

По результатам моделирования было спроектировано и разработано сопло плазматрона, представленное на рисунке 3.

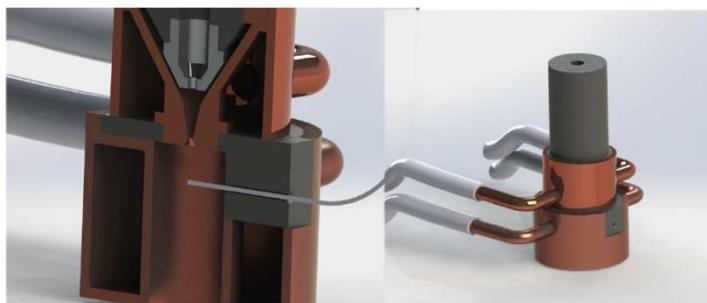


Рис. 3. Сопло плазматрона

Выводы

Смоделирован процесс течения плазмы, разработана и спроектирована конструкция исполнительного оборудования, реализующая исследуемый процесс генерации капель микро- и наноразмерного диапазона. Изготовлено сопло плазматрона формирующее необходимые направления плазменных потоков для образования на поверхности капли жидкого металла микронеровностей под действием исследуемых неустойчивостей.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-10035)

Список используемых источников:

1. Peng J., Yang L. Mathematical model on characteristics of V groove molten pool during MIG welding. CIESC J. 2016; 67 (S1): 117-126.
2. Bilenko G.A., Khaibrakhmanov R.U., Korobov Y.S. Computer Simulation in Developing the Technology of Welding High-Tensile Steel Sheets. Metallurgist. 2017; 61: 265-270.
3. Kumar N., Bandyopadhyay A. Simulation of the effects of input parameters on weld quality in laser transmission welding (LTW) using a combined response surface methodology (RSM)-finite element method (FEM) approach. Lasers Eng. 2017; 36: 225-243.
4. Chinakhov D.A., Vorobjev A.V., Tomchik A.A. Simulation of active shielding gas impact on heat distribution in the weld zone. Mater. Sci. Forum. 2013; 762: 717-721.

СПОСОБЫ ВЛИЯНИЯ НА СВОЙСТВА И ГЕОМЕТРИЮ СВАРНОГО ШВА ПРИ СВАРКЕ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

*Д.А. Чинахов, к.т.н, доцент, Е.Г. Григорьева^а ст.преподаватель,
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, Тел: 8 (384-51) 7-77-63,*

^аE-mail: Sedasch@tpu.ru

Аннотация: Сварка в защитных газах является одним из наиболее распространенных способов сварки плавлением, применяемых в промышленности. Управление свойствами и геометрией шва играют важнейшую роль в оценке эффективности процесса сварки, так как определяют работоспособность металлоконструкции. В данной работе произведен обзор современных методик повышения качества сварки в защитных газах. В результате проведенных исследований установлено, что динамическое воздействие струи защитного газа оказывает существенное влияние на формирование сварного шва.

Abstract: Shielded gas welding is one of the most common fusion welding methods used in industry. The management of the properties and geometry of the weld play a crucial role in assessing the effectiveness of the welding process, as they determine the performance of the metal structure. In this paper, we review modern methods for improving the quality of welding in shielding gases. As a result of the studies, it was found that the dynamic effect of the protective gas jet has a significant effect on the formation of the weld.

Ключевые слова: сварка, эффективность, свойство, микроструктура, шов, капля металла, газ.

Keywords: welding, efficiency, property, microstructure, seam, drop of metal, gas.

Сварка представляет собой один из значимых технологических процессов обработки металлов. Она находит широкое применение во всех производственных секторах, таких как машиностроение, автомобильная, аэрокосмическая, архитектурная промышленность и микроэлектроника. Быстрое развитие современной промышленности сталкивается с серьезной проблемой повышения эффективности дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов. Существует множество методов, используемых для решения этой задачи. Ученые всего мира занимаются исследованием и разработкой наиболее эффективных способов сварки.

Сварка в защитных газах – один из наиболее распространенных способов сварки плавлением, применяемых в промышленности. Управление свойствами и геометрией шва играют важнейшую роль в оценке эффективности процесса сварки, так как определяют работоспособность металлоконструкции в целом.

