

- tional university named V. Dal. – 2014. – № 6. – Vol. 2. – P. 93-96. (Rus.)
10. Berezshnaya E.V. Mathematical modeling of the energy-power parameters of the recovery process of the earthmoving machine parts with electrocontact surfacing method / E.V. Berezshnaya, Yu.A. Chepel, N.I. Civinda // Mining herald : Scientific and technical collection. – Kryvyi Rih, 2014. – Vol. 97. – P. 201-205. (Rus.)
 11. Andreyuk L.V. Analytical dependence of the deformation resistance of the metal on the temperature, velocity and the deformation degree / L.V. Andreyuk, G.G. Tulenev // Steel. – 1972. – № 6. – P. 825-828. (Rus.)
 12. Berezshnaya E.V. The thermal state of the cutting instrument in the recovery electrocontact surfacing zone / E.V. Berezshnaya // Reliability of the instrument and optimization of the technological systems : Collection of scientific works / DSEA. – Kramatorsk, 2014. – № 34. – P. 197-200. (Rus.)
 13. Berezshnaya E.V. Calculation of the temperature field under electrocontact surfacing of the multilayer coatings / E.V. Berezshnaya // Advanced technologies, materials and equipment in the casting production / DSEA. – Kramatorsk, 2013. – P. 31. (Rus.)
 14. Berezshnaya E.V. Calculation method of the thermal state of the powder layer under electrocontact surfacing of the casting equipment parts / E.V. Berezshnaya // Advanced technologies, materials and equipment in the casting production / DSEA. – Kramatorsk, 2013. – P. 32-33. (Rus.)
 15. Berezshnaya E.V. Thermal processes under powder material consolidation with the electrocontact method / E.V. Berezshnaya // Heavy engineering. Problems and development prospects / DSEA. – Kramatorsk, 2015. – P. 14. (Rus.)
 16. Likov A.V. Heat conductivity theory / A.V. Likov. – M. : Vysshaya shkola, 1967. – 600 p. (Rus.)

Рецензент: С.В. Гулаков
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 28.04.2016

УДК 621.791

© Зусин В.Я.*

ОСОБЕННОСТИ ДЕГАЗАЦИИ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ ПРИ НАПЛАВКЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

Выполнен анализ известных методик наплавки алюминиевых сплавов, определены основные проблемы при их наплавке. Показано, что при наплавке алюминиевых сплавов наиболее вероятны дефекты, связанные с образованием пор в наплавленном металле. Происходит зарождение микрополостей в сварочной ванне, что приводит к образованию дефектов. На основе проведенных исследований разработана технология наплавки алюминиевых сплавов, позволяющая управлять процессом порообразования при наплавке.

Ключевые слова: алюминий, сварка, сварочная ванна, наплавка, поры, дегазация, водород.

Зусин В.Я. *Особливості дегазації зварювальної ванни при наплавленні алюмінієвих сплавів порошковим дротом.* Виконано аналіз відомих методик наплавлення алюмінієвих сплавів, визначено основні проблеми при їх наплавленні. Показано, що при наплавленні алюмінієвих сплавів найбільш вірогідні дефекти, пов'язані з утворенням пір в наплавленому металі. Відбувається зародження мікропорожнин у зварювальній ванні, що призводить до утворення дефектів. На основі проведених досліджень розроблена технологія наплавлення алюмінієвих сплавів, що дозволяє управляти процесом пороутворення при наплавленні.

* д-р техн. наук, професор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

Ключові слова: алюміній, зварювання, зварювальний ванна, наплавка, пори, дегазація, водень.

V.Y. Zusin. Peculiarities of welding pool degassing at surface deposition of aluminium alloys with powder wire. The article contains the analysis of the conventional methods of surface deposition of aluminium alloys. It was shown that at surface deposition of aluminium alloys interstices, arising at hydrogen bubbles formation in the weld pool at the moment of its crystallization are the most probable defects. An additional source of hydrogen supply into the weld pool springs up at surface deposition of aluminium alloys - this is the powder electrode charge. So, a model of formation of gas bubbles with due regard to this factor was developed. Presence of various surface defects, like cavities, shears, and micro-cracks is a factor, promoting formation of gaseous hydrogen phase inside a drop of electrode metal. Further development of gas bubbles, entrapped into the weld pool goes on by their consolidation and hydrogen diffusion from the molten metal into gaseous section. Intensification of bubble degassing, both at the stage of molten metal drop and at the welding pool stage is the most efficient way. The process of degassing depends on the amount of hydrogen, introduced into the weld pool. Proposed was an analytical dependence of evaluation of the original hydrogen concentration in the weld pool upon the coefficient of powder wire filling and dimensions of the charge particles. Experimental research of the influence of the parameters of powder wire upon the porosity of deposited metal made it possible to determine an optimal range of charge granulation and the coefficient of powder wire filling, ensuring intensive degassing during the period of its existence in liquid state and reaching deposited metal with sufficient density.

