

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ НАПЛАВКИ Порошковыми лентами на их сварочно-технологические свойства

А. П. ВОРОНЧУК, А. П. ЖУДРА, А. В. ПЕТРОВ, В. О. КОЧУРА

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Исследовано влияние режимов наплавки на сварочно-технологические свойства различных типов высоколегированных порошковых лент. Определяли коэффициент расплавления электродного металла, коэффициенты наплавки, коэффициенты потерь, а также производительность расплавления электродного материала и производительность наплавки. В качестве объектов исследований выбраны широко применяемые в промышленности порошковые ленты ПЛ-АН-101 и ПЛ-АН-179, изготовленные на стальной ленте-оболочке, а также лента ПЛ-АН-111 на основе никелевой оболочки. Наплавка образцов для исследований выполнялась на аппарате А-874Н с приставкой АД-167 и источником питания ВДУ-1201 в широком диапазоне режимов: ток 600...900 А, напряжение 32...40 В, скорость 32...55 м/ч. Полученные результаты представлены в графическом виде. Установлено, что на характеристики сварочно-технологических свойств порошковых лент и соответственно на химический состав и твердость наплавленного металла помимо режимов наплавки существенное влияние оказывает состав порошка-наполнителя и материал ленты оболочки. При наплавке лентой ПЛ-АН-111 с никелевой оболочкой, имеющей высокое омическое сопротивление, происходит более интенсивный разогрев порошковой ленты на вылете, и как следствие увеличение коэффициента расплавления электродного материала. При наплавке лентами ПЛ-АН-101 и ПЛ-АН-179 производительность расплавления ниже. Потери на угар и разбрызгивание при увеличении тока для ленты ПЛ-АН-111 растут, для ленты ПЛ-АН-101 изменяются незначительно, а для ленты ПЛ-АН-179 в диапазоне тока 900...1200 А резко падают за счет специфики состава порошка-наполнителя. Значения коэффициентов расплавления и наплавки, а также производительность расплавления и наплавки для всех типов лент падают с увеличением скорости процесса, однако для ленты ПЛ-АН-111 эти показатели меняются незначительно. Библиогр. 7, табл. 1, рис. 3.

Ключевые слова: порошковая лента, ток, напряжение, скорость наплавки, производительность расплавления и наплавки, потери на угар и разбрызгивание

При разработке технологических процессов восстановления и упрочнения деталей с применением порошковой ленты важным инструментом получения требуемого эффекта является выбор режимов наплавки. Высокий коэффициент заполнения порошковых лент позволяет вести процесс наплавки с высокой производительностью и получать наплавленные слои с высокой степенью легирования. Ранее предпринимались попытки исследования процессов плавления порошковых лент и формирования наплавленного слоя [1, 2]. Но в данных работах речь идет о наплавке на форсированных режимах под слоем флюса. Специфика плавления порошковых лент открытой дугой потребовала комплексных исследований влияния технологических параметров процесса наплавки на целый ряд факторов, характеризующих формирование и качество наплавленного металла. В предыдущих работах [3, 4] исследовано влияние режимов наплавки порошковыми лентами различных составов на геометрические параметры сформированных валиков, химический состав и твердость наплавленного металла.

В развитие этих работ, в настоящей представлены результаты исследований сварочно-технологических свойств порошковых лент, такие как коэффициенты расплавления электродного металла, коэффициенты наплавки, коэффициенты потерь, а также производительность расплавления электродного материала и производительность наплавки.

Указанные параметры играют ключевую роль при расчете составов порошковых лент, а также влияют на химический состав, твердость и служебные характеристики наплавленного металла.