Исследователи [1] предлагают управлять и повышать механические свойства сварочного шва при помощи применения гибридных видов сварки. Так, например, увеличить глубину проплавления и снизить разбрызгивание металла позволило совмещение сварки в CO_2 и лазерной сварки. Хорошие результаты были получены на образцах, предварительно заваренных сваркой в CO_2 , а затем на той же самой поверхности производилась дуговая сварка под флюсом. При таком способе сварки улучшается микроструктура и повышается твердость сварного шва [1]. Однако применение комбинированных способов сварки требует использования дополнительного оборудования и не всегда возможно на производстве.

Авторы Yang Z. и др. проводили исследования поведения дуги и переноса капли при сварке в CO_2 используя модифицированную форму витой проволоки, где основная проволока используется в центре а другие равномерно распределяются вокруг нее. При таком способе сварки существенно изменяется форма сварочной дуги, что влечет за собой увеличение частоты капель и уменьшению их размера. Тем самым повышается эффективность сварочного процесса и качество наплавленного слоя [2].

В ряде исследований установлено, что применение механических колебаний в зоне дуги способствует улучшению структуры и свойств сварных соединений. Для передачи механических колебаний в зоне сварки может быть использовано несколько методов, таких как электродуговые колебания [4-5], прямое введение колебаний в материал через волновод [6], электромагнитное перемешивание [7], введение ультразвуковых колебаний [8-11]: в сварочную ванну, воздействие на сварочную дугу, вибрация электрода и вибрацию заготовки во время сварки [12].

Установлено, что ультразвуковая вибрационная дуговая сварка является более перспективной с точки зрения улучшения механических свойств сварного шва и микроструктуры [12]. Наблюдается более высокая степень измельчения зерна, однородная структура сварного шва и снижение вероятности горячих трещин.

Исследователи [13] предлагают модернизировать традиционный процесс дуговой сварки в защитных газах, путем вращения сварочной проволоки для изменения потока жидкости в расплавленной ванне. Такой способ позволил уменьшить глубину проплавления основного металла и улучшить микроструктуру шва. Более мелкая микроструктура сварного шва заметно увеличивала прочность на растяжение.

Авторы [14] предложили использовать внешнее магнитное поле для управления геометрией и оптимизации механических свойств сварного шва. Внешнее магнитное поле заставляло дугу и сварочную проволоку непрерывно наклоняться вперед по направлению сварки, а также периодически качаться перпендикулярно направлению сварки. Так же наблюдалось увеличение частоты переноса металла и уменьшение размера капли.

Rosado T. и др. исследовали процессы при сварке в газовой защите с использованием двух электродных проволок. В процессе сварки двумя дугами используются две сварочные проволоки с электроизоляцией, расположенные последовательно одна за другой по отношению к направлению сварки. Тандемная сварка обеспечивает хорошие механические и пластические свойства сварных соединений. Тандемный метод является одним из наиболее эффективных методов повышения производительности сварки [15].

Однако большинство перечисленных способов управления процессом сварки требуют затрат дополнительной энергии и применения специализированных устройств и оборудования. Это является сдерживающим фактором для широкого применения в промышленности.

При дуговой сварке защитный газ используется не только для защиты расплавленного металла сварочной ванны, он и для формирования сварочной дуги, которая обеспечивает сварочную энергию. Защитный газ влияет на свойства сварочной дуги, стабильность процесса сварки и конечное качество сварного соединения. В настоящее время наиболее часто используемые газы это аргон (Ar), гелий (He), углекислый газ (CO_2), водород (H_2), кислород (O_2) и их смеси. Защитные газы, взятые индиви-

дуально, имеют различные характеристики, а бинарные, троичные или даже четвертичные смеси разрабатываются и широко используются благодаря их комплексным преимуществам.

Однако исследований в этой области очень мало и механизм влияния защитного газа на процесс сварки (перенос капель и течение расплавленной ванны) до конца не изучен. В основном в работах, связанных с улучшением качества защиты газом зоны сварки, исследования отражают влияние газовой защиты на качество защиты зоны сварки, стабильность процессов сварки, разбрызгивание металла электрода из зоны сварки.

Авторам Федоренко Г.А., Киянов С.С., Тарасов М.Н., Чинахов Д.А., Шейко П.П., Новиков О.М. и др. [16] проводились исследования по воздействию изменения потоков защитных газов на процессы сварки плавящимся электродом. Исследователи выяснили, что с повышением скорости истечения газа происходит улучшение качества защиты зоны сварки, формообразование сварного шва, стабильность большинства процессов сварки. Так же анализ результатов исследований показал, что предел прочности и предел текучести в основном зависят от силы сварочного тока и скорости потока защитного газа [16].

