

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-4-269-277>

УДК 621.791.754

Технологические особенности выбора значений параметров режима дуговой сварки в защитной газовой смеси Ar + CO₂

Канд. техн. наук, доц. А. О. Коротеев¹⁾, инженеры Н. М. Шукан¹⁾, Е. А. Фетисова¹⁾, студ. А. А. Каратеева¹⁾

¹⁾Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет» (Могилев, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2023
Belarusian National Technical University, 2023

Реферат. Сварка в среде защитных газов на сегодняшний день занимает лидирующее положение среди способов получения неразъемных соединений в промышленных условиях. Появление новых материалов со сложными системами легирования и упрочнения делает углекислый газ, традиционно применяемый в качестве защитной среды, неэффективным для использования. Одним из эффективных способов решения указанных проблем является изменение состава защитной газовой атмосферы, что позволяет существенно изменить физико-металлургические процессы плавления электродной проволоки и формирования сварного шва. В то же время переход на использование защитных газовых смесей на основе аргона, как правило, осуществляется без понимания сущности технологии и возможных проблем, связанных со спецификой проплавления основного металла, что может вызвать появление ряда серьезных проблем. В статье установлены важные закономерности между технологическими характеристиками дуговой сварки в защитной газовой смеси Ar + CO₂ и параметрами режима в условиях отклонения их значений от наиболее эффективных с точки зрения обеспечения стабильности переноса электродного металла и формирования валика наплавленного металла шва. На основании экспериментальных данных установлены наиболее вероятные причины появления опасного и трудновывяляемого методами неразрушающего контроля дефекта формирования сварного шва в виде несплавлений между отдельными валиками наплавленного металла и по линии сплавления с основным металлом свариваемых деталей. Дефект является распространенным и может вызывать непредсказуемое разрушение сварного соединения без видимых пластических деформаций. Предложены эмпирические зависимости определения значений основных параметров режима. Установлены важные закономерности, позволяющие повысить эффективность технологии дуговой сварки в среде защитных газовых смесей в условиях отечественного производства.

Ключевые слова: дуговая сварка в защитных газах, защитные газовые смеси, несплавления, дефект формирования сварного шва, коэффициент потерь электродного металла, коэффициент разбрызгивания

Для цитирования: Технологические особенности выбора значений параметров режима дуговой сварки в защитной газовой смеси Ar + CO₂ / А. О. Коротеев [и др.] // *Наука и техника*. 2023. Т. 22, № 4. С. 269–277. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-4-269-277>

Technological Features of Selection of Parameter Values of Arc Welding Mode in Shielding Gas Mixture Ar + CO₂

A. A. Karatseyeu¹⁾, M. M. Shukan¹⁾, K. A. Fiatsisava¹⁾, A. A. Karatseyeva¹⁾

¹⁾Inter-State Educational Institution of Higher Education “Belarusian-Russian University” (Mogilev, Republic of Belarus)

Abstract. Gas-shielded arc welding today occupies a leading position among the methods for producing permanent joints in industrial conditions. The emergence of new materials with complex alloying and hardening systems makes carbon dioxide,

Адрес для переписки

Коротеев Артур Олегович
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет»
просп. Мира, 43,
212000, г. Могилев, Республика Беларусь
Тел.: +375 22 224-47-77
karatseyeu_artur@fastmail.com

Address for correspondence

Karatseyeu Artur A.
Inter-State Educational Institution of Higher Education “Belarusian-Russian University”
43, Mira Ave.,
212000, Mogilev, Republic of Belarus
Tel.: +375 22 224-47-77
karatseyeu_artur@fastmail.com

traditionally used as a protective medium, inefficient for use. One of the effective ways to solve these problems is to change the composition of the protective gas atmosphere, which allows you to significantly change the physical and metallurgical processes of melting the electrode wire and the forming the weld. At the same time, the transition to the use of protective gas mixtures based on argon is usually carried out without understanding the essence of the technology and possible problems associated with the specifics of penetration of the base metal, which can cause a number of serious problems. The present paper describes important regularities between technological characteristics of arc welding in a shielding gas mixture Ar + CO₂ and welding mode parameters under conditions of deviation of their values from the most effective ones in order to ensure the stability of the processes of electrode metal transfer and the formation of the deposited weld metal bead. On the basis of experimental data, the most probable causes of the appearance of a dangerous and difficult-to-detect defect in the formation of a welded seam in the form of non-fusion between individual beads of the deposited metal and along the fusion line with the base metal of the welded parts have been established. The defect is common and can cause unpredictable failure of the welded joint without visible plastic deformation. Empirical dependences for determining values of the main parameters of the welding mode are proposed as well. Important regularities have been established that make it possible to increase the efficiency of arc welding technology in the environment of protective gas mixtures in the conditions of domestic production.

