

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВЫМИ ЛЕНТАМИ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ТВЕРДОСТЬ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

А. П. ВОРОНЧУК, А. П. ЖУДРА, А. В. ПЕТРОВ, В. В. ФЕДОСЕНКО

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

Изучено влияние режимов наплавки открытой дугой порошковыми лентами различных типов на химический состав и твердость наплавленного металла. В качестве объектов исследований выбраны порошковые ленты ПЛ-АН 101 и ПЛ-АН 179, изготовленные на основе стальной ленты-оболочки, а также лента ПЛ-АН 111 на основе никелевой оболочки. Наплавка проводилась на аппарате А-874Н с источником питания ВДУ-1201 и приставкой АД-167 в широком диапазоне режимов. Установлены зависимости изменения химического состава наплавленного металла от значения тока, напряжения и скорости наплавки. При этом изменение значений тока в диапазоне 600...1100 А незначительно отражается на химическом составе металла, наплавленного лентами ПЛ-АН 101 и ПЛ-АН 111, а при наплавке лентой ПЛ-АН 179 приводит к увеличению содержания практически всех легирующих элементов. Увеличение напряжения и скорости наплавки приводит к снижению степени легирования для всех типов порошковых лент и, соответственно, к снижению твердости наплавленного металла, а увеличение тока — к ее росту. Библиогр. 8, табл. 1, рис. 4.

*Ключевые слова:* порошковая лента, режимы наплавки, химический состав, твердость

При получении данных, характеризующих влияние режимов наплавки порошковыми лентами открытой дугой на геометрические размеры наплавленных валиков, опубликованных в работе [1], параллельно изучали влияние режимов наплавки на химический состав и твердость наплавленного металла. Исследование этих параметров является важной задачей, так как изменение режимов наплавки существенно влияет на процессы перехода легирующих элементов в сварочную ванну, что, в свою очередь, отражается на показателях твердости и служебных характеристиках наплавленного слоя. Эти данные также необходимы для расчета порошковых лент при прогнозировании составов наплавленного металла.

Известны работы [2, 3], в которых химический состав наплавленного металла рассматривался во взаимосвязи с переходом легирующих компонентов при наплавке под флюсом в зависимости от тока, напряжения и скорости наплавки. Было показано [4, 5], что в ряде случаев при увеличении сварочного тока наблюдается увеличение содержания углерода, при этом снижается содержание марганца и кремния в наплавленном металле.

Авторы работ [6, 7] отмечают, что при наплавке порошковыми лентами возможны ситуации, когда часть порошка наполнителя переходит в сварочную ванну, минуя стадию капли. Но как показали дополнительные исследования [6, 8], это характерно не для всех конструкций порошковых лент. Так, однозамковая конструкция порошковой ленты с плотным замком позволила практически полностью избавиться-

ся от просыпания порошка-наполнителя в сварочную ванну, поэтому в настоящее время промышленность в основном перешла на использование такого типа порошковых лент.

Для исследований были выбраны три марки порошковых лент ПЛ-Нп-300Х25С3Н2Г2 (ПЛ-АН 101), ПЛ-Нп-500Х40Н40С2РЦ (ПЛ-АН 111) и ПЛ-Нп-400Х20Б7М6В2Ф (ПЛ-АН 179) однозамковой конструкции типа Б по ГОСТ 26467-85 сечением 16,5×3,8 мм. Такой выбор материалов позволил исследовать достаточно широкий диапазон составов наплавленного металла, так как порошковые ленты ПЛ-АН 101 и ПЛ-АН 179 изготавливаются на основе стальной ленты-оболочки, а ПЛ-АН 111 — никелевой. 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 характеристике источника питания. В качестве основного металла использовались пластины из стали Ст3 толщиной 30 мм 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. Из средних участков валиков анодно-механической резкой были вырезаны образцы, на которых после последующей шлифовки определяли химический состав и твердость наплавленного

Режимы наплавки

$I, A$	$U, B$	$v, м/ч$
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

металла. Режимы наплавки всеми приведенными лентами представлены в таблице.

Оценку химического состава наплавленного слоя выполняли спектральными методом, а твердость наплавленного металла — по ГОСТ 9013-59 как среднеарифметическое не менее, чем при 20 измерениях. Полученные результаты представлены в графическом виде.