Сварка плавящимся электродом в CO_2 получила широкое применение за счет ряда преимуществ: высокая концентрация энергии дуги и ее проплавляющая способность, более высокая экономичность процесса, стойкость против образования трещин и пор, возможность визуального наблюдения за формированием сварного шва, высокая мобильность и маневренность процесса. Однако при таких достоинствах способ сварки в CO_2 имеет и ряд недостатков. Авторы [17] исследовали влияние защитного газа на микроструктуру и механические свойства сварных швов. Определили, что разбрызгивание расплавленного металла увеличивается по мере повышения содержания CO_2 в защитном газе, состоящем из смеси $\text{Ar} + \text{CO}_2$.

Авторы Cai X. И др. исследовали влияние газа на формирование сварного шва с переменным газом Ar-He . Различный защитный газ приводит к различному переносу капель, когда защитным газом является гелий, размер капель становился больше и глубина проплавления увеличивается [18]. Установлено, что применение чередующихся защитных газов создает динамическое воздействие в сварочной ванне и обеспечивает преимущества с точки зрения увеличения скорости сварки, уменьшения пористости в зоне сварки и увеличения прочности на растяжение. Kang и др. [19] установили, что сварка при попеременном подводе Ar и He образует более глубокий и широкий профиль проплавления сварного шва за счет совместного влияния характеристик концентрации дуги Ar и расширения дуги He под действием дугового давления импульса с попеременной подачей защитного газа.

М. Gao, X. и др. в своей работе [20] показали, что увеличение подачи CO_2 может снижать стабильность процесса сварки и влиять на внешний вид сварного шва при сварке углеродистой стали. Кроме того, они определили, что направление и скорость потока защитного газа оказывают влияние на процесс сварки стали. Так же установлено, что изменение расхода защитного газа оказывает существенное влияние на форму расплавленной ванны, увеличение потока газа облегчает распространение жидких металлов в обе стороны, что делает выпуклость края расплавленной ванны меньше. Замечено, что высокий расход газа помогает избежать окисления сварного шва и получить лучший внешний вид, но в тоже время может ухудшиться стабильность процесса сварки. Поэтому объемный расход подаваемого газа должен быть тщательно подобран для достижения требуемого качества сварки. В литературе рекомендуется применять расход защитного газа 15-20 л/мин, но на практике сварщики иногда используют расход до 36 л/мин. Изменение вылета электрода не оказывало никакого влияния на качество сварного шва при расходе защитного газа выше 15 л/мин.

Авторы работ [21] исследовали влияние защитных газов при дуговой сварке в защитных газах. Установлено, что при использовании в качестве защитного газа гелия, ширина и глубина проплавления сварного шва выше, чем у сварных швов с защитным газом Ar . Так же, при защите He , сварной шов имеет более высокую ударную вязкость.

Авторы [22] изучали влияния защитного газа, водорода и аргона. Наибольшая прочность на растяжение и изгиб была получена у образца, сваренного с использованием с защитного газа 1,5 % $\text{H}_2 + \text{Ar}$. Средний размер зерна в металле сварного шва увеличивается с повышением содержания водорода, а также увеличивается глубина проплавления металла шва и его ширина.

Авторы [23] изучали влияние изменения состава защитного газа на свойства сварного шва. После выполнения ряда механических и металлографических испытаний было установлено, что поглощенная энергия при испытании на удар сначала увеличивалась, затем оставалась постоянной при увеличении количества углекислого газа в смеси защитного газа. Количество включений умень-

шается, а объемная доля феррита увеличивается с повышением процентного содержания диоксида углерода в защитном газе, зона термического влияния увеличивается.

Авторами [24] разработан способ сварки с двухструйной газовой защитой сварочной ванны. По результатам экспериментальных исследований установлено, что при одинаковых режимах сварки и расходе газа, но разным способе газовой защиты значительно изменяются геометрические параметры сварного шва. Геометрия наплавляемого валика с применением двухструйного сварочного сопла имеет более плоскую форму [25]. Что способствует значительному повышению прочности сварных соединений, особенно при переменных нагрузках. Так же при сварке с двухструйной газовой защитой наблюдается плавный переход от сварного шва к основному металлу, что обеспечивает более высокую работоспособность сварных соединений.