Keywords: gas-shielded arc welding, shielding gas mixtures, non-fusion, weld formation defect, electrode metal loss coefficient, spatter coefficient

For citation: Karatseyeu A. A., Shukan M. M., Fiatsisava K. A., Karatseyeva A. A. (2023) Technological Features of Selection of Parameter Values of Arc Welding Mode in Shielding Gas Mixture Ar + CO₂. *Science and Technique*. 22 (4), 269–277. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-4-269-277> (in Russian)

Введение

Дуговая сварка в среде защитных газов является наиболее распространенным способом получения неразъемных соединений металлоконструкций и изделий на предприятиях машиностроительной отрасли Республики Беларусь и стран зарубежья. В качестве защитной среды в большинстве случаев используется углекислый газ (CO₂). Несмотря на известные на сегодняшний день недостатки такой технологии, связанные с повышенным разбрызгиванием электродного металла, а также более низкими показателями ударной вязкости и пластичности шва, такая защитная газовая среда до настоящего времени продолжает использоваться при сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Активное развитие металлургии и появление новых сталей и сплавов, позволяющих существенно повысить характеристики сварных конструкций при одновременном снижении металлоемкости и сохранении требуемых условий обеспечения хорошей свариваемости, ставят эффективную на протяжении длительного времени технологию в еще более сложные условия, в которых она зачастую уже не способна обеспечить предъявляемые к сварным соединениям требования.

Перспективное направление совершенствования технологического процесса в таких условиях – переход на использование защитных газовых смесей на основе аргона (Ar + CO₂, Ar + CO₂ + O₂, Ar + O₂). Такая газовая среда яв-

ляется более инертной, так как основу (более 80 %) составляет Ar, и позволяет не только применить ее для материалов с более сложной системой легирования и упрочнения, но и устранить ряд характерных, отмеченных выше, недостатков сварки в CO₂. При этом на сегодняшний день повышение затрат, вызванное более высокой стоимостью защитных газовых смесей на основе аргона, обосновано, так как во многих случаях химический состав современных низкоуглеродистых низколегированных конструкционных сталей не позволяет эффективно применить для защиты активный углекислый газ, окислительный потенциал которого приводит к снижению требуемой концентрации легирующих элементов в наплавленном металле.

Важно отметить, что спецификой перехода на использование смесей Ar + CO₂ на отечественных предприятиях являются достаточно большая «инертность» и сохранение по возможности существующей документации, разработанных технологических инструкций с минимальными изменениями, как правило, не касающимися значений параметров режима сварки. Обоснованием этого является мнение о том, что более инертная, но в целом «подобная», защитная газовая атмосфера не несет каких-либо существенных изменений с точки зрения протекания основных процессов при сварке. Сохраняются те же сварочные материалы, разработанные для сварки в углекислом газе (сварочные проволоки Св-08Г2С

и Св-08ГС), а также соотношения между напряжением на дуге и силой сварочного тока. Особенности использования подобных проволок для сварки в среде $Ar + CO_2$ рассмотрены нами ранее [1].

На протяжении длительного времени на основании большого количества статистических данных результатов механических испытаний сварных соединений, полученных с использованием смесей $82\% Ar + 18\% CO_2$, при проведении процедур аттестации технологических процессов сварки и сварщиков нами выявлена достаточно серьезная характерная проблема, сущность которой заключается в образовании весьма опасного и трудновывявляемого методами неразрушающего контроля дефекта в виде несплавлений по кромке основного металла и между отдельными валиками (рис. 1) [2–8].

Основная причина этого, помимо некачественной подготовки деталей под сварку и зачистки промежуточных валиков от выделений шлака на поверхности и прочих загрязнений перед наложением последующих швов, заключается в некорректном выборе значений параметров режима сварки, в частности соотношений между значениями напряжения на дуге и силой тока. Также следует отметить, что техника выполнения сварного шва, подразумевающая определенную траекторию движения плавящегося торца электродной проволоки относительно кромок свариваемых деталей и обуславливающая поведение жидкого металла сварочной ванны и заполнение им разделки кромок, в случае применения смесей на основе аргона будет отличаться от традиционно используемой и привычной для сварщиков на большинстве отечественных предприятий техники сварки в среде CO_2 . В силу специфического характера проплавления основного металла с ярко выраженным увеличением глубины по оси шва возникает вероятность образования наплывов жидкого металла на нерасплавленные кромки, что будет способствовать образованию физического контакта, но недостаточно для образования прочных химических связей, разрушения оксидных пленок на поверхности и объемного взаимодействия с образованием прочного соединения. При этом формируются

ослабленные участки между отдельными валиками, являющиеся причинами разрушения сварного соединения.

Основная часть

Главная цель проводимых исследований – разработка методики выбора параметров режима сварки с учетом возможных отклонений значений от оптимальных ввиду специфики выполнения сварного шва. Основными технологическими показателями процесса сварки являются коэффициент наплавки, коэффициент потерь электродного металла, глубина проплавления основного металла и ширина валика шва, а также коэффициент формы, определяющийся отношением ширины валика к глубине проплавления [9–10]. Экспериментальные исследования проведены для проволок с использованием робототехнического комплекса для минимизации колебаний значений параметров режима и вылета электродной проволоки. Для получения защитной газовой смеси требуемого состава ($82\% Ar + 18\% CO_2$) использовался однопостовой газовый смеситель WITT VM-2M. Расход защитной газовой смеси выбирался по расходомеру, интегрированному со смесителем, и составил 14–15 л/мин. Сущность проводимых экспериментов заключалась в наплавке валиков на пластины из низкоуглеродистой стали 09Г2С толщиной 12 мм с высокочастотной регистрацией значений параметров режима по средствам осциллографирования силы тока и напряжения на дуге. Массу наплавленного металла определяли при помощи взвешивания пластин до и после наплавки.