На рис. 1 приведены данные о химическом составе валика, наплавленного порошковой лентой ПЛ-АН 101, в зависимости от тока, напряжения и скорости наплавки, соответственно. При увеличении тока от 600 до 1200 А химический состав наплавленного металла изменяется незначительно (рис. 1, а). При увеличении напряжения от 24 до 38 В наблюдается заметное снижение содержания углерода и хрома. Снижается также содержание кремния в наплавленном слое. Содержание марганца и никеля при этом практически не изменяется (рис. 1, б). Отмеченное снижение содержания углерода и хрома, очевидно, связано с увеличением доли основного металла в наплавленном и увеличением угара этих элементов на стадии капли и в сварочной ванне вследствие увеличения длины дуги.

При увеличении скорости наплавки содержание всех элементов в наплавленном слое снижается, что, очевидно, связано с увеличением потерь на разбрызгивание (рис. 1, в).

На рис. 2 приведен химический состав металла, наплавленного лентой ПЛ-АН 111, в зависимости от параметров наплавки. Изменение тока в диапазоне от 600 до 1200 А также практически не отражается на химическом составе (рис. 2, а). Увеличение напряжения от 24 до 38 В приводит, в основном, к снижению содержания углерода и хрома, что связано с увеличением доли основного металла в наплавленном и угаром легирующих элементов (рис. 2, б). Минимальные содержания углерода и хрома в напла-

Cr, мас. % C, Si, Mn, Ni, мас. %

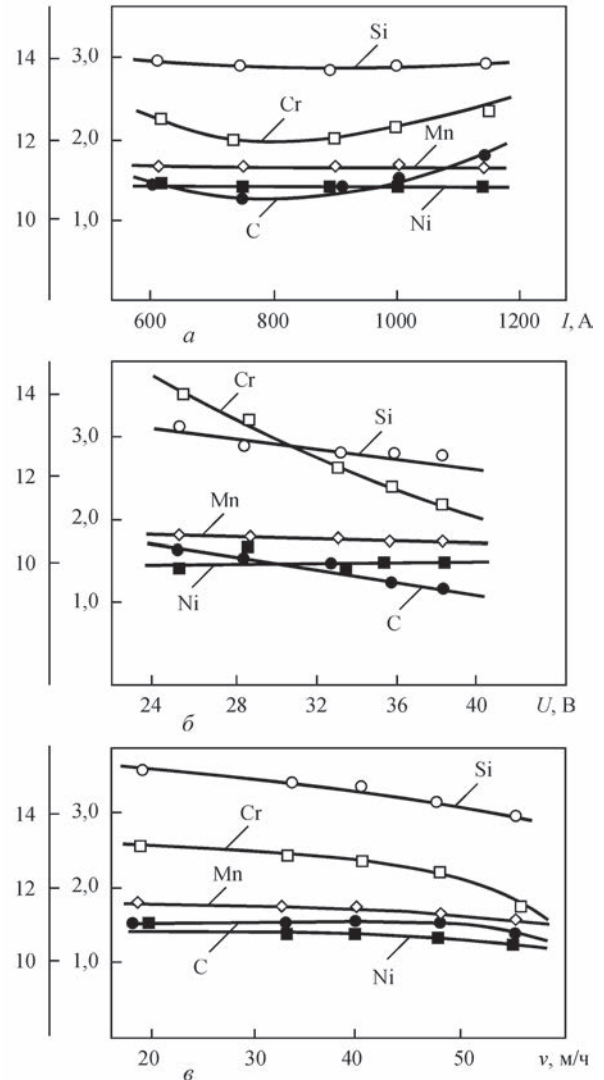


Рис. 1. Химический состав металла, наплавленного порошковой лентой ПЛ-АН 101, в зависимости от тока наплавки (а), напряжения (б) и скорости (в)

ленном металле соответствуют скорости наплавки 40...50 м/ч (рис. 2, в).