Газодинамическое управление формообразованием и геометрией сварного шва имеет большое практическое значение и дает возможность повысить эксплуатационную надежность сварной конструкции без дополнительных затрат.

Список используемых источников:

1. Lala S. D. et al. Study of hardness of the weld bead formed by partial hybrid welding by metal inert gas welding and submerged arc welding at three different heat inputs //Materials Today: Proceedings. – 2018. – Т. 5. – №. 5. – p. 13650-13657.
2. Yang Z. et al. Arc behavior and droplet transfer of CWW CO₂ welding //Journal of Iron and Steel Research International. – 2016. – Т. 23. – №. 8. – p. 808-814.
3. Shinde A. P. et al. Evaluation of Tensile Strength of a Butt-Welded Joint Considering the Effect of Welding Parameters Using Response Surface Methodology //Materials Today: Proceedings. – 2017. – Т. 4. – №. 8. – p. 7219-7227.
4. L. He, M. Wu, L. Li, H. Hao. Ultrasonic generation by exciting electric arc: a tool for grain refinement in welding process Appl Phys Lett, 89 (2006), pp. 10-12
5. Lei Y. C., Wang Z. W., Chen X. Z. Effect of arc-ultrasound on microstructures and mechanical properties of plasma arc welded joints of SiCp/Al MMCs //Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – 2011. – Т. 21. – №. 2. – p. 272-277.
6. W. Dai. Effects of high-intensity ultrasonic-wave emission on the weldability of aluminum alloy 7075-T6 Mater Lett, 57 (2003), pp. 2447-2454
7. Villafuerte J. C., Kerr H. W. Electromagnetic stirring and grain-refinement in stainless-steel GTA welds //Welding journal. – 1990. – Т. 69. – №. 1. – p. S1-S13.
8. Vasantharaja P., Vasudevan M., Palanichamy P. Effect of welding processes on the residual stress and distortion in type 316LN stainless steel weld joints //Journal of Manufacturing Processes. – 2015. – Т. 19. – p. 187-193.
9. Yuan T., Kou S., Luo Z. Grain refining by ultrasonic stirring of the weld pool //Acta Materialia. – 2016. – Т. 106. – p. 144-154.
10. Sun Q. J. et al. Penetration increase of AISI 304 using ultrasonic assisted tungsten inert gas welding //Science and Technology of Welding and Joining. – 2009. – Т. 14. – №. 8. – p. 765-767.
11. Fan Y. Y. et al. Ultrasonic wave assisted GMAW //Weld J. – 2012. – Т. 91. – №. 3. – С. 91S-99S.
12. Kumar S. et al. Application of ultrasonic vibrations in welding and metal processing: a status review //Journal of Manufacturing Processes. – 2017. – Т. 26. – p. 295-322.
13. Zhang H. et al. A novel rotating wire GMAW process to change fusion zone shape and microstructure of mild steel //Materials Letters. – 2014. – Т. 123. – p. 101-103.
14. Sharma P., Chattopadhyaya S., Singh N. K. A review on magnetically supported gas metal arc welding process for magnesium alloys //Materials Research Express. – 2019. – Т. 6. – №. 8. – p. 082002.
15. Rosado T. et al. Innovations in arc welding //Zavarivanje i zavarene konstrukcije. – 2011. – Т. 56. – №. 1. – p. 23-36.
16. Чинахов Д.А. Влияние режимов сварки плавлением на структуру и свойства соединений из легированных сталей: монография// Монография / Д.А. Чинахов; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 114 с.
17. M.T. Liao, W.J. Chen The effect of shielding-gas compositions on the microstructure and Mechanical properties of stainless steel weldments. Materials Chemist and Physics 55 (1998) pp. 145-151.
18. Cai X. Et al. Капельный перенос и формирование сварного шва при сварке MIG с переменным газом Ar-He для алюминиевого сплава // Технологические процессы. – 2020. – Т. 49. – С. 94-101.

