

ми розглянутих алюмінієвих сплавів знижується від 6061 до 7075, при цьому збільшується питома міцність та жорсткість виробів з них.

Залежно від типу велосипеда внесено такі рекомендації щодо застосування сплавів: для рам гірських велосипедів більш доцільним є використання сплавів серії 7000, які менш схильні до утворення тріщин; для рам міських та дорожніх велосипедів буде оптимальним використання сплаву 6061. Використання алюмінієвих сплавів у виробництві рам для виконання трюків ускладнено їх схильністю до втомного руйнування. Застосування алюмінієвих сплавів для виготовлення рам дитячих велосипедів є економічно недоцільним.

Список використаних джерел

1. *Офіційний сайт ТОВ «Ардіс»* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ardis.com.ua>.
2. *Рейтинг самых популярных производителей велосипедов* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://menspassion.ru/rejting-samyx-populyarnyx-proizvoditelej-velosipedov>.
3. *ASM Metals Handbook Vol. 2, Properties and Selection of Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials*, ASM International, p. 222.
4. *Davys J. R., Ed., Alumnium and Aluminum Alloys*, ASM International, 1993. – 784 p.
5. *Мальцева Л. А. Материаловедение / Л. А. Мальцева, М. А. Гервасьев, А. Б. Кутын.* – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2007. – 339 с.

УДК 69.05

Г.П. Болотов, д-р техн. наук

С.В. Олексієнко, канд. техн. наук

М.Г. Болотов, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

РУЧНЕ ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ СТАЛЕЙ МАЛОАМПЕРНОЮ ДУГОЮ МОДУЛЬОВАНИМ СТРУМОМ

Г.П. Болотов, д-р техн. наук

С.В. Олексієнко, канд. техн. наук

М.Г. Болотов, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА СТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ МАЛОАМПЕРНОЙ ДУГОЙ МОДУЛИРОВАННЫМ ТОКОМ

Hennadii Bolotov, Doctor of Technical Sciences

Serhii Oleksiienko, PhD in Technical Sciences

Maksym Bolotov, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

HAND ARC WELDING OF BUILDS STEELS BY A LITTLEAMPERE ARC WITH MODULATION OF CURRENT

Досліджено вплив низькочастотної модуляції зварювального струму на характеристики металу шва при ручному дуговому зварюванні на струмах дуги до 70 А. Встановлено, що частота імпульсів струму в межах 10...30 Гц при шпаруватості 1,5...2 забезпечує збільшення глибини проплавлення основного металу зі зниженням зернистості наплавленого.

Ключові слова: дугове зварювання, малоамперна дуга, модуляція зварювального струму.

Исследовано влияние низкочастотной модуляции сварочного тока на характеристики металла шва при ручной дуговой сварке на токах дуги до 70 А. Установлено, что частота импульсов тока в пределах 10...30 Гц при скважности 1,5...2 обеспечивает увеличение глубины проплавления основного металла со снижением зернистости наплавленного.

Ключевые слова: дуговая сварка, малоамперная дуга, модуляция сварочного тока.

Influence of low-frequency modulation of welding current is investigational on descriptions of metal of guy-sutures at a hand arc/w on the currents of arc to 70 Amp. It is set that frequency of impulses of current within the limits of 10... 30 Hertz at porosity 1,5...2 provides the increase of depth of melted of parent metal with the decline of grittiness of weld metal.

Key words: arc/w, littleampere arc, modulation of welding current.

Вступ. Основними матеріалами, що застосовуються у будівництві, є сталі звичайної якості. Найбільш широко використовують маловуглецеві сталі (0,09...0,22 %С), які мають високу пластичність та гарну здатність до зварювання. Зварні конструкції, що не піддаються безпосередньому впливу рухомих та вібраційних навантажень, виготовляють із відносно дешевих киплячих та напівспокійних будівельних сталей С235 та С245, або аналогічних їм за хімічним складом та механічними властивостями конструкційних вуглецевих сталей звичайної якості Ст. 3 груп Б та В. Для виготовлення легких балкових конструкцій, настилів, драбин, віконних рам застосовують тонкостінні двотаври та швелери, гнуті профілі, безшовні труби зі сталі товщиною 0,5...4 мм [1]. Такі конструкції характеризуються значною кількістю зварних швів малої протяжності, тому для їх виготовлення застосовують, в основному, ручне дугове зварювання.