На рис. 3 представлен химический состав металла, наплавленного порошковой лентой ПЛ-АН 179, в зависимости от параметров наплавки. Повышение значений сварочного тока в диапазоне от 600 до 1200 А приводит к увеличению содержания всех легирующих элементов в наплавленном металле кроме марганца, содержание которого несколько снижается (рис. 3, а). Увеличение напряжения приводит к снижению степени легирования углеродом, хромом, молибденом и ниобием во всем рассматриваемом диапазоне от 24 до 38 В. Содержание марганца и кремния остается практически неизменным (рис. 3, б). Увеличение скорости от 19 до 55 м/ч приводит к снижению содержания практически всех легирующих элементов в наплавленном слое (рис. 3, в).

На рис. 4 представлены зависимости твердости наплавленного слоя от скорости наплавки, на-

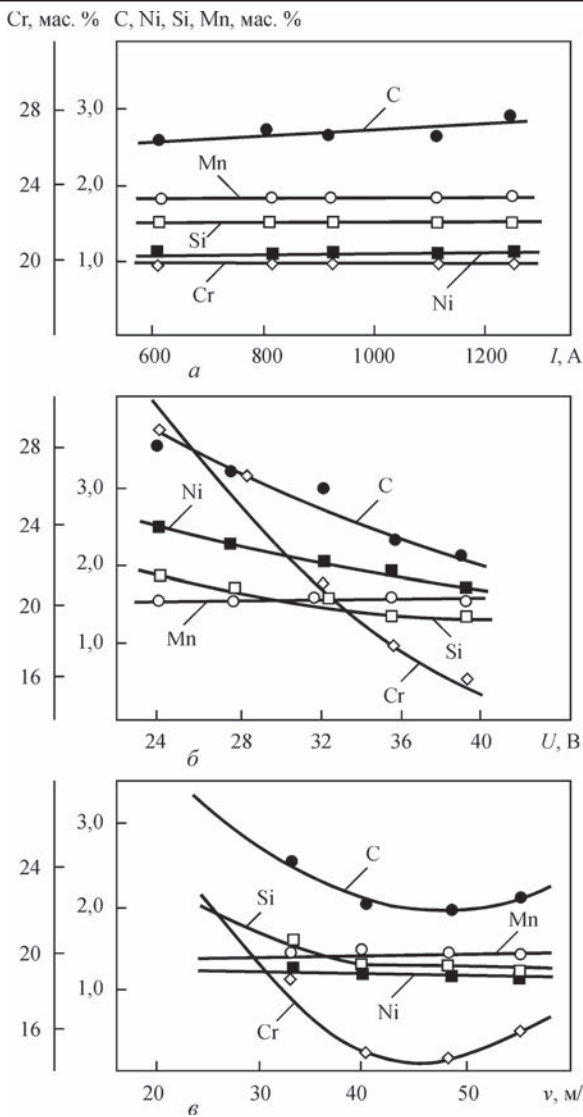


Рис. 2. Химический состав металла, наплавленного порошковой лентой ПЛ-АН 111, в зависимости от тока наплавки (а), напряжения (б) и скорости (в)

пряжения дуги и сварочного тока. Как видно из представленных графиков, увеличение скорости наплавки (рис. 4, в) и напряжения (рис. 4, б) приводят к снижению твердости наплавленного слоя, а увеличение тока (рис. 4, а) — к незначительному росту.

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, выполненными из стальной ленты-оболочки. На наш взгляд это связано с более низким, прибли-