Исследовали три марки порошковых лент – ПЛ-Нп-300Х25С3Н2Г2 (ПЛ-АН-101) и ПЛ-Нп400Х20Б7М7В2Ф (ПЛ-АН-179), изготовленные на основе стальной ленты-оболочки, а также ленту ПЛ-Нп500Х40Н40С2РЦ (ПЛ-АН-111), которая изготовлена на основе никелевой ленты оболочки [5–7]. Выбор марок порошковых лент со стальной оболочкой обусловлен тем, что лента ПЛ-АН-101 была изготовлена с использованием комплексной лигатуры в составе порошка-наполнителя. Лента ПЛ-АН-179 изготов-

Режимы наплавки

Ток, А	Напряжение, В	Скорость наплавки, м/ч
600 ± 25	32 ± 1	32 ± 1
750 ± 25	32 ± 1	32 ± 1
900 ± 25	32 ± 1	32 ± 1
1150 ± 25	32 ± 1	32 ± 1
1200 ± 25	32 ± 1	32 ± 1
900 ± 25	24 ± 1	32 ± 1
900 ± 25	28 ± 1	32 ± 1
900 ± 25	36 ± 1	32 ± 1
900 ± 25	40 ± 1	32 ± 1
900 ± 25	32 ± 1	19 ± 1
900 ± 25	32 ± 1	40 ± 1
900 ± 25	32 ± 1	48 ± 1
900 ± 25	32 ± 1	55 ± 1

ливалась на базе механической смеси тугоплавких ферросплавов.

Опыты выполнялись на наплавочном аппарате А-874Н, укомплектованном источником питания ВДУ-1201 и приставкой АД-167. Наплавка выполнялась отдельными валиками в один слой на постоянном токе обратной полярности, при неизменной величине вылета, равной 50 мм и жесткой внешней характеристикой источника питания. В качестве основного металла использовались

пластины из Ст3 толщиной 30 мм и размером 300×400 мм. На каждую из пластин наплавлялось по 6 валиков длиной 200...250 мм. Чтобы исключить влияние предварительного подогрева, каждый последующий валик наносился после полного остывания предыдущего. Режимы наплавки всеми приведенными лентами представлены в таблице.

Коэффициенты расплавления α_p и наплавки α_n определялись по формулам:

$$\alpha_p = \frac{3600(m_{л} - m_{л}^1)}{It},$$

где $m_{л}$ — масса ленты до наплавки, г; $m_{л}^1$ — масса ленты после наплавки, г; I — ток наплавки, А; t — время наплавки, с;

$$\alpha_n = \frac{3600(m_{п} - m_{п}^1)}{It},$$

где $m_{п}$ — масса пластины после наплавки, г; $m_{п}^1$ — масса пластины до наплавки, г; I — ток наплавки, А; t — время наплавки, с.