Ручне дугове зварювання покритими електродами залишається одним із найпоширеніших методів зварювання і широко застосовується під час виготовлення зварних металевих конструкцій, зокрема і будівельних, як у нашій країні, так і за кордоном. Це пояснюється універсальністю процесу, простотою і мобільністю вживаного устаткування, можливістю виконання зварювання в різних просторових положеннях та місцях, важкодоступних для механізованих способів зварювання.

Істотним недоліком ручного дугового зварювання покритими електродами є невисока продуктивність процесу та залежність якості зварного шва від практичних навичок зварника.

Результати попередніх досліджень. Суттєві результати в питаннях підвищення ефективності процесу ручного дугового зварювання електродами з покриттям (РДЗ) пов'язані з появою способів зварювання модульованим струмом (ЗМС) [2; 3]. Перевагами способів ЗМС є: відносно висока продуктивність, можливість отримання зварних з'єднань з підвищеними експлуатаційними властивостями, меншими внутрішніми напруженнями та деформаціями. Основними технічними засобами реалізації способів ЗМС є приставки-модулятори та зварювальні перетворювачі інверторного типу [4].

Зварювання модульованим струмом, одним з яких є імпульсно-дугове зварювання, забезпечує кероване перенесення електродного металу і підвищення стабільності процесу. Зварювання проводять на двох енергетичних рівнях – верхньому (імпульс) та нижньому (пауза). Імпульси струму мають, здебільшого, прямокутну або близьку до неї форму.

Однак, незважаючи на певні отримані позитивні ефекти, ці методи ще не знайшли широкого застосування у виробництві. Основною причиною можна вважати однотипність підходу досліджень, згідно з яким здійснювався будь-який вплив на зварювальну ванну і потім за допомогою оцінювання і порівняння структури шва і властивостей отриманого з'єднання визначався характер цього впливу. Тому більш детальні дослідження і вдосконалення процесу ЗМС, що забезпечать отримання більш якісних з'єднань металів малої товщини, мають актуальне значення.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження впливу параметрів модульованого зварювального струму на якість та характеристики зварного шва.

Викладення основних результатів дослідження. Для проведення досліджень застосовували зварювальний випрямляч ВДГ-303, до вихідних клем якого приєднувалась приставка-модулятор, побудована за схемою тиристорного тригера із паралельною ємнісною комутацією. Необхідна падаюча зовнішня характеристика зварювального поста забезпечувалась вмиканням в анодне коло силового тиристора баластного реостата.

Наплавлення здійснювали на пластини товщиною 1,5...2 мм зі сталі ВСт.3пс, яка є практично аналогом наведених вище будівельних сталей. Наплавлення проводили в нижньому положенні без коливальних рухів електрода. Використовувались електроди для ручного дугового зварювання АНО-36 діаметром 2 мм. Як еталон використовувались зразки, наплавлені РДЗ без модулювання струму.

Приставка забезпечувала прямокутну форму імпульсів струму дуги із регулюванням як їх частоти у межах 0,8...30 Гц, так і тривалості у межах 0,25...0,75 від часу періоду (рис. 1). Для забезпечення достовірних результатів підбирали такі параметри зварювання, згідно з якими потужність дуги при ЗМС дорівнювала потужності при РДЗ без модулювання струму.