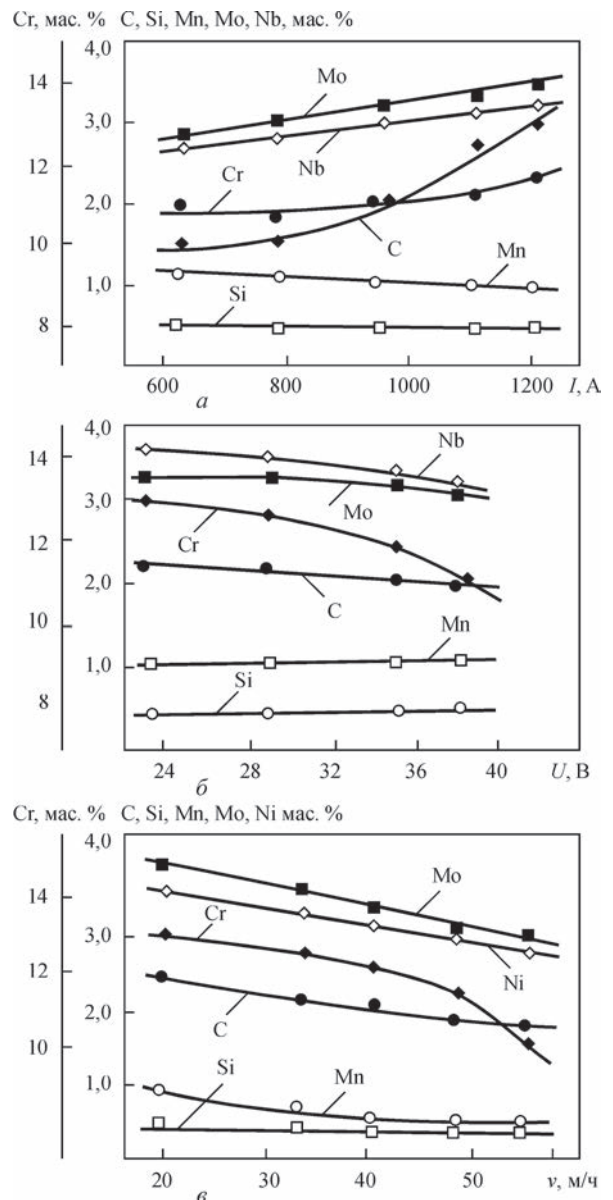


Рис. 3. Химический состав металла, наплавленного порошковой лентой ПЛ-АН 179, в зависимости от тока наплавки (а), напряжения (б) и скорости (в)

тельно в 1,5 раза, омическим сопротивлением никеля по сравнению с низколегированной сталью.

При наплавке порошковой лентой ПЛ-АН 101 увеличение тока приводит к незначительному изменению химического состава наплавленного металла, а увеличение напряжения — к существенному снижению содержания хрома, углерода и кремния при стабильных показателях содержания марганца и никеля. Как правило, увеличение напряжения приводит к увеличению дугового промежутка, что обуславливает повышенный угар основных легирующих компонентов на стадии капли.

Увеличение тока при наплавке порошковой лентой ПЛ-АН 179 приводит к увеличению содержания всех легирующих элементов и углерода при стабильном содержании марганца и кремния. Увеличение напряжения незначительно влияет на

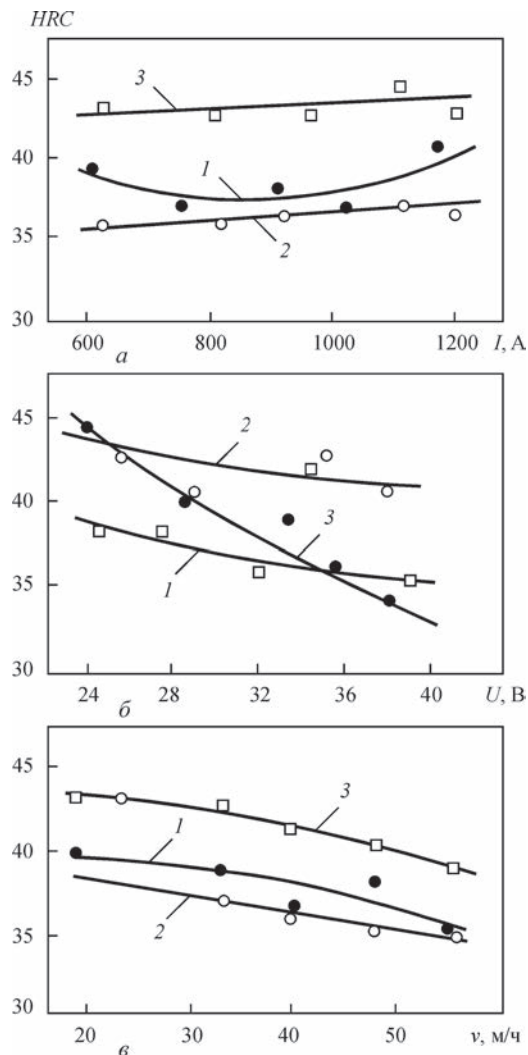


Рис. 4. Твердость наплавленного металла в зависимости от тока наплавки (а), напряжения (б) и скорости (в) (1 — ПЛ-АН 101; 2 — ПЛ-АН 111; 3 — ПЛ-АН 179)

содержание легирующих элементов, но заметно снижает содержание углерода. В данном случае мы наблюдаем аналогичный, но менее выраженный, эффект как и в предыдущем случае.