Коэффициент потерь $K_{п}$ определяется по формуле

$$K_{п} = \frac{(m_{л} - m_{л}^1) - (m_{п} - m_{п}^1)}{(m_{л} - m_{л}^1)}.$$

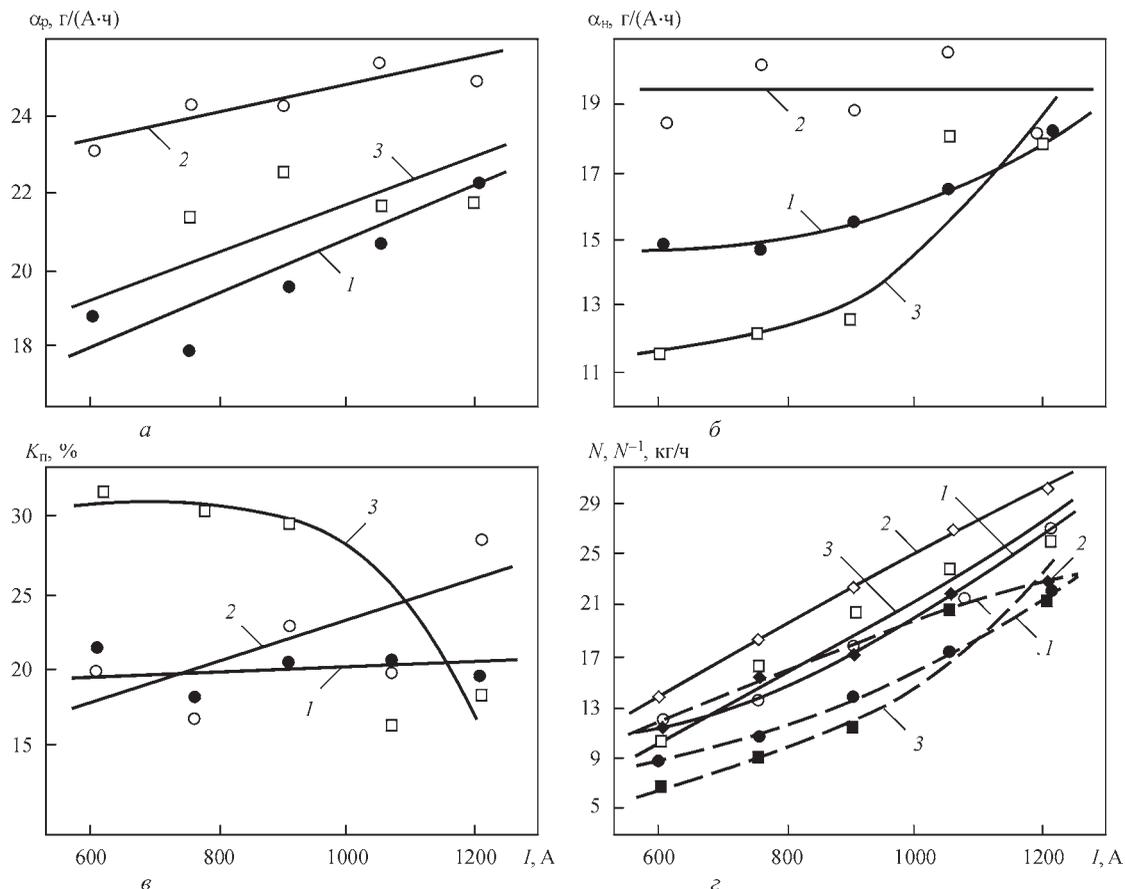


Рис. 1. Характеристики плавления порошковых лент в зависимости от тока: а — коэффициенты расплавления; б — коэффициенты наплавки; в — коэффициенты потерь; г — производительность расплавления (сплошная) и наплавки (штриховая) порошковых лент (1 — ПЛ-АН 101; 2 — ПЛ-АН 111; 3 — ПЛ-АН 179)

Производительность расплавления и наплавки (N, N') определялись по формулам:

$$N = \frac{\Delta m \cdot 3,6}{t}, \quad N' = \frac{\Delta m' \cdot 3,6}{t},$$

где Δm — разность между массами отрезков лент до и после наплавки, г; $\Delta m'$ — разность между массами пластин после и до наплавки; t — время наплавки, с.

На рис. 1 представлены данные по коэффициентам расплавления, наплавки и потерь, а также по производительности расплавления электрода и производительности наплавки в зависимости от тока. Коэффициент расплавления электродного материала (рис. 1, а) растет с ростом тока для всех испытываемых порошковых лент. При этом следует отметить, что коэффициент расплавления порошковой ленты ПЛ-АН 111 значительно (на 2,5...4,0 г/А·ч) выше, чем для порошковых лент ПЛ-АН 101 и ПЛ-АН 179. Это объясняется различиями в характере плавления электродных

материалов, связанном с применением разных лент-оболочек при изготовлении.

Так, лента ПЛ-АН 111 изготавливается с применением никелевой ленты и, как уже отмечалось выше, это обуславливает ее более высокое омическое сопротивление, а следовательно, и более сильный разогрев электродного материала на вылете.

Коэффициент наплавки (рис. 1, б) для различных лент при увеличении тока от 600 до 1200 А ведет себя неоднозначно. При использовании порошковых лент ПЛ-АН 101 и ПЛ-АН 179 он возрастает, причем, для ленты ПЛ-АН 179 этот рост выражен более сильно. При применении порошковой ленты ПЛ-АН 111 изменения коэффициента наплавки с увеличением тока не происходит. Объясняется это различиями в изменении потерь при увеличении тока от 600 до 1200 А. (рис. 1, в). Так, относительная величина потерь на угар и разбрызгивание во всем диапазоне изменения тока для порошковой ленты ПЛ-АН 101 остается не-