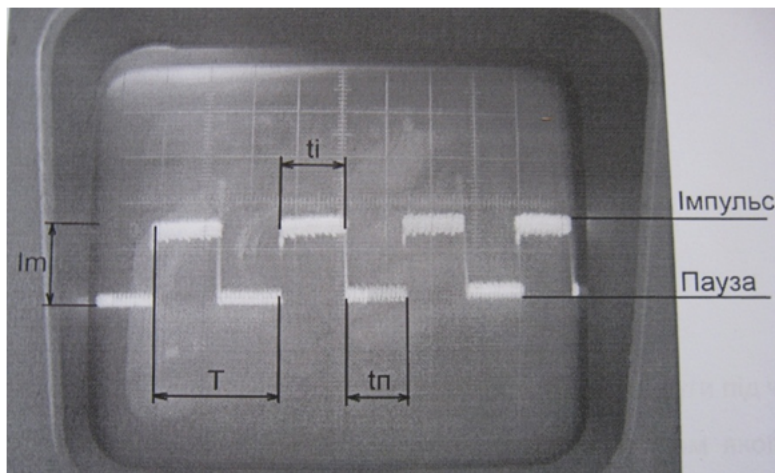


Рис. 1. Форма та основні параметри імпульсів модульованого струму дуги: t_i – тривалість імпульсу; t_n – тривалість паузи; T – період; I_m – амплітуда струму

Дослідження впливу частоти імпульсів модульованого струму на структуру зварного з'єднання, глибину проплавлення та інші геометричні розміри шва здійснювали у наведеному вище діапазоні частот при однаковій тривалості імпульсу і паузи струму в періоді ($t_i = t_n = 0,5T$). Повну потужність дуги у всіх випадках встановлювали на рівні 2000 Вт.

Визначено, що наплавлення на частотах $f = 0,8...3$ Гц призводить до зниження розбризкування, але супроводжується нерівномірним проплавленням металу. Це може пояснюватись помітною тривалістю паузи струму, коли потужність дуги становила приблизно лише 600 Вт, що недостатньо для повного проплавлення.

Подальше збільшення частоти показало, що рівномірне проплавлення відбувається на частотах $f > 5$ Гц. При цих частотах також спостерігається явне зменшення розбризкування металу, менша лускатість наплавленого валика, а також зменшення зони термічного впливу (ЗТВ) у порівнянні з РДЗ без модулювання струму (рис. 2).

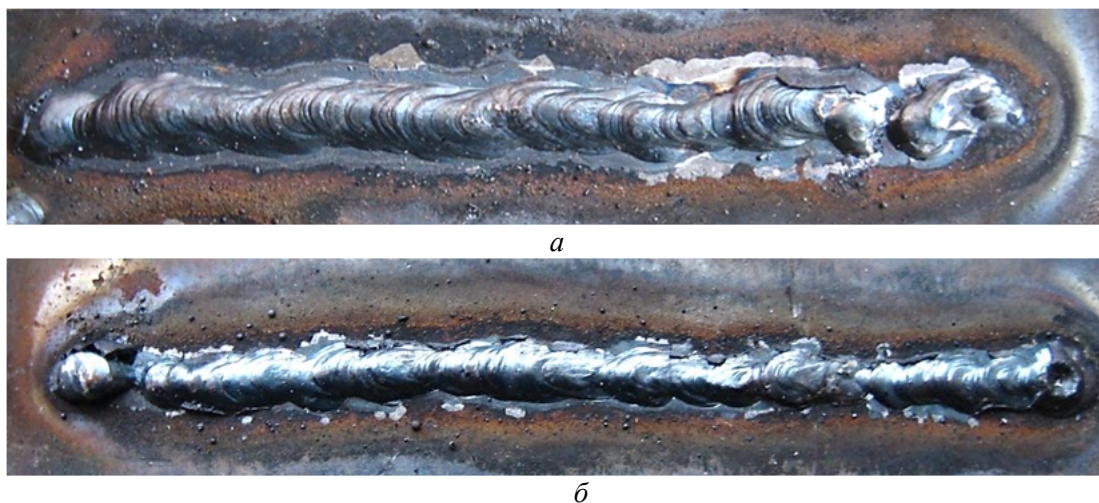


Рис. 2. Зовнішній вигляд зварного шва без модулювання (а) та з модулюванням струму на частоті 25 Гц (б)

Визначення залежності глибини проплавлення, лінійних розмірів наплавлених валиків та структури металу шва та ЗТВ здійснювали металографічним аналізом. Травлення

зразків здійснювали 4%-им розчином азотної кислоти в етиловому спирті [5]. Глибину проплавлення та розміри наплавлених валиків визначали за допомогою мікроскопа МБС-9, на якому встановлювався окуляр із сіткою з ціною поділки 0,375 мм (рис. 3), для оцінювання структури металу застосовували інструментальний мікроскоп МИМ-8.