Коэффициенты наплавки и потерь электродного металла – важнейшие параметры, определяющие не только производительность процесса, но и эффективность применяемой технологии в целом (рис. 2, 3).

Коэффициент потерь включает в себя потери электродного металла на разбрызгивание, угар и испарение и является комплексным показателем, используемым для нормирования присадочных материалов и определения эффективности их применения для сварки и наплавки (рис. 2).

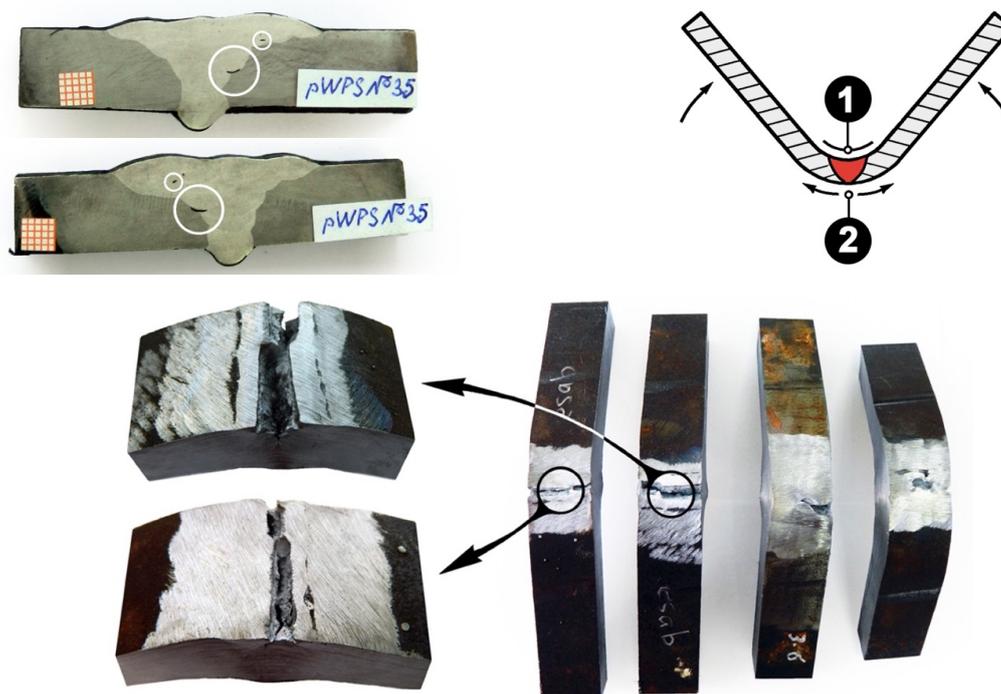


Рис. 1. Внешний вид дефекта сварного шва в виде несплавления по кромке основного металла и между отдельными валиками: 1 – лицевая поверхность шва; 2 – поверхность корневой части шва

Fig. 1. View of weld defect in the form of lack of fusion along the edge of the base metal and between individual beads: 1 – weld face; 2 – weld root surface