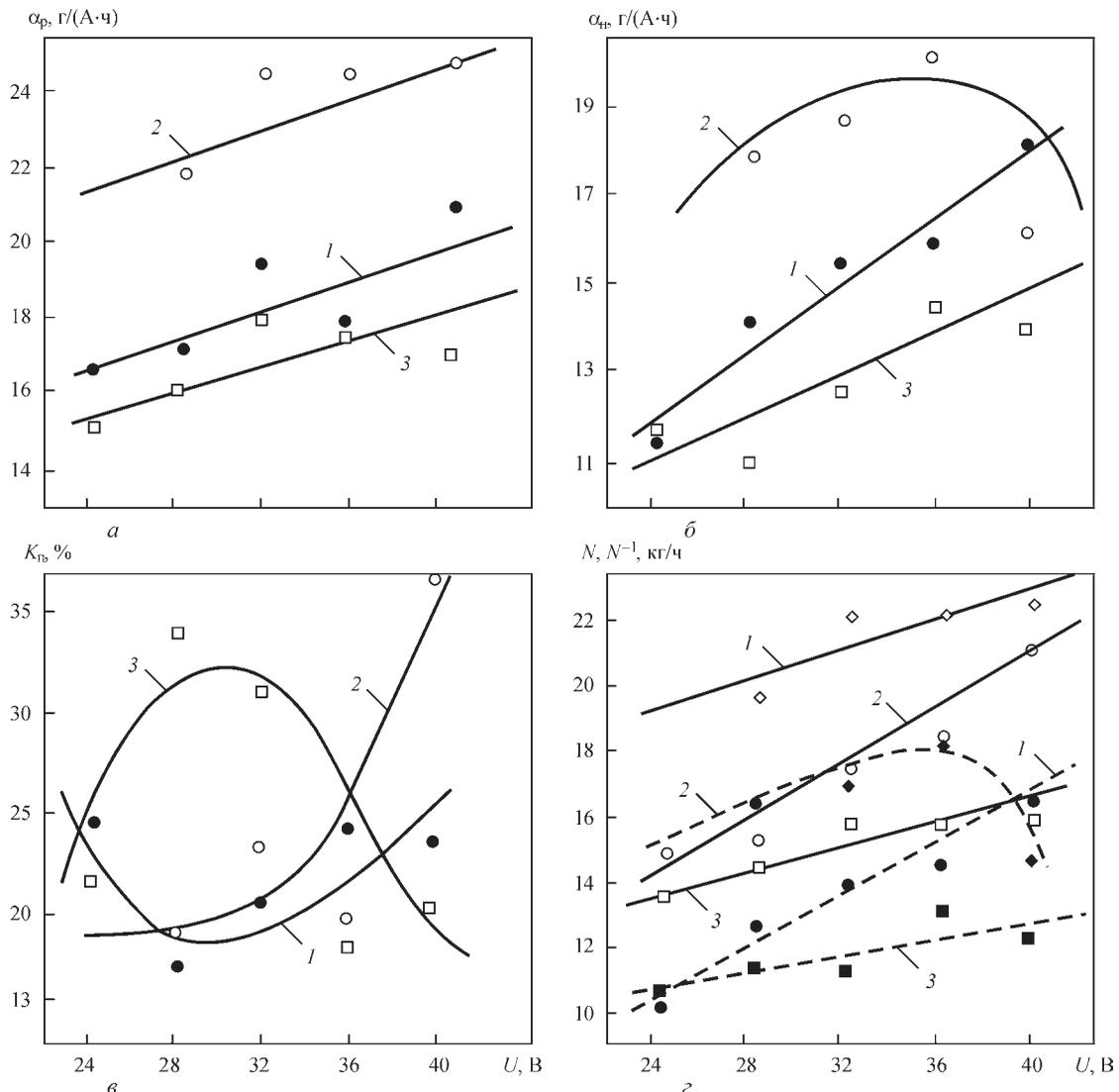


Рис. 2. Характеристики плавления порошковых лент в зависимости от напряжения (обозначения те же, что и на рис. 1)