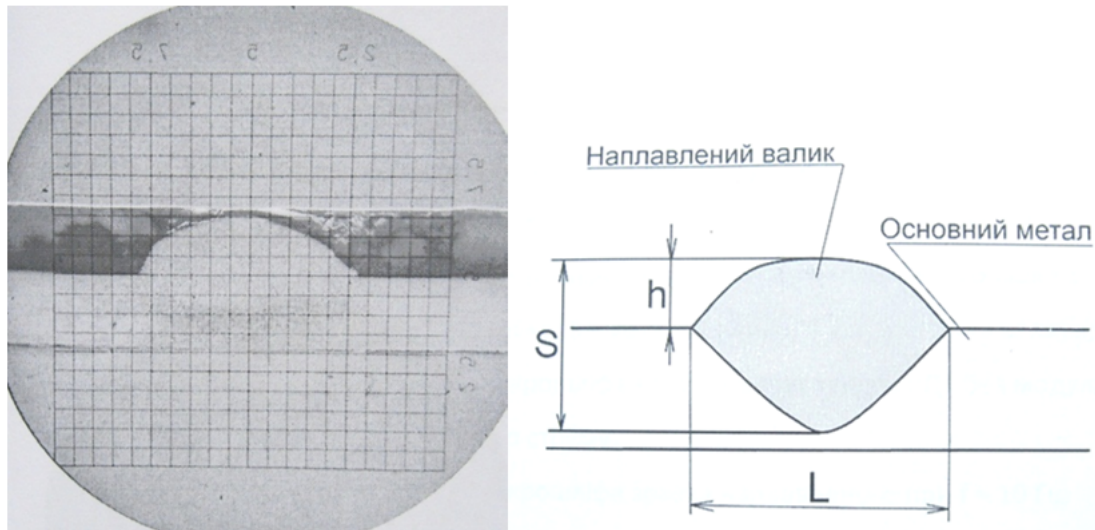


Рис. 3. Вимірювання розмірів наплавлених валиків за допомогою мікроскопа

Під час наплавлення методом РДЗ струм дуги встановлювали на рівні 50 А, при ЗМС струм дуги в імпульсі становив 70 А, в паузі – 30 А. Визначено, що загальна висота наплавленого валика та глибина проплавлення приблизно однаковою мірою зростають із збільшенням частоти імпульсів струму і при частоті 30 Гц глибина проплавлення майже на 30 % перевищує глибину проплавлення при РДЗ без модулювання струму (табл. 1). Це може бути результатом наближення частоти коливань струму дуги до частоти власних коливань зварювальної ванни, внаслідок чого відбувається резонанс і збільшення електромагнітних сил, що діють на прошарок рідкого металу у ванні [6].

Таблиця 1

Лінійні розміри наплавлених валиків

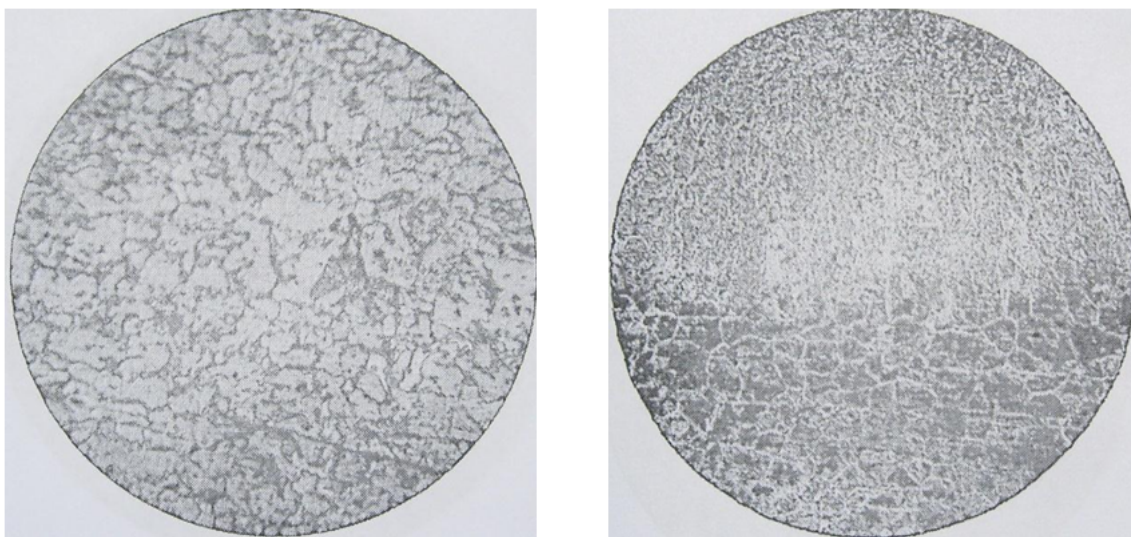
Спосіб зварювання	Частота f, Гц	L, мм	S, мм	h, мм	P, мм
РДЗ	-	4,538	1,913	1,313	0,6
ЗМС	5	4,43	1,505	0,968	0,627
	10	4,54	1,575	0,988	0,637
	15	4,67	1,666	1,023	0,643
	20	4,875	1,763	1,105	0,658
	25	4,88	1,805	1,116	0,689
	30	4,9	1,848	1,058	0,790