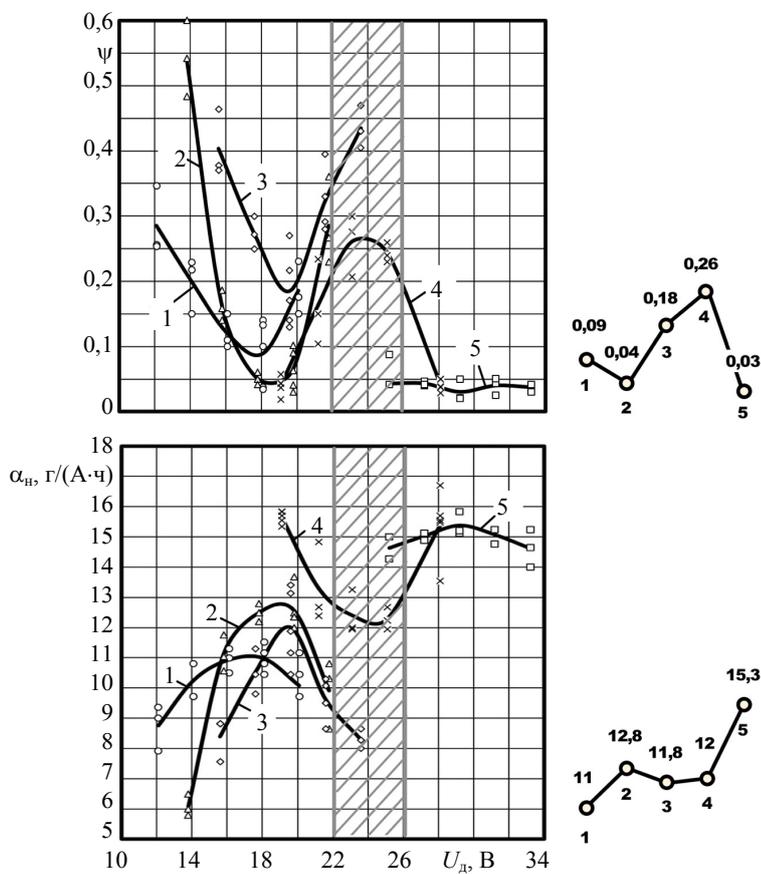


Рис. 2. Графические зависимости коэффициента потерь электродного металла (ψ) и коэффициента наплавки (α_n) от напряжения на дуге (U_d) при различном значении силы тока (I_{cb}): 1 – $I_{cb} = 100$ А; 2 – 150; 3 – 200; 4 – 250; 5 – 300 А

Fig. 2. Graphical dependencies of the loss coefficient of electrode metal (ψ) and the deposition coefficient of electrode metal (α_n) on arc voltage (U_d) at different current strength values (I_{cb}):

1 – $I_{cb} = 100$ А; 2 – 150; 3 – 200; 4 – 250; 5 – 300 А

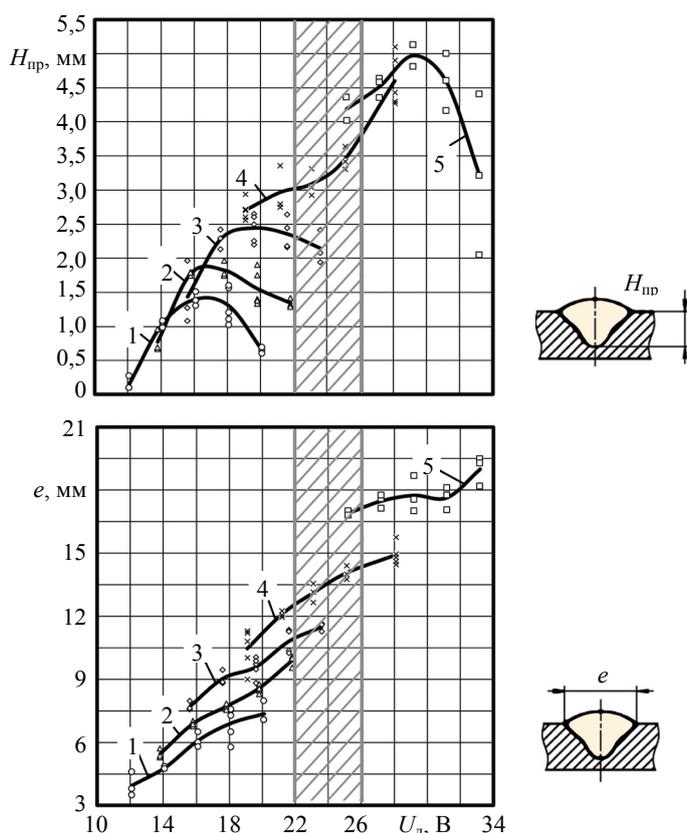


Рис. 3. Графические зависимости глубины проплавления основного металла ($H_{пр}$) и ширины валика наплавленного металла (e) от напряжения на дуге ($U_{д}$) при различном значении силы тока ($I_{св}$): 1 – $I_{св} = 100$ А; 2 – 150; 3 – 200; 4 – 250; 5 – 300 А

Fig. 3. Graphical dependencies of penetration depth of base metal ($H_{пр}$) and width of deposited metal bead (e) on arc voltage ($U_{д}$) at different current strength values ($I_{св}$): 1 – $I_{св} = 100$ А; 2 – 150; 3 – 200; 4 – 250; 5 – 300 А

Анализ полученных данных показал, что отклонения от оптимального соотношения между силой тока $I_{св}$ и напряжением на дуге $U_{д}$ приводят к чрезвычайно резкому росту значения коэффициента потерь (рис. 2). Например, для тока 150 А изменение напряжения на дуге на 2–3 В приводит к повышению потерь в 3–5 раз. В области существования переноса электродного металла короткими замыканиями или капельного переноса (значения силы тока 100–200 А) в диапазоне значений напряжения на дуге до 22 В характер зависимостей имеет ярко выраженные минимумы, соответствующие наиболее эффективному соотношению между значениями параметров режима с точки зрения стабильности процесса.

Область, лежащая в диапазоне значений напряжения на дуге 22–26 В для $I_{св} = 250$ А,

является нестабильной из-за наличия переходных процессов и близости к критическому значению силы тока струйного переноса. При этом повышение напряжения и как следствие увеличение длины дуги будут создавать необходимые условия для возникновения струйного переноса и резкого уменьшения потерь металла до 0,03 (3 %) в связи с практически полным отсутствием разбрызгивания. Снижение же напряжения на дуге на 3–5 В будет стабилизировать процесс в области капельного переноса, что также будет более предпочтительным с точки зрения снижения показателей разбрызгивания.