Keywords: aluminium, welding, weld pool, surface deposition, interstice, degassing, hydrogen.

Постановка проблеми. Процесс наплавки порошковой проволокой, с целью восстановления геометрических размеров деталей или управления свойствами их поверхностного слоя, относится к высокопроизводительным и эффективным технологиям, получающим все большее распространение в различных отраслях промышленности в связи со значительной экономической выгодой [1, 2].

Анализ последних исследований и публикаций. На пути к решению задачи повышения качества наплавленного металла лежит проблема повышения его плотности за счет предупреждения образования газовых пор – самого распространенного и опасного дефекта [3-5].

Наиболее эффективным путем повышения плотности металла шва из алюминиевых сплавов при наплавке порошковой проволокой является интенсификация процесса пузырьковой дегазации как на стадии капли расплавленного металла, так и на стадии сварочной ванны.

Образование пор протекает в несколько стадий: формирование зародышей газовых пузырьков, развитие пузырьков в объеме сварочной ванны в процессе диффузии и коалесценции, дегазации ванны - преимущественно за счет всплывания пузырьков.

При установившемся процессе наплавки в жидком металле ванны появляется большое количество мелких (зародышевых) газовых пузырьков. Считается, что источником их появления могут быть либо поверхностные микрополости расплавляемых поверхностей (например кромок), содержащие адсорбированную влагу, жировые и пылевые загрязнения, оксиды и др. [3, 4], либо микродефекты твердого металла – микротрещины, вакансии, скопления дислокаций и др., являющиеся своеобразными микроловушками протонов и молекул газа (чаще всего водорода) [6].

В обоих случаях зарождение микрополостей происходит в головной части сварочной ванны, которые вместе с потоком жидкого металла переносятся в ее хвостовую часть.

Из всех газов, с которыми алюминий вступает во взаимодействие, растворяется в нем только водород [3, 4, 6]. При повышении температуры растворимость водорода увеличивается [3, 6], поэтому жидкий металл сварочной ванны интенсивно поглощает водород при взаимодействии с газовой атмосферой дуги. Растворимость водорода в алюминии при постоянном давлении показана на рис. 1.

Целью данной работы является разработка технологии наплавки алюминиевых сплавов, позволяющая исключить возможность образования пор в наплавленном металле.

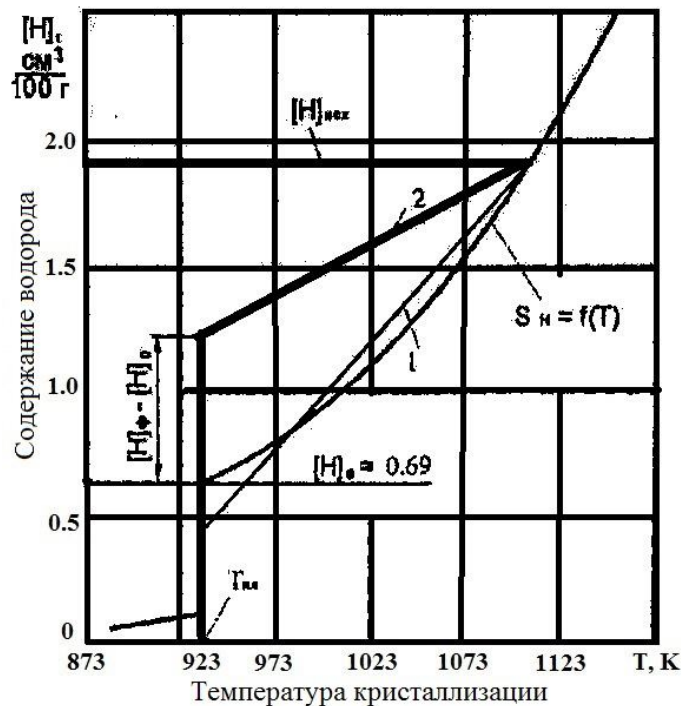


Рис. 1 – Растворимость водорода в жидком металле ($\delta n = A(T)$) и схема дегазации сварочной ванны при кристаллизации

Изложение основного материала. При наплавке алюминиевых сплавов порошковым электродом возникает дополнительный источник поступления газовых пузырьков в сварочную ванну в виде шихты порошкового электрода. Установлено, что при расплавлении порошкового электрода в образующуюся на конце электрода каплю вместе с шихтой поступают газовые зародыши, возникающие при термическом разложении гидратированных оксидов, жировых пленок, адсорбированных молекул воды, газов и других веществ, находящихся на шероховатой поверхности частиц шихты [1].