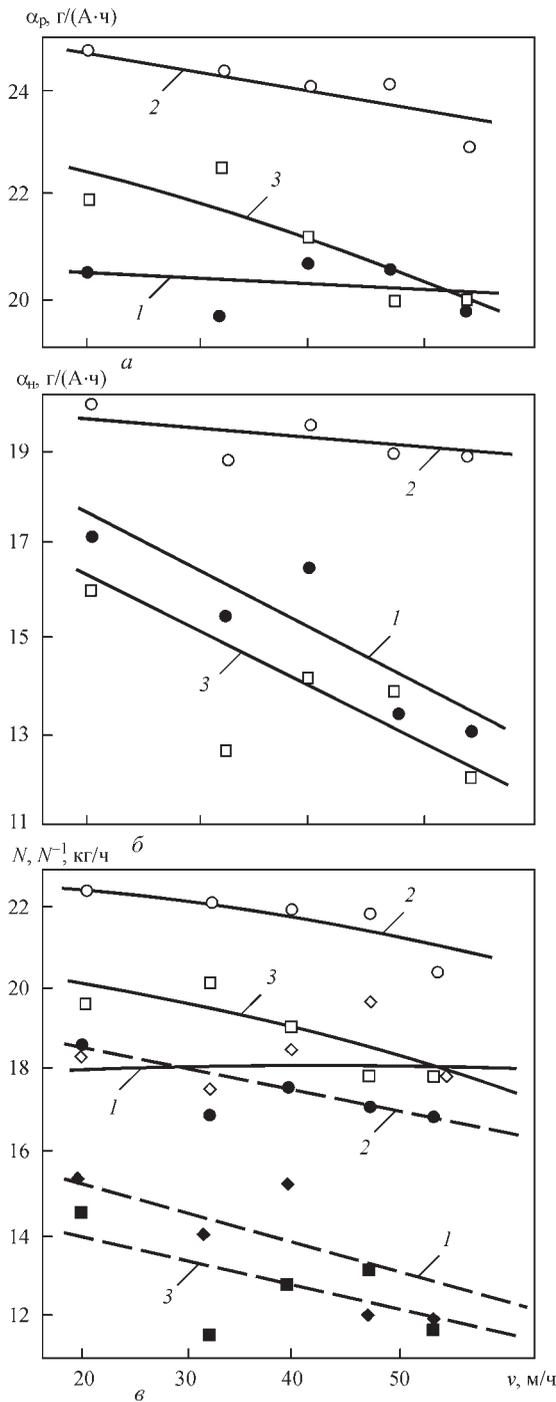


Рис. 3. Характеристики плавления порошковых лент в зависимости от изменения скорости наплавки: *a* — коэффициенты расплавления; *б* — коэффициенты наплавки; *в* — производительность расплавления (сплошная) и наплавки (штриховая) порошковых лент (1 — ПЛ-АН 101; 2 — ПЛ-АН 111; 3 — ПЛ-АН 179)

изменной, для порошковой ленты ПЛ-АН 111 она растет, а для ПЛ-АН 179 резко падает.

Как производительность расплавления порошковых лент, так и производительность наплавки растет для всех испытуемых марок порошковых лент при увеличении тока во всем рассматриваемом диапазоне (рис. 1, 2).

На рис. 2 представлены данные о характеристиках плавления порошковых лент в зависимо-

сти от напряжения дуги. Коэффициент расплавления порошковых лент растет с увеличением напряжения дуги (рис. 2, *a*). Для порошковых лент ПЛ-АН 101 и ПЛ-АН 179 с увеличением напряжения дуги коэффициенты наплавки также увеличиваются (рис. 2, *б*).

При наплавке лентой ПЛ-АН 111 аналогичный рост наблюдается при увеличении напряжения до 32...34 В. Дальнейшее повышение напряжения приводит к снижению значений указанных характеристик. При этом, как видно из графика (рис. 2, *в*), резко возрастают потери на угар и разбрызгивание, что, очевидно, в первую очередь связано с активным окислением компонентов электродного материала.

На рис. 3 приведены коэффициенты расплавления и наплавки, а также производительность расплавления и наплавки в зависимости от скорости перемещения дуги для всех испытуемых порошковых лент.