Коэффициент наплавки характеризует производительность процесса, выраженную в массе наплавленного металла в единицу времени (рис. 2). Непосредственная связь с коэффициентом потерь обуславливает аналогичный характер графических зависимостей. Совмещенный анализ полученных данных свидетельствует о высокой чувствительности процесса к нарушению соотношений между силой тока и напряжением на дуге.

Важнейшие характеристики для разработки технологических процессов сварки – глубина проплавления и ширина валика наплавленного металла, так как они определяют геометрические параметры шва и соответствие его требованиям нормативной документации. Представленные на рис. 3 графические зависимости глубины проплавления основного металла и ширины валика наплавленного металла в зависимости от напряжения на дуге при различной силе тока показали, что изменение значений напряжения при стабильной величине силы тока может привести к изменению глубины проплавления более чем в два раза. Например, при силе тока 150 А снижение напряжения с 16 до 14 В снизит глубину проплавления с 2,0 до 0,6 мм.

В то же время, повышение напряжения свыше оптимального для данных условий также будет приводит к некоторому снижению глубины проплавления в связи с рассредоточением ввода теплоты в основной металл из-за увеличения длины дуги, а также некоторого снижения ее температуры. Крайне важным в этом случае является тот факт, что, несмотря на

кажущуюся очевидность прямой зависимости между силой тока и глубиной проплавления основного металла, отклонение от наиболее эффективных соотношений с напряжением на дуге существенно нарушает эту зависимость и в некоторых случаях может привести к отклонению от ожидаемых и требуемых значений глубины проплавления.

На рис. 4, 5 представлены графические зависимости наиболее эффективных значений напряжения на дуге от силы тока с точки зрения минимизации потерь на разбрызгивание и максимальных значений коэффициента наплавки, а также глубины проплавления от силы тока для этих значений напряжения. Графо-аналитически предложены эмпирические зависимости между силой тока и напряжением на дуге, представленные на графиках рис. 4, а также между глубиной проплавления и силой сварочного тока, представленные на графиках рис. 5:

$$U_{д} = 12 + 0,04I_{св}; \quad (1)$$

$$U_{д} = 11 + 0,06I_{св}; \quad (2)$$

$$H_{пр} = 0,5 + 0,01I_{св}; \quad (3)$$

$$H_{пр} = -5,5 + 0,035I_{св}, \quad (4)$$

где $I_{св}$ – сила тока, А; $H_{пр}$ – глубина проплавления основного металла, мм.

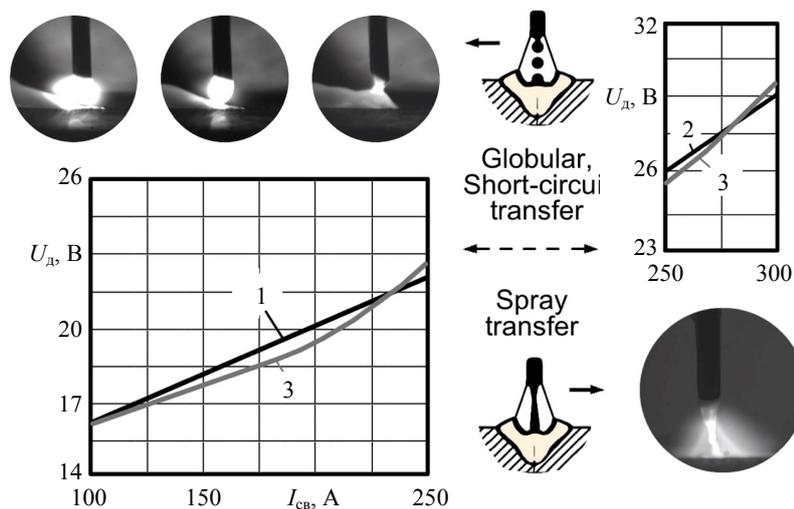


Рис. 4. Графическая зависимость наиболее эффективных значений напряжения на дуге от силы сварочного тока: 1 – сварка и наплавка в диапазоне переноса электродного металла короткими замыканиями дугового промежутка (капельный) (формула (1)); 2 – то же в условиях струйного переноса электродного металла через дуговой промежуток (формула (2)); 3 – кривая по экспериментальным данным

Fig. 4. Graphical dependence of the most effective values of arc voltage on welding current strength:

1 – welding and depositing with electrode metal transfer by short circuits of arc gap (globular) (formula (1)); 2 – welding and depositing with spray transfer of electrode metal through the arc gap (formula (2)); 3 – experimental data curve

Предлагается использовать два типа зависимостей: для диапазона, соответствующего переносу электродного металла короткими замыканиями (капельный перенос) (уравнения (1), (2)), и для диапазона струйного переноса электродного металла (уравнения (3), (4)).