Наличие поверхностных дефектов на частичках шихты в виде углублений, сколов, микротрещин, уступов и т.п. является стимулирующим фактором для возникновения зародышей газовой фазы в капле. Изложенный механизм появления газовых пузырьков в капле и переноса их в ванну подтверждается макроструктурой продольного сечения закристаллизовавшейся капли на торце электрода (рис. 2).

Дальнейшее развитие газовых пузырьков, попавших в сварочную ванну, происходит путем коалесценции и диффузии водорода из жидкого металла в газовую полость.

Процесс дегазации сварочной ванны начинается в тот момент, когда концентрация водорода в сварочной ванне превышает равновесную вследствие снижения температуры металла и уменьшения растворимости (рис. 1).

Степень объемного пересыщения металла сварочной ванны растворенным водородом зависит от интенсивности (скорости) выделения газов из нее [3]. При вялом выделении газов из жидкого металла (рис. 1, кривая 2) в процессе охлаждения пересыщение его газами в момент кристаллизации $[H]_{\phi} - [H]_o$ велико, и в металле образуются поры. Ускоренная дегазация ванны (кривая 1 рис. 1) уменьшает вероятность образования пор.

Количество водорода, вносимого в сварочную ванну с поверхности частиц порошкового наполнителя, зависит не только от коэффициента заполнения электрода, но и от размеров и формы частиц. Следовательно, изменяя гранулометрический состав шихты порошкового материала, технологию его получения и коэффициент заполнения, можно в широком диапазоне изменять объем выделяющегося с поверхности частиц водорода и, следовательно, управлять процессом дегазации сварочной ванны.

На основе аналитической обработки зависимостей исходной концентрации водорода в сварочной ванне от коэффициента заполнения порошковой ленты и размера частиц шихты по-

лучено достаточно простое параметрическое уравнение в виде:

$$[H]_{\text{исх}} = \frac{7,4K_3 + 0,07}{(4,76 \cdot 10^4 d_{\text{ш}} - 3,76)^{0,2}}, \quad (1)$$

где $[H]_{\text{исх}}$ — исходное содержание водорода в ванне, см /100 г;
 $d_{\text{ш}}$ — средний диаметр частиц шихты, м.

Тогда величина пересыщения сварочной ванны водородом при наплавке может быть найдена по выражению:

$$\Delta C_{\text{жс}} = [H]_{\text{исх}} - [H]_0. \quad (2)$$

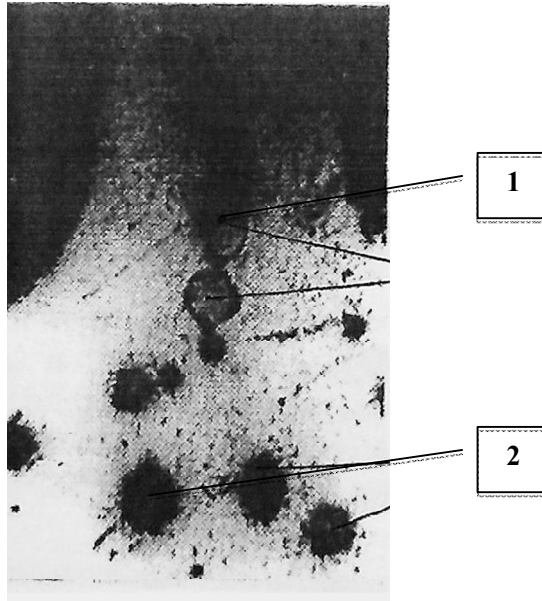


Рис. 2 – Макроструктура сечения закристаллизовавшейся капли порошкового электрода: 1 – частицы шихты; 2 – газовые пузырьки в капле электродного металла (×25)

Для исследования влияния гранулометрического состава шихты на пористость наплавленного металла была изготовлена серия порошковых лент с $K_3 = 0,35$ и с различными размерами частиц шихты. После наплавки исследуемыми порошковыми лентами производилась вырезка образцов для макроструктурного анализа и гидростатического взвешивания. С целью определения объема несплошностей в различных участках наплавленного металла производилось раздельное гидростатическое взвешивание образцов, вырезанных из верхней нижней части наплавленного слоя и в целом всего валика.

Для исследования влияния коэффициента заполнения порошковой ленты на пористость наплавленного металла были произведены экспериментальные наплавки порошковыми лентами с коэффициентами заполнения от 0,20 до 0,45.