При наплавке порошковой лентой ПЛ-АН 111 изменение показателей тока несущественно влияет на химический состав наплавленного металла, а увеличение значений напряжения приводит к значительному снижению содержания хрома, углерода и никеля при стабильных показателях кремния и марганца, что также связано с увеличением потерь легирующих элементов на стадии капли.

Увеличение скорости наплавки не влияет на содержание кремния и марганца для всех типов порошковых лент, при этом наблюдается снижение легирования для ленты ПЛ-АН 179 и в меньшей степени для ленты ПЛ-АН 101. Для наплавленного металла лентой ПЛ-АН 111 увеличение скорости приводит к уменьшению углерода и хрома, что является следствием увеличения доли основного металла в наплавленном слое.

Некоторое несоответствие результатов влияния параметров режима наплавки на химический состав наплавленного металла, полученного с использованием порошковых лент ПЛ-АН 101 и ПЛ-АН 179, на наш взгляд также можно объяснить существенными отличиями составов порошка наполнителя указанных лент. Основой шихты ленты ПЛ-АН 101 является комплексно-легирующая лигатура, которая характеризуется менее низкой температурой плавления, чем шихта ленты ПЛ-АН 179, состоящей из компонентов тугоплавких элементов, таких как вольфрам, ниобий, ванадий, молибден.

Твердость металла, наплавленного исследуемыми порошковыми лентами, хорошо коррелируется с его химическим составом.

### Список литературы

1. Жудра А. П., Ворончук А. П., Кочура В. О., Федосенко В. В. (2017) Износостойкая наплавка порошковыми лентами. *Автоматическая сварка*, **1**, 43–48.
2. Кравцов Т. Г. (1978) *Электродуговая наплавка электродной лентой*. Москва, Машиностроение.
3. Куделя Е. С., Субботовский В. П. (1954) Исследование состава и однородности высоколегированного наплавленного металла спектральным методом. *Автоматическая сварка*, **3**, 4–81.
4. Фрумин И. И. (1960) *Автоматическая износостойкая наплавка*. Москва, Машиностроение.
5. Фрумин И. И. (1961) *Автоматическая электродуговая наплавка*. Харьков, Metallurgizdat.
6. Юзвенко Ю. А., Горпенюк Б. Н., Шимановский В. П., Корбут В. Л. (1977) Химическая макронеоднородность металла, наплавленного открытой дугой порошковой лентой. В сб. *Теоретические и технологические основы наплавки. Новые процессы механизированной наплавки*, сс. 21–29.
7. Пацкевич И. Р., Фейфец Л. А. (1971) О химической неоднородности слоя, наплавленного порошковой лентой в углекислом газе. *Автоматическая сварка*, **11**, 66–67.
8. Жудра А. П., Ворончук А. П. (2012) Наплавочные порошковые ленты (Обзор). *Там же*, **1**, 39–44.

### References

1. Zhudra, A.P., Voronchuk, A.P., Kochura, V.O. et al. (2017) Effect of flux-cored strip surfacing modes on geometric parameters of deposited beads. *The Paton Welding J.*, **1**, 36–40.
2. Kravtsov, T.G. (1978) *Electric arc surfacing with electrode strip*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
3. Kudelya, E.S., Subbotovsky, V.P. (1954) Examination of composition and homogeneity of high-alloy deposited metal by spectral method. *Avtomatich. Svarka*, **3**, 4–81 [in Russian].
4. Frumin, I.I. (1960) *Automatic wear-resistant surfacing*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
5. Frumin, I.I. (1961) *Automatic electric arc surfacing*. Kharkov, Metallurgizdat [in Russian].
6. Yuzvenko, Yu.A., Gorpenyuk, B.N., Shimanovsky V.P. et al. (1977) Chemical macroheterogeneity of metal deposited by open arc with flux-cored strip. In: *Theoretical and technological principles of surfacing*, 21–29 [in Russian].
7. Patskevich, I.R., Feifets, L.A. (1971) About chemical heterogeneity of layer deposited with flux-cored strip in carbon-dioxide gas. *Avtomatich. Svarka*, **11**, 66–67.
8. Zhudra, A.P., Voronchuk, A.P. (2012) Surfacing flux-cored strips (Review). *Ibid.*, **1**, 39–44 [in Russian].