Анализ полученных результатов показывает некоторую нестабильность в области переходных процессов смены типа переноса электродного металла для значений силы тока 250 А в диапазоне напряжений 22–26 В. Данные режимы являются нежелательными и не рекомендуются для использования на практике.

На рис. 6 представлены экспериментальные графические зависимости коэффициента формы шва от напряжения на дуге при различной силе сварочного тока. Коэффициент формы шва определяет соотношение между шириной его валика и глубиной проплавления основного металла.

Чем это значение выше, тем более вероятно шов кристаллизуется в условиях практически параллельного роста первичных кристаллов литой структуры, что является неблагоприятным с точки зрения механических свойств получаемого соединения, особенно в случае швов и наплавок с большой площадью поперечного сечения.

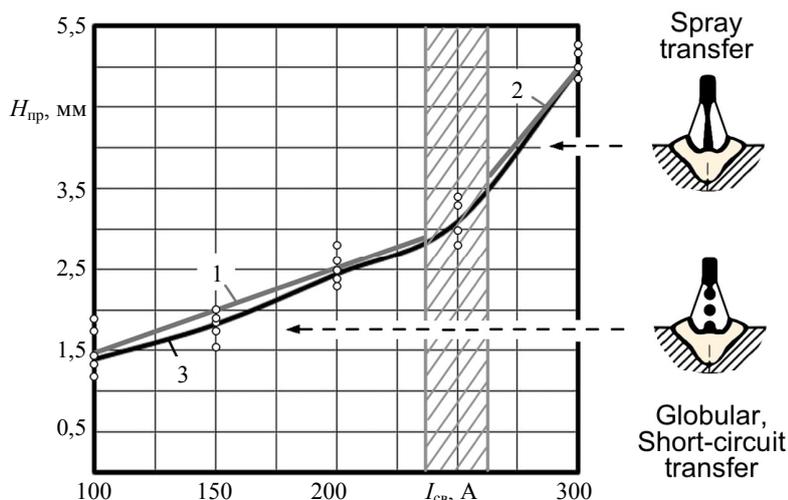


Рис. 5. Графическая зависимость глубины проплавления основного металла от силы сварочного тока при наиболее эффективных значениях напряжения на дуге: 1 – кривая в соответствии с формулой (3); 2 – то же в соответствии с (4); 3 – экспериментальная зависимость

Fig. 5. Graphical dependence of penetration depth of base metal on strength of welding current at the most effective values of arc voltage: 1 – curve according to formula (3); 2 – curve according to formula (4); 3 – experimental dependency

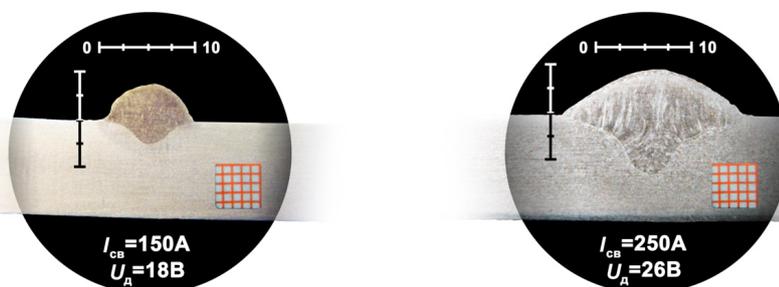
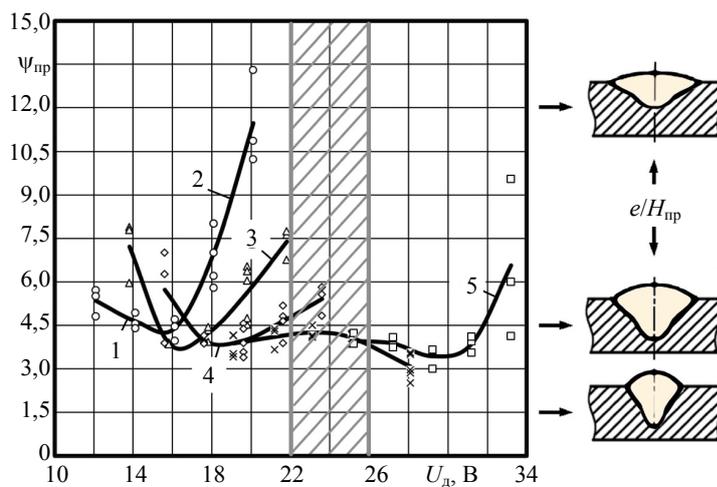


Рис. 6. Графические зависимости коэффициента формы шва ($\psi_{пр}$) от напряжения на дуге ($U_{д}$) при различном значении силы тока ($I_{св}$): 1 – $I_{св} = 100$ А; 2 – 150; 3 – 200; 4 – 250; 5 – 300 А

Fig. 6. Graphical dependences of weld shape factor ($\psi_{пр}$) on arc voltage ($U_{д}$) at different current strength values ($I_{св}$): 1 – $I_{св} = 100$ А; 2 – 150; 3 – 200; 4 – 250; 5 – 300 А

В случае малых значений шов будет более узкий, с переходом в так называемое «кинжальное» проплавление. При этом дендритная структура представляет собой встречный рост кристаллов, что может в некоторых случаях приводить к скоплению и сегрегации примесей легкоплавких эвтектик по плоскости, совпадающей с осью шва.