Рассматривая полученные результаты в целом, следует отметить следующее. На характеристики плавления порошковых лент, а, следовательно, химический состав и твердость наплавленного металла помимо режимов наплавки оказывают существенное влияние состав порошка-наполнителя и материал ленты-оболочки. Так, при наплавке порошковой лентой ПЛ-АН 111, изготовленной на основе никелевой ленты-оболочки, все исследуемые характеристики в значительной мере отличаются от данных, полученных при наплавке порошковыми лентами ПЛ-АН 101 и ПЛ-АН 179, выполненных из стальной ленты-оболочки. Это, очевидно, можно объяснить более высоким омическим сопротивлением никелевой ленты-оболочки. При этом за счет большего падения напряжения на вылете электрода происходит более интенсивный разогрев порошковой ленты на вылете, что, в свою очередь, увеличивает производительность ее плавления дугой, т.е. ведет к более эффективному использованию тепловой мощности дуги. Получаемый положительный эффект в виде увеличения коэффициента расплавления электродного материала — снижение доли основного металла, нивелируется ростом потерь на угар и разбрызгивание. Следует отметить, что химический состав металла, наплавленного порошковой лентой ПЛ-АН 111, при одновременном влиянии указанных выше факторов остается практически неизменным во всем рассматриваемом диапазоне сварочного тока. Увеличение же напряжения приводит к интенсивному окислению основных легирующих компонентов — углерода и хрома, что снижает степень легирования наплавленного металла и его твердость. При наплавке порошковыми лентами ПЛ-АН 101 и ПЛ-АН 179 произво-

дительность расплавления несколько ниже, чем у порошковой ленты ПЛ-АН 111, но при больших токах количество наплавленного металла для всех лент примерно одинаково. Это можно объяснить разницей в потерях электродного материала на угар и разбрызгивание. Так, потери для ленты ПЛ-АН 101 с увеличением тока изменяются очень незначительно, для ленты ПЛ-АН 111 они растут, а для ленты ПЛ-АН 179 в диапазоне 900...1200 А резко падают.

Падение потерь для порошковой ленты ПЛ-АН 179, очевидно, связано с характером расплавления порошка-наполнителя, который характеризуется наличием большого количества тугоплавких компонентов. Кроме того, данная лента характеризуется наибольшим из испытываемых лент коэффициентом заполнения — порядка 65 %. Это обуславливает, на наш взгляд, большие потери электродного материала на малых токах из-за недостатка тепловой мощности дуги и недостаточным предварительным подогревом ленты на вылете.

Повышение напряжения для всех порошковых лент приводит к снижению степени легирования наплавленного слоя. Это объясняется как увеличением доли основного металла, так и повышением потерь на угар. Причем потери на угар увеличиваются тем больше, чем выше предварительный подогрев на вылете электрода. Так, наиболее сильно они повышаются при наплавке порошковой лентой ПЛ-АН 111.

Скорость наплавки оказывает на исследуемые характеристики менее заметное влияние, которое в основном зависит от распределения тепловых потоков и тепловой мощности дуги.

Для более полного объяснения полученных результатов представляет интерес в дальнейшем исследовать омическое сопротивление испытываемых порошковых лент и получить данные об их предварительном подогреве на вылете.

Выводы

1. Коэффициент расплавления электродных материалов растет при увеличении как тока, так и напряжения для всех типов лент. Особенно это проявляется при наплавке лентой ПЛ-АН-111 с никелевой оболочкой, имеющей более высокое омическое сопротивление.

2. Коэффициент наплавки растет с увеличением тока и напряжения для порошковых лент ПЛ-АН-101 и ПЛ-АН-179. Для ленты ПЛ-АН-111 при увеличении тока он стабилен, а с увеличением напряжения до 36 В он растет, а затем резко падает, что связано с увеличением потерь на угар и разбрызгивание.

3. Производительность расплавления и наплавки порошковых лент растет с увеличением тока и напряжения для всех типов порошковых лент, однако при напряжении, превышающем 36 В, для ленты ПЛ-АН-111 производительность наплавки резко падает за счет увеличения коэффициента потерь на угар и разбрызгивание.

4. Коэффициент потерь мало зависит от значения тока и напряжения для ленты ПЛ-АН-101, но существенно растет с ростом тока для ленты ПЛ-АН-111, и особенно высок при напряжениях свыше 36 В. Для ленты ПЛ-АН-179 коэффициент потерь резко снижается при увеличении тока свыше 800 А, а напряжение свыше 32 В. Это связано с тугоплавким сердечником ленты, для плавления которого требуется повышенная тепловая мощность дуги.

5. Во всем диапазоне режимов процесса наплавки значения коэффициентов расплавления и наплавки всех типов лент, а также производительность расплавления и наплавки падает с увеличением скорости наплавки, однако для ленты ПЛ-АН-111 эти показатели меняются незначительно.