Шихта мелкой фракции с размером гранул 0,01 см имеет развитую поверхность и вносит значительный объем водорода, который обуславливает повышенную пористость наплавленного металла. Объемы несплошностей в нижней и верхней части наплавленного слоя сравнительно высоки и составляют соответственно 1,07 и 1,61 см³/100 г. Формирование наплавленного слоя ухудшается ввиду усиленного разбрызгивания электродного металла.

Увеличение размера частиц шихты порошковой ленты приводит к снижению количества водорода, вносимого поверхностью частиц шихты, и их перераспределению его в объеме наплавленного металла.

Объем несплошностей в нижней части наплавленного слоя уменьшается до 0,09...0,26 см³/100 г в случае, когда размеры частиц шихты порошковой ленты составляют 0,02...0,08 см.

В верхней части слоя скапливается значительное количество пузырьков и объем несплошностей составляет 1,42...1,73 см³/100 г, что свидетельствует о дегазации нижней части

сварочной ванны в период ее существования в жидком состоянии.

Аналогичный характер изменения объема наплавленного металла наблюдается при исследовании роли коэффициента заполнения порошковой ленты. При $K_3 = 0,2$ объем несплошностей в верхней и нижней части наплавленного металла составляет 0,6...0,8 см/100 г.

С увеличением коэффициента заполнения порошковой проволоки до 0,4 происходит перераспределение объема несплошностей по сечению наплавленного слоя. Объем несплошностей в нижней части слоя уменьшается до 0,096 см/100 г, а в верхней части возрастает до 1,73 см/100 г. При $K_3 = 0,45$ происходит увеличение объема несплошностей в нижней части наплавленного металла до 0,95 см³/100 г.

Таким образом, изменяя технологические параметры порошкового электрода (K_3) и гранулометрический состав шихты можно в определённых рамках управлять процессом порообразования при наплавке алюминиевых сплавов порошковым электродом.

Выводы

1. Разработана модель образования газовых пузырьков при наплавке алюминиевых сплавов порошковой проволокой.
2. Определена доминирующая роль грануляции и коэффициента заполнения порошковой проволоки на развитие процесса дегазации наплавленного металла.
3. Оптимизирован диапазон гранулометрического состава шихты и коэффициентов заполнения порошковой проволоки, обеспечившее достаточно полную дегазацию сварочной ванны при наплавке алюминиевых сплавов порошковой проволокой.

Список использованных источников:

1. Зусин В.Я. Восстановление и упрочнение деталей из алюминиевых сплавов наплавкой порошковой проволокой / В.Я. Зусин, В.А. Серенко. – Мариуполь : Рената, 2014. – 174 с.
2. Роянов В.О. Дефекти та якість при зварюванні і споріднених процесах : підручник / В.О. Роянов, В.Я. Зусин, С.С. Самотугін. – Мариуполь : Рената, 2010. – 224 с.
3. Никифоров Г.Д. Металлургия сварки плавлением алюминиевых сплавов / Г.Д. Никифоров. – М. : Машиностроение, 1972. – 264 с.
4. Рабкин Д.М. Металлургия сварки плавлением алюминия и его сплавов / Д.М. Рабкин. – Киев : Наукова думка, 1986. – 256 с.
5. Походная И.К. Газы в сварочных швах / И.К. Походная. – М. : Машиностроение, 1972. – 256 с.
6. Алюминий и его сплавы в современных сварных конструкциях / А.Я. Ищенко, Т.М. Лабур, В.Н. Бернадский, О.В. Маковецкий. – Киев : Экотехнология, 2006. – 112 с.

Bibliography:

1. Zusin V.Y. Restoration and hardening of details from aluminum alloys welding flux cored wire / V.Ya. Zusin, V.A. Serenko. – Mariupol : Renata, 2014. – 174 p. (Rus.)
2. Royanov V.O. Defects and quality in welding and allied processes : classbook / V.O. Royanov, V.Ya. Zusin, S.S. Samotugin. – Mariupol : Renata, 2010. – 224 p. (Rus.)
3. Nikiforov G.D. Welding metallurgy of aluminum alloys melting / G.D. Nikiforov. – M. : Mashinostroenie, 1972. – 264 p. (Rus.)
4. Rabkin D.M. Welding metallurgy of aluminum and its alloys melting / D.M. Rabkin. – Kiev : Naukova dumka, 1986. – 256 p. (Rus.)
5. Pohodnaya I.K. Gases in the welds / I.K. Pohodnaya. – M. : Mashinostroenie, 1972. – 256 p. (Rus.)
6. Aluminium and its alloys in modern welded structures / A.Ya. Ischenko, T.M. Labur, V.N. Bernadsky, O.V. Makovetskiy. – Kiev : Ekotechnologiya, 2006. – 112 p. (Rus.)

Рецензент: В.И. Щетинина
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ЛГТУ»

Статья поступила 18.06.2016