Анализ полученных результатов показал, что на наиболее эффективных соотношениях параметров режима (сила тока и напряжение на дуге) коэффициент формы шва находится в диапазоне 3–4 при всех значениях силы тока. Это свидетельствует о пропорциональном росте ширины наплавленного при увеличении глубины проплавления основного металла. Таким образом, форма шва достаточно стабильна и сохраняется преимущественно во всем диапазоне значений параметров режима.

В силу характера распределения теплоты при сварке в смесях на основе аргона наблюдаются ярко выраженное повышение глубины проплавления основного металла по оси шва и довольно пологие и широкие боковые части поперечного сечения валика. Это не позволяет снизить значение коэффициента формы менее 3, что свидетельствует о наличии некоторых проблем с выполнением швов в узкие щелевые разделки и с малыми углами скоса кромки. Характер проплавления в этом случае не позволяет получить относительно узкие швы с повышенной глубиной проплавления, так как увеличение силы тока с пропорциональным напряжением не позволяет принципиально изменить геометрическую форму проплавления.

Сказанное выше является объяснением необходимости выполнения разделок кромок с большими значениями угла скоса. В противном случае существенно повышается вероятность появления опасных дефектов в виде несплавлений по кромке и между отдельными валиками. Количество расплавленного металла при этом оказывается большим, чем потенциальная воронка углубления при расплавлении основного металла, и избыточный металл может натекает на боковые участки основного металла, не расплавляя их должным образом. Наличие физического контакта не подразумевает объемное химическое взаимодействие, что приводит к отсутствию прочных связей и появлению разупроч-

няющих зон, состоящих из сегрегационных примесей и оксидных поверхностных пленок, разрушающихся при внешнем нагружении.

ВЫВОДЫ

1. Технология дуговой сварки в защитных газовых смесях чувствительна к нарушению соотношений между силой тока и напряжением на дуге с точки зрения минимизации потерь электродного металла на разбрызгивание. Это требует переработки имеющейся на предприятиях документации при переходе на использование такой газовой среды взамен традиционно применяемого углекислого газа. В противном случае существует большая вероятность снижения эффективности такой замены, что может приводить к необоснованным потерям металла на разбрызгивание и нарушению процессов формирования шва.

2. Одна из наиболее вероятных причин образования несплавлений при сварке в среде 82 % Ar + 18 % CO₂ – невозможность снижения в нормальных условиях коэффициента формы шва ниже значений 3–4, что в случае применения разделок с малым углом скоса кромки (например, С17 по ГОСТ 14771–76), разработанных для сварки в среде CO₂, будет приводить к недостаточному их разогреву и проплавлению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фетисова, Е. А. Межваликовые несплавления при дуговой сварке в защитных газовых смесях на основе аргона / Е. А. Фетисова, А. О. Коротеев, В. П. Куликов // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / редкол.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2019. С. 171–172.*
2. Коротеев, А. О. Особенности выбора сварочных проволок при дуговой сварке в среде Ar + CO₂ с двухструйной коаксиальной подачей защитных газов в зону горения дуги / А. О. Коротеев, В. П. Куликов, В. П. Долячко // *Вестн. Беларус.-Рос. ун-та. 2017. № 3. С. 65–73.*
3. Коротеев, А. О. О возможности использования проволок с пониженным содержанием элементов раскислителей при механизированной сварке в среде Ar + CO₂ / А. О. Коротеев, В. П. Куликов // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2012. Ч. 1. С. 187.*
4. Коротеев, А. О. Преимущества использования проволоки Св-08ГС в условиях механизированной сварки в смесях Ar + CO₂ / А. О. Коротеев // *Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности:*

- материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2012. С. 87.
- Коротеев, А. О. О возможностях и преимуществах применения проволоки Св-08ГС для механизированной сварки в газовой смеси 82 % Ar + 18 % CO₂ и в углекислом газе / А. О. Коротеев, В. О. Дербан // Материалы завод. науч.-техн. конф. «Металл 2012». Жлобин, 2012.
 - Коротеев, А. О. Особенности выбора сварочных материалов при сварке в защитных газовых смесях с двухструйной подачей газов в зону горения дуги / А. О. Коротеев, В. П. Долячко, В. П. Куликов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2017. С. 144–145
 - Коротеев, А. О. Исследование особенностей и оптимизация параметров режима сварки в среде Ar + CO₂ с целью разработки ресурсосберегающего технологического процесса производства каркаса автобуса МАЗ / А. О. Коротеев // Молодежь. Наука. Будущее: технологии и проекты: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. Казань, 2011. С. 297–300.
 - Коротеев, А. О. Разработка ресурсосберегающей технологии дуговой сварки высокопрочных сталей с использованием отечественных сварочных материалов / А. О. Коротеев // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2014. С. 9–15.
 - Kah, P. Influence of Shielding Gases in the Welding of Metals / P. Kah, J. Martikainen // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2012. Vol. 64, No 9–12. P. 1411–1421. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4111-6>.
 - Sato, T. Influence of Shielding Gases on Quality and Efficiency in Gas Shielded Arc Welding / T. Sato // Welding International. 2001. Vol. 15, No 8. P. 616–619. <https://doi.org/10.1080/09507110109549413>.
- Поступила 20.04.2023
Подписана к печати 21.06.2023
Опубликована онлайн 31.07.2023
- REFERENCES
- Fetisova E. A. Koroteev A. O., Kulikov V. P. (2019) Interbead Non-Fusion During Arc Welding Gas Mixtures Based on Argon. *Materialy, Oborudovanie i Resursosberegayushchie Tekhnologii: Materialy Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf.* [Materials, Equipment and Resource-Saving Technologies: Proceedings of International of Scientific and Technical Conference]. Mogilev, Belarusian-Russian University, 171–172 (in Russian).
 - Koroteev A. O., Kulikov V. P., Dolyachko V. P. (2017) Specific Features of the Choice of Welding Wires During Arc Welding in Ar + CO₂ Environment with Two-Jet Coaxial Supply of Shielding Gases to the Arc Burning Zone. *Vestnik Belarussko-Rossiiskogo Universiteta = Belarusian-Russian University Bulletin*, (3), 65–73 (in Russian).
 - Koroteev A. O. Kulikov V. P. (2012) On Possibility of Using Wires with Reduced Content of Deoxidizing Elements in Mechanized Welding in Ar + CO₂ Medium. *Materialy, Oborudovanie i Resursosberegayushchie Tekhnologii: Materialy Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf. Ch. 2* [Materials, Equipment and Resource-Saving Technologies: Proceedings of International of Scientific and Technical Conference. Part 2]. Mogilev, Belarusian-Russian University, 187 (in Russian).
 - Koroteev A. O. (2012) Advantages of Using Wire Св-08ГС (Sv-08GS) in Conditions of Mechanized Welding in Ar + CO₂ Mixtures. *Novye Materialy, Oborudovanie i Tekhnologii v Promyshlennosti: Materialy Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf. Molodykh Uchenykh* [New Materials, Equipment and Technologies in Industry: Proceedings of International of Scientific and Technical Conference of Young Scientists]. Mogilev, Belarusian-Russian University, 87 (in Russian).
 - Koroteev A. O., Derband V. O. (2012) On The Possibilities And advantages of Using Wire Св-08ГС (Sv-08GS) for Mechanized Welding in a Gas Mixture of 82 % Ar + 18 % CO₂ and in Carbon Dioxide. *Materialy Zavodskoi Nauch.-Tekhn. Konf. "Metall 2012"* [Proceedings of Plant of Scientific and Technical Conference "Metal 2012"]. Zhlobin (in Russian).
 - Koroteev A. O., Dolyachko V. P., Kulikov V. P. (2017) Specific Features of the Choice of Welding Consumables when Welding in Protective Gas Mixtures with Two-Jet Gas Supply to the Arc Burning Zone. *Materialy, Oborudovanie i Resursosberegayushchie Tekhnologii: Materialy Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf.* [Materials, Equipment and Resource-Saving Technologies: Proceedings of International of Scientific and Technical Conference]. Mogilev, Belarusian-Russian University, 144–145 (in Russian).
 - Koroteev A. O. (2011) Study of the Specific Features and Optimization of the Parameters of the Welding Mode in the Ar + CO₂ Environment in Order to Develop a Resource-saving Technological Process for the Production of the MAZ [Minsk Automobile Plant] Bus Frame. *Molodezh'. Nauka. Budushchee: Tekhnologii i Proekty: Materialy Mezhdunar. Nauch.-Prakt. Konf. Molodykh Uchenykh i Spetsialistov* [Youth. Science. Future: Technologies and Projects: Proceedings of International of Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists]. Kazan, 297–300 (in Russian).
 - Koroteev A. O. (2014) Development of a Resource-Saving Technology for Arc Welding of High-Strength Steels Using Domestic Welding Consumables. *Novye Materialy, Oborudovanie i Tekhnologii v Promyshlennosti: Materialy Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf. Molodykh Uchenykh* [New Materials, Equipment and Technologies in Industry: Proceedings of International of Scientific and Technical Conference of Young Scientists]. Mogilev, Belarusian-Russian University, 9–15 (in Russian).
 - Kah P., Martikainen J. (2013) Influence of Shielding Gases in the Welding of Metals. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 64 (9–12), 1411–1421. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4111-6>.
 - Sato T. (2001) Influence of Shielding Gases on Quality and Efficiency in Gas Shielded Arc Welding. *Welding International*, 15 (8), 616–619. <https://doi.org/10.1080/09507110109549413>.
- Received: 20.04.2023
Accepted: 21.06.2023
Published online: 31.07.2023