Примітка: глибина проплавлення P визначалась як $P = S - h$.

Крім того, визначено, що у зразків, виконаних РДЗ без модулювання струму проглядається досить чітка різниця структури металу наплавленого валика й основного металу, що значно менше помітно у зразках, виконаних ЗМС (рис. 4). Це забезпечує зменшення внутрішніх напружень і підвищення міцності зварного з'єднання та його корозійної стійкості.

Дослідження впливу амплітуди та тривалості імпульсів модульованого струму дуги на структуру зварного шва та глибину проплавлення основного металу проводили також у нижньому положенні без коливальних рухів електрода при частоті $f = 10$ Гц. Варіювали амплітудне значення струму дуги в імпульсі та у паузі, а також тривалість імпульсу в періоді в межах $t_i = 1/4, 1/3, 2/3, 3/4T$. Параметри режиму зварювання обирали за умови підтримання середньої потужності дуги на рівні 2000 Вт. Для цього струм дуги в імпульсі змінювали в межах 56...80 А, в паузі – 30...45 А.

Наплавлений метал



Основний метал

а

б

Рис. 4. Структура зварного з'єднання під час зварювання без модулювання струму (а) та з модулюванням на частоті 25 Гц (б)

Визначено, що при тривалості імпульсу струму $t_i = 1/4, 1/3T$ високі значення струму дуги в імпульсі не мають особливого впливу на проплавлення через короткий час протікання, завдяки чому в метал передається недостатня кількість теплоти для проплавлення основного металу. Збільшення тривалості імпульсу струму дуги приводить до помітного зростання глибини проплавлення та інших лінійних розмірів шва (табл. 2).

Таблиця 2

Лінійні розміри наплавлених валиків

№ зразка	Режим	L, мм	S, мм	h, мм	P, мм
1	$I_i = 60 \text{ A}, t_i = 2/3T$ $I_n = 30 \text{ A}, t_n = 1/3T$	5,063	2,025	1,313	0,712
2	$I_i = 56 \text{ A}, t_i = 2/3T$ $I_n = 40 \text{ A}, t_n = 1/3T$	4,2	1,8	1,163	0,647

Отримані результати (табл. 2) свідчать, що на режимі № 1 при частоті 10 Гц і величині струму в імпульсі 60 А глибина проплавлення наближається до отриманих вище (табл. 1) значень при частоті 30 Гц та струмі в імпульсі 70 А.

Висновки.

1. Встановлено, що ручне дугове зварювання із модулюванням струму дуги забезпечує менше розбрикування металу, меншу лускатість зварного шва і більшу спорідненість структури металу шва і зони термічного впливу з основним металом.

2. Визначено, що у разі підвищення частоти імпульсів струму дуги від 5 до 30 Гц спостерігається збільшення розмірів зварного шва та глибини проплавлення, яка на 30 % може перевищувати глибину проплавлення при РДЗ без модулювання струму.

3. Встановлено, що тривалість імпульсу струму дуги в періоді суттєво впливає на якість зварного шва та глибину проплавлення основного металу. Оптимальна тривалість імпульсу знаходиться в межах від $1/2$ до $2/3T$.