О. П. Ворончук, О. П. Жудра,  
О. В. Петров, В. В. Федосенко

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

ВПЛИВ РЕЖИМІВ НАПЛАВЛЕННЯ  
ПОРОШКОВИМИ СТРІЧКАМИ НА ХІМІЧНИЙ СКЛАД  
І ТВЕРДІСТЬ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ

Вивчено вплив режимів наплавлення відкритою дугою порошковими стрічками різних типів на хімічний склад і твердість наплавленого металу. У якості об'єктів досліджень обрані порошкові стрічки ПЛ-АН 101 і ПЛ-АН 179, виготовлені на основі сталеві стрічки-оболонки, а також стрічка ПЛ-АН 111 на основі нікелевої оболонки. Наплавлення проводилося на апараті А-874Н з джерелом живлення ВДУ-1201 і приставкою АД-167 у широкому діапазоні режимів. Встановлено залежності зміни хімічного складу наплавленого металу від значення струму, напруги та швидкості наплавлення. При цьому зміна значень струму в діапазоні 600...1100 А мало відбивається на хімічному складі металу, наплавленого стрічками ПЛ-АН 101 і ПЛ-АН 111, а при напавленні стрічкою ПЛ-АН 179 приводить до збільшення вмісту практично всіх легуючих елементів. Збільшення напруги і швидкості наплавлення приводить до зниження ступеня легування для всіх типів порошкових стрічок і відповідно до зниження твердості наплавленого металу, а збільшення струму — до її зростання. Бібліогр. 8, табл. 1, рис. 4.

*Ключові слова:* порошкова стрічка, режими наплавлення, хімічний склад, твердість

A.P. Voronchuk, A.P. Zhudra, A.V. Petrov, V.V. Fedosenko

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

INFLUENCE OF SURFACING MODES USING  
POWDER STRIPS ON CHEMICAL COMPOSITION  
AND HARDNESS OF DEPOSITED METAL

The influence of surfacing modes with an open arc using powder strips of different types on chemical composition and hardness of the deposited metal was studied. The powder strips PL-AN 101 and PL-AN 179 manufactured on the basis of a steel strip-sheath as well as the strip PL-AN 111 on the basis of nickel sheath were selected as the objects of investigations. The surfacing was performed in the machine A-874N with the power source VDU-1201 and the attachment AD-167 in a wide range of modes. The dependences of change in the chemical composition of deposited metal on the value of current, voltage and deposition rate were established. At the same time, the change in the current values in the range of 600...1100 A has a little effect on chemical composition of the metal deposited by the strips PL-AN 101 and PL-AN 111, and in surfacing using the strip PL-AN 179 it results in increase in the content of almost all alloying elements. The increase in the voltage and deposition rate leads to decrease in the degree of alloying for all the types of powder strips and, accordingly, to decrease in the hardness of deposited metal and the increase in current leads to its growth. 8 Ref., 1 Tab., 4 Fig.

*Keywords:* powder strip, surfacing modes, chemical composition, hardness

Поступила в редакцію 14.02.2018

26 міжнародна спеціалізована виставка промислових рішень  
**«Машинобудування. Металургія – 2018»**  
та міжнародна науково-практична конференція  
**«Зварювання: виробництво та застосування – 2018»**

22–24 травня

Запоріжжя,  
виставковий центр «Козак-Палац»

Запорізький форум — ефективна платформа для успішних презентацій технічних новинок в галузях машинобудування, металургії, ливарних технологій, енергетики, автоматизації, ІТ-рішень. За роки проведення став значною промисловою подією як в масштабах регіону, так і всієї країни. Щорічно виставки об'єднують сотні підприємств з усіх регіонів України, а також представників закордонних компаній.



З питань стосовно участі просимо звертатись в оргкомітет:  
тел. (061) 213-50-26, (050) 484-33-67, expo2@cci.zp.ua, www.expo.zp.ua