19. Kang B. Y. et al. Characteristics of alternate supply of shielding gases in aluminum GMA welding //Journal of Materials Processing Technology. – 2009. – Т. 209. – №. 10. – С. 4716-4721.
20. Gao M. et al. Effects of shielding gas in CO2 laser-MAG hybrid welding //Transactions-China Welding Institution. – 2007. – Т. 28. – №. 2. – p. 85.
21. P. Sathiya, S.Aravindan, R.Soundararajan, and A. NoorulHaq” Effect of shielding gases on mechanical and metallurgical properties of duplex stainless-steel welds” J Mater Science (2009) 44: pp114–121
22. Ahmet DurgutluExperimental investigation of the effect of hydrogen in argon as a shielding gas on TIG welding of austenitic stainless steel. Materials and Design 25 (2004) p. 19–23
23. Mohamad Ebrahimnia, MassoudGoodarzi, Meisam Nouri, Mohsen Sheikhi Study of the effect of shielding gas composition on the mechanical weld properties of steel ST 37-2 in gas metal arc welding. Materials and Design 30 (2009) pp. 3891–3895.
24. Патента на изобретение № RU 2233211 С1 Российская Федерация, 7 В 23 К 9/173//В 23 К 103:04. Способ сварки: заявл. 27.05.2003; опубл. 27.07.2004 / Чинахов Д.А., Федько В.Т., Сараев Ю.Н. – 5 с.
25. Chinakhov D.A., Grigorieva E.G., Mayorova E.I. Study of gasdynamic effect upon the weld geometry when consumable electrode welding. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 127 (2016) 012013. doi:10.1088/1757- 899X/127/1/012013

СЕЛЕКТИВНОЕ ЛАЗЕРНОЕ ПЛАВЛЕНИЕ СПЛАВА НА ОСНОВЕ КОБАЛЬТА

Н.А. Сапрыкина¹, к.т.н., доц., А.А. Сапрыкин^{1а}, к.т.н., доц., Ю.П. Шаркеев², д.т.н., проф.,
Е.А. Ибрагимов¹, к.т.н., ст. препод., М.А. Химич², к.т.н.

¹Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,
652055, Кемеровская область, г.Юрга, Ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 7-77-61

²Институт физики прочности и материаловедения
Сибирского отделения Российской академии наук,

634055, Томская область, г. Томск, Академический пр., 2/4,

^аE-mail: saprikina@tpu.ru

Аннотация: сплавы на основе кобальта применяют в качестве коррозионностойких, жаропрочных, износостойких сплавов, предназначенных для работы в агрессивных средах и при высоких температурах. В статье описано формирование порошковой композиции из порошков 66 мас. % Со, 28 мас. % Сг, 6 мас. % Мо, альтернативной сфероидизации, более дешевой и доступной для метода селективного лазерного плавления. Представлены результаты поисковых экспериментов по созданию сплава из композиции СоСгМо с пористостью менее 5 процентов.

Abstract: cobalt-based alloys are used as corrosion-resistant, heat-resistant, wear-resistant alloys designed to work in aggressive environments and at high temperatures. The article describes the formation of a powder composition from powders of 66 wt. % Со, 28 wt. % Сг, 6 wt. % Мо, an alternative spheroidization, cheaper and available for the selective laser melting method. The results of search experiments on creating an alloy from СоСгМо composition with a porosity of less than 5 percent are presented.

Ключевые слова: селективное лазерное плавление (СЛП); кобальтовый сплав; аддитивное производство; пористость.

Keywords: selective laser melting (SLM); cobalt alloy; additive manufacturing; porosity.

В современном машиностроении жаропрочные кобальтовые сплавы занимают определенную нишу благодаря своим уникальным свойствам. Прежде всего, кобальтовые сплавы применяют в качестве коррозионностойких, жаропрочных, износостойких сплавов, предназначенных для работы в агрессивных средах и при высоких температурах. Примерами таких деталей являются лопатки, сопла, завихрители, кольца и прочие элементы турбин и двигателей внутреннего сгорания. Традиционные методы формообразования не обеспечивают в полной мере эксплуатационные и технологические характеристики перечисленных изделий машиностроительной отрасли. Применение метода селективного лазерного плавления позволяет сократить время на изготовление и себестоимость сложнопрофильных деталей [1, 2]. Для этой технологии применяют порошковые композиции, которые должны отвечать определенным требованиям: сферическая форма частиц, гранулометрический, фазовый и элементный составы, текучесть, сыпучесть и т.п.

Целью представленного исследования является формирование композитного порошка, альтернативного сферическому, более дешевого и доступного для метода селективного лазерного плавления и проведение поисковых экспериментов для создания из него, плотного образца с пористостью менее 5 процентов.