Список використаних джерел

1. *Металлические конструкции* / под ред. Г. С. Веденникова. – М. : Стройиздат, 1998. – 760 с.
2. Степанов В. В. Сварка пульсирующей дугой плавящимся электродом в углекислом газе / В. В. Степанов, Ф. А. Вагнер, П. Р. Исаенко // Автоматическая сварка. – 1971. – № 1. – С. 44–46.
3. Пат. №136450, Великобритания. Method of welding iron, steel and non-ferrous alloys /Nippon steel Corp. – Опубл. 13.10.71.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

4. *Шигаев Т. Г.* Приемы модулирования сварочного тока и устройства для их осуществления (обзор) / Т. Г. Шигаев // Автоматическая сварка. – 1983. – № 8. – С. 51–55.

5. *Коваленко В. С.* Металлографические реактивы : справочник / В. С. Коваленко. – М. : Металлургия, 1973. – 112 с.

6. *Пустовойт С. В.* Наукові основи та технічні засоби підвищення продуктивності імпульсного ручного дугового зварювання : автореф. дис. ... канд. техн. наук / С. В. Пустовойт. – К. : ІЕЗ ім. Є.О. Патона, 2006. – 18 с.

УДК 621.791.927.5

В.П. Иванов, канд. техн. наук

Е.В. Лаврова, канд. техн. наук

Н.А. Солидор, канд. техн. наук

Ф.В. Моргай, аспирант

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Украина

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ
КОРРОЗИОННОСТОЙКОГО СЛОЯ ЛЕНТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ
С УПРАВЛЯЕМЫМ МЕХАНИЧЕСКИМ ПЕРЕНОСОМ**

В.П. Иванов, канд. техн. наук

О.В. Лаврова, канд. техн. наук

Н.А. Солидор канд. техн. наук

Ф.В. Моргай, аспирант

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, Україна

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ
КОРОЗІЙНОСТІЙКОГО ШАРУ СТРІЧКОВИМ ЕЛЕКТРОДОМ З КЕРОВАНИМ
МЕХАНІЧНИМ ПЕРЕНОСЕННЯМ**

Vitaliy Ivanov, PhD in Technical Sciences

Yelena Lavrova, PhD in Technical Sciences

Nataliya Solidor, PhD in Technical Sciences

Fedor Morgay, PhD student

SHEI "Priazovskiy State Technical University", Mariupol, Ukraine

**STUDY OF ELECTRIC ARC OVERLAYING PROCESS OF CORROSION-
RESISTANT LAYER BY STRIP ELECTRODES WITH A CONTROLLED
MECHANICAL TRANSFER**

Разработана технология наплавки коррозионностойкого слоя ленточным электродом с принудительным механическим переносом электродного металла, позволяющая обеспечить повышения качества наплавленной поверхности и стабилизацию зоны проплавления основного металла. Исследованы макро- и микроструктуры, а также характер изменения микротвердости наплавленного малоуглеродистого и коррозионностойкого металла.

Ключевые слова: ленточный электрод, управляемый перенос электродного металла, микроструктура, коррозионностойкий слой, микротвердость, электродуговая наплавка.

Розроблено технологію наплавлення корозійностійкого шару стрічковим електродом з примусовим механічним перенесенням електродного металу, що дозволяє забезпечити підвищення якості наплавленої поверхні і стабілізацію зони проплавлення основного металу. Досліджено макро- і микроструктури, а також характер зміни микротвердості наплавленого малоуглеводного і корозійностійкого металу.

Ключові слова: стрічковий електрод, кероване перенесення електродного металу, микроструктура, корозійностійкий шар, микротвердість, електродугове наплавлення.

Was developed the technology for overlaying of corrosion-resistant layer by the strip electrode with forced mechanical transfer of electrode metal, which allows to improve the overlaid surface quality and the area penetration zone stabilization of the base metal. The macro- and microstructure, as well as the behavior of the microhardness of the mild and corrosion-resistant deposited metal were investigated.

Key words: strip electrode, controlled transfer of electrode metal, microstructure, corrosion-resistant layer, microhardness, electric arc overlaying.