Список литературы

1. Кузнецов Л. Д., Кортелев Г. А., Николаенко Н. Р. (1982) Особенности процесса наплавки порошковой лентой на форсированных режимах деталей строительных и дорожных машин. *Теоретические и технологические основы наплавки. Современные способы наплавки и их применение*. Фрумин И. И. (ред.). Киев, ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, сс.12–15.
2. Кузнецов Л. Д., Куркумелли Э. Г., Николаенко М. Р. (1983) Особенности строения и свойства металла при наплавке ленточными электродами на форсированных режимах. *Наплавка износостойких и жаростойких сталей и сплавов. Наплавочные материалы*. Киев, ИЭС им. Е. О. Патона, сс. 24–28.
3. Жудра А. П., Ворончук А. П., Кочура В. О., Федосенко В. В. (2017) Влияние режимов наплавки порошковыми лентами на геометрические параметры наплавленных валков. *Автоматическая сварка*, **1**, 43–48.
4. Ворончук А. П., Жудра А. П., Петров А. В., Федосенко В. В. (2018) Влияние режимов наплавки порошковыми лентами на химический состав и твердость наплавленного металла. *Там же*, **4**, 44–48.
5. Данильченко Б. В., Шимановский В. П., Ворончук А. П., Копылец И. П. (1989) Наплавка быстроизнашивающихся деталей самозащитными порошковыми лентами. *Там же*, **5**, 38–41.
6. Жудра А. П., Ворончук А. П. (2010) Износостойкая наплавка порошковыми лентами. *Сварщик*, **6**, 6–9.
7. Жудра А. П., Ворончук А. П. (2012) Наплавочные порошковые ленты (Обзор). *Автоматическая сварка*, **1**, 39–44.

References

1. Kuznetsov, L.D., Kortelev, G.A., Nikolaenko, N.R. (1982) Peculiarities of process of flux-cored strip surfacing on forced modes of parts of construction and road machines. *Theoretical and technological principles of surfacing. Current methods of surfacing and their application*. Ed. by I.I. Frumin. Kiev, PWI, 12-15 [in Russian].
2. Kuznetsov, L.D., Kurkumelli, E.G., Nikolaenko, M.R. (1983) Peculiarities of structure and properties of metal in surfacing with strip electrodes on forced modes. *Wear-resistant and*

- high-temperature steels and alloys*. Surfacing materials. Kiev, PWI, 24-28 [in Russian].
3. Zhudra, A.P., Voronchuk, A.P., Kochura, V.O., Fedosenko, V.V. (2017) Effect of flux-cored strip surfacing modes on geometric parameters of deposited beads. *The Paton Welding J.*, **1**, 36-40.
 4. Voronchuk, A.P., Zhudra, A.P., Petrov, A.V., Fedosenko, V.V. (2018) Influence of surfacing modes using flux-cored strips on chemical composition and hardness of deposited metal. *Ibid.*, **4**, 35-38.
 5. Danilchenko, B.V., Shimanovsky, V.P., Voronchuk, A.P., Kopylets, I.P. (1989) Surfacing of high-wear parts with self-shielding flux-cored strips. *Avtomatich. Svarka*, **5**, 38-41 [in Russian].
 6. Zhudra, A.P., Voronchuk, A.P. (2010) Wear-resistant surfacing with flux-cored strips. *Svarshchik*, **6**, 6-9 [in Russian].
 7. Zhudra, A.P., Voronchuk, A.P. (2012) Cladding flux-cored strips (Review). *The Paton Welding J.*, **1**, 34-38.

