника позволяет регулировать характеристики горения дуги, в частности, показатели стабильности процесса сварки при использовании в составе сердечника элементов и соединений с малым потенциалом ионизации и низкими значениями работы выхода электронов, что приводит к повышению концентрации положительных ионов в периферийной области дуги. В свою очередь, существование шлакового расплава на поверхности электродного металла дает возможность управлять поверхностным натяжением.

На рис. 1 приведен пример зависимости вида переноса металла от диаметра порошковой проволоки и параметров режима; производительность наплавки порошковыми проволоками с различным типом сердечника в сравнении с проволокой сплошного сечения в пределах используемых токов иллюстрирует рис. 2. Регулярный характер плавления и переноса металла обеспечивает вы-

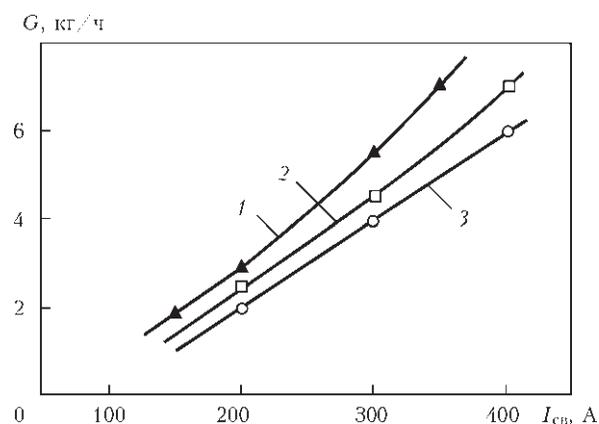


Рис. 2. Производительность наплавки в CO_2 порошковой проволокой диаметром 1,2 мм с металлическим сердечником (1), рутилового типа (2) и сплошного сечения (3) в диапазоне применяемых сварочных токов

сокую стабильность параметров режима в процессе выполнения сварных соединений, что особенно важно при автоматической и роботизированной сварке.

Технико-экономические аспекты применения. Благодаря использованию более концентрированной энергии, высокой плотности тока и возможности регулирования показателей плавления и переноса металла сварка газозащитными порошковыми проволоками имеет высокий потенциал для значительного повышения производительности, быстрой адаптации к выполнению разнообразных сварных соединений из конструкционных сталей различного назначения. Современные порошковые проволоки успешно применяются при полуавтоматической, автоматической и роботизированной сварке конструкций широкой номенклатуры с использованием серийных комплектов оборудования, т. к. по показателям подаваемости, надежности электрического контакта и управления дугой они практически не отличаются от проволок сплошного сечения. Единственным отличием является рекомендация использовать ролики подающих механизмов сварочных аппаратов с охватывающим профилем, особенно при сварке проволоками диаметром больше 1,6 мм, чтобы избежать риска деформации поверхности проволоки и повышенного износа контактных наконечников. Техника выполнения швов порошковой проволокой не отличается от техники при применении проволоки сплошного сечения, но при сварке порошковой проволокой швы имеют более плавную форму проплавления и их геометрия меньше зависит от параметров режима. Следует также учитывать более высокую скорость выполнения шва заданного размера порошковой проволокой при меньших энергозатратах, минимальное разбрызгивание независимо от формы переноса электродного металла и большую стабильностью параметров сварки. Понятно, что указанные преимущества порошковой проволоки компенсируют повышение затрат на сварочный материал.

Снижение тепловложения в основной металл при сварке газозащитной порошковой проволокой делает ее более оптимальной для соединения сталей, чувствительных к перегреву. Особенно важно это для соединений стали повышенной и высокой прочности, перегрев ЗТВ которых недопустим. Решить эту проблему позволяет контроль погонной энергии. Если необходима высокая скорость сварки, рекомендуется использовать автоматические или роботизированные установки. Наибольшей производительностью плавления обладают порошковые проволоки с металлическим сердечником, при этом можно выполнять несколько проходов без удаления следов шлака, а угол разделки

кромки стыковых соединений можно уменьшить значительно — до 40° и меньше.

Большое разнообразие типов сварных соединений, размеров и форм металлоконструкций различного назначения не позволяет выбирать рекомендуемый тип порошковой проволоки без привязки к конкретному объекту. Задачей предприятий, занимающихся изготовлением металлоконструкций, является нахождение оптимального решения, обеспечивающего необходимый уровень качества и производительности сварки. Использование сварки газозащитной порошковой проволокой является одним из путей решения задач повышения эффективности производства, а опыт ее применения подтверждает возможность улучшения качества сварных металлоконструкций во многих отраслях промышленности и строительства.

Одной из первых областей успешного использования порошковой проволоки с основным типом сердечника в заводских условиях стало изготовление конструкций тяжелой транспортной техники, горнодобывающих машин, дорожно-строительного оборудования и грузоподъемных устройств. В последние годы расширилось применение роботизированной сварки порошковой проволоки с металлическим сердечником. Сварка порошковыми проволоками с сердечником рутилового типа благодаря высоким сварочно-технологическим показателям нашла широкое применение при изготовлении строительных металлоконструкций, а затем и в судостроении. Особенно успешным оказалось применение полуавтоматического процесса при изготовлении секций судов,

где необходимость сварки в различных пространственных положениях сочетается с высокими требованиями к форме шва, проплавлению и брызгообразованию. Подобные задачи сейчас решаются и в строительстве буровых платформ благодаря применению газозащитных порошковых проволок всех типов в зависимости от класса свариваемой стали, толщины металла и пространственных положений швов. В последние годы осваивается применение сварки газозащитной порошковой проволокой в производстве энергетических установок и строительстве магистральных трубопроводов, где используются стали повышенной и высокой прочности в сочетании с высокими показателями вязкости и пластичности. Намечилась также тенденция к использованию порошковых проволок при вертикальной автоматической сварке металла большой толщины с принудительным формированием шва.

1. *Tsusumi S., Ooyama S.* Investigation on current usage and future trends of welding materials // IIW Doc. XII-1759-03–2003.
2. *Standard EN ISO 17632:2008:* Welding consumables. Tubular cored electrodes for gas-shielded and non-gas-shielded metal arc welding of non-alloy and fine grain steels. Classification. — 34 p.
3. *Standard EN ISO 18276:2006:* Welding consumables. Tubular cored electrodes for gas-shielded and non-gas-shielded metal arc welding of high-strength steels. Classification. — 34 p.
4. *Standard EN ISO 14175:2008:* Welding consumables. Gases and gas mixtures for fusion welding and allied processes. — 16 p.
5. *Adonyi Y., Nadzam J.* Gas metal arc welding // New developments in advanced welding. — Cambridge: Woodhead Publ., 2005. — P. 1–20.
6. *Zavodny Y.* Welding with right shielding gas // Welding J. — 2001. — N12. — P. 49–50.

Поступила в редакцию 07.05.2014

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «ПАТОН»

www.patonpublishinghouse.com

ТИТАН. ТЕХНОЛОГИИ. ОБОРУДОВАНИЕ. ПРОИЗВОДСТВО. — Киев: Международная ассоциация «Сварка», 2011. — 324 с. Мягкий переплет, 200×290 мм.



Сборник включает 70 статей, опубликованных в журналах «Современная электрометаллургия» и «Автоматическая сварка» за период 2005–2010 гг., по электрометаллургии, сварке титана и его сплавов. Авторами статей являются известные в Украине и за рубежом ученые и специалисты. Тематика статей посвящена созданию новых технологических процессов и оборудования для производства и сварки титана. Сборник предназначен для широкого круга инженеров, технологов, конструкторов, занятых в машиностроении, энергетике, строительстве, судостроении, металлургии и других отраслях промышленного производства, связанных с обработкой и потреблением титана; полезен также преподавателям и студентам высших учебных заведений.

Заказы на книгу просьба направлять
в редакцию журнала «Автоматическая сварка»