ВПЛИВ РЕЖИМІВ НАПЛАВЛЕННЯ ПОРОШКОВИМИ СТРІЧКАМИ НА ЇХ ЗВАРЮВАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

О. П. ВОРОНЧУК, О. П. ЖУДРА, О. В. ПЕТРОВ, В. О. КОЧУРА

ІЕЗ ім. С. О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Досліджено вплив режимів наплавлення на зварювально-технологічні властивості різних типів високолегованих порошкових стрічок. Визначали коефіцієнт розплавлення електродного металу, коефіцієнти наплавлення, коефіцієнти втрат, а також продуктивність розплавлення електродного матеріалу і продуктивність наплавлення. У якості об'єктів досліджень обрані широко застосовувані в промисловості порошкові стрічки ПЛ-АН-101 і ПЛ-АН-179, виготовлені на сталевій стрічці-оболонці, а також стрічка ПЛ-АН-111, на основі нікелевої оболонки. Наплавлення зразків для досліджень виконувалося на апараті А-874Н з приставкою АД-167 і джерелом живлення ВДУ-1201 у широкому діапазоні режимів: струм 600-900 А, напруга 32-40 В, швидкість 32-55 м/г. Отримані результати представлені в графічному вигляді. Встановлено, що на характеристики зварювально-технологічних властивостей порошкових стрічок і відповідно на хімічний склад і твердість наплавленого металу крім режимів наплавлення істотний вплив має склад порошку-наповнювача та матеріал стрічки оболонки. При напавленні стрічкою ПЛ-АН-111 з нікелевою оболонкою, що має високий омичний опір, відбувається більш інтенсивний розігрів порошкової стрічки на вильоті, і як наслідок збільшення коефіцієнта розплавлення електродного матеріалу. При напавленні стрічками ПЛ-АН-101 і ПЛ-АН-179 продуктивність розплавлення нижче. Втрати на вигар і розбризування при збільшенні струму для стрічки ПЛ-АН-111 ростуть, для стрічки ПЛ-АН-101 змінюються незначно, а для стрічки ПЛ-АН-179 у діапазоні струму 900-1200А різко падають за рахунок специфіки складу порошку-наповнювача. Значення коефіцієнтів розплавлення і наплавлення, а також продуктивність розплавлення та наплавлення для всіх типів стрічок падають зі збільшенням швидкості процесу, однак для стрічки ПЛ-АН-111 ці показники змінюються незначно. Бібліогр. 7, табл. 1, рис. 3.

Ключові слова: порошкова стрічка, струм, напруга, швидкість наплавлення, продуктивність розплавлення та наплавлення, втрати на вигар і розбризування

INFLUENCE OF MODES OF FLUX-CORED STRIP SURFACING ON THEIR WELDING-TECHNOLOGICAL PROPERTIES

A.P. VORONCHUK, A.P. ZHUDRA, A.V. PETROV, V.O. KOCHURA

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv.
E-mail: office@paton.kiev.ua

Influence of surfacing modes on welding-technological properties of different types of high-alloyed flux-cored strips was studied. Electrode metal melting coefficient, surfacing coefficients, loss factors, as well as the efficiency of electrode material melting and deposition rate, were determined. Widely applied in industry PL-AN-101 and PL-AN-179 flux-cored strips made using steel strip-sheath, as well as PL-AN-111 strip with nickel sheath were selected as the objects of study. Surfacing of samples for investigations was performed in A-874N machine with AD-167 attachment and VDU-1201 power source in a wide range of modes: current of 600 – 900 A, voltage of 32 – 40 V, speed of 32 – 55 m/h. Obtained results are presented graphically. It is found that alongside the surfacing modes, the filler-powder composition and sheath strip material have a significant effect on the characteristics of welding-technological properties of flux-cored strips and chemical composition and hardness of deposited metal, respectively. At surfacing with PL-AN-111 strip with a nickel sheath, having a high ohmic resistance, more intensive heating of the flux-cored strip in the extension takes place, and, consequently, the coefficient of electrode material melting is increased. Melting efficiency was lower at surfacing with PL-AN-101 and PL-AN-179 strips. At current rise, burning and spattering losses become greater for PL-AN-111 strip, and change only slightly for PL-AN-101 strip, while for PL-AN-179 strip they decrease abruptly in the current range of 900 – 1200 A, because of the specifics of filler-powder composition. Values of melting and surfacing coefficients, as well as melting efficiency and deposition rate decrease with increase of process speed for all the strip types. For PL-AN-111 strip, however, these values change only slightly. 7 Ref., 1 Tabl., 3 Fig.

Keywords: flux-cored strip, current, voltage, surfacing speed, melting and surfacing efficiency, burning and spattering losses

Поступила в редакцію 21.11.2018