

ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ НАПЛАВКИ ДВУМЯ ЛЕНТАМИ

И. А. РЯБЦЕВ¹, А. А. БАБИНЕЦ¹, В. Н. КОРЖИК^{1,2}, А. И. СИТКО^{1,3}, ЧЖАН ЮЙПЭН²

¹ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

²Гуандунский институт сварки (Китайско-украинский институт сварки им. Е. О. Патона).

510650, Китай, г. Гуанчжоу, Тяньхе, ул. Чансин Роуд, 363

³ООО «Научно-производственный центр «ПЛАЗЕР».

г. Киев, ул. Филатова, 10-А, E-mail: plazer2010@meta.ua

Совместно ИЭС им. Е. О. Патона, Китайско-Украинский институт сварки им. Е. О. Патона и ООО «НПЦ «ПЛАЗЕР» разработано оборудование и технология антикоррозионной электрошлаковой наплавки лентами. Исследовано влияние тока, напряжения и скорости наплавки, а также величины зазора между лентами на стабильность электрошлакового процесса, геометрические размеры наплавленных валиков и долю основного металла в наплавленном металле. В экспериментах были использованы нержавеющие ленты ESAB 309LNb ESW сечением 0,5×60 мм и флюс ESAB ОК 10.10. Определена область режимов наплавки двумя лентами, при которых обеспечивается высокая производительность и устойчивый электрошлаковый процесс с хорошим формированием наплавленного металла и минимальным проплавлением основного металла в пределах 7...9%: $I_{\text{н}} = 1400...1500$ А; $U_{\text{н}} = 32...33$ В; $v_{\text{н}} = 14...17$ м/ч; зазор между лентами — 16 мм. Механические свойства металла, наплавленного на этих режимах лентами ESAB 309LNb ESW под флюсом ESAB ОК 10.10, находятся на уровне механических свойств стали 309LNb. Полученные результаты могут быть использованы при выборе или разработке материалов и технологий антикоррозионной наплавки деталей энергетического и химического оборудования. Библиогр. 7, табл. 1, рис. 6.

Ключевые слова: электрошлаковая наплавка лентами, технология наплавки, оборудование для наплавки, проплавление, производительность наплавки

Для защиты от коррозии деталей энергетического и химического оборудования широко используется электродуговая наплавка под слоем флюса высоколегированного коррозионностойкого металла на низкоуглеродистую сталь [1, 2]. В основном наплавка осуществляется одной электродной лентой толщиной 0,5...0,8 мм и шириной 50...70 мм, что, в зависимости от режимов, обеспечивает производительность 10...35 кг/ч [2]. При этом доля основного металла (ДОМ) в наплавленном металле составляет 15...25% и для обеспечения необходимого химического состава коррозионностойкого наплавленного металла наплавку следует выполнять минимум в два слоя.

Это снижает производительность наплавочных работ и может привести к накоплению микродефектов в наплавленном металле, повышению в нем остаточных напряжений, увеличению химической и структурной неоднородности [3]. В условиях эксплуатации эти факторы могут негативно повлиять на стойкость наплавленного металла против образования трещин и коррозии [4].

Одним из путей решения этой проблемы является применение материалов и методов наплавки, которые бы обеспечили минимальное проплавление основного металла, в частности, электрошлаковой наплавки двумя лентами (ЭШНЛ). По некоторым данным [5–7] этот метод позволяет по-

лучить необходимый химический состав наплавленного металла уже в первом слое, что особенно важно при наплавке высоколегированных аустенитных сталей на конструкционную сталь.

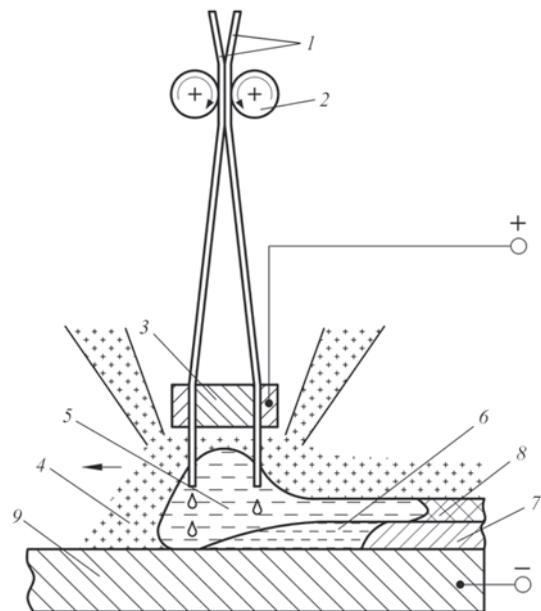


Рис. 1. Схема электрошлаковой наплавки двумя лентами [4]: 1 — электродные ленты; 2 — подающие ролики; 3 — медная вставка-токоподвод; 4 — флюс; 5 — шлаковая ванна; 6 — металлургическая ванна; 7 — наплавленный металл; 8 — шлаковая корка; 9 — наплавляемая заготовка



Рис. 2. Процесс ЭШНЛ цилиндрического образца диаметром 1000 мм

Схема процесса электрошлаковой наплавки двумя лентами показана на рис. 1. Токоподвод, как правило, осуществляется через медную вставку, расположенную между лентами и обеспечивающую заданный зазор между ними. Защита зоны наплавки от атмосферы осуществляется флюсом. При наплавке в первый момент времени между электродными лентами и изделием возникает дуга, которая оплавляет края ленты, способствует расплавлению флюса и образованию шлаковой ванны, шунтирующей дугу. Далее дуговой процесс переходит в шлаковый, так как ток начинает протекать через расплавленный электропроводный шлак. Нагрев и плавление лент, а также оплавление основного металла происходит за счет теплопередачи от расплавленного шлака. Таким образом, на основной металл сварочная дуга не оказывает непосредственного воздействия, что и ведет к уменьшению его проплавления.

ИЭС им. Е. О. Патона совместно с Китайско-украинским институтом сварки им. Е. О. Патона (КУИС, г. Гуанчжоу, КНР) проведены работы по внедрению способа ЭШНЛ в Китае.

Установка для ЭШНЛ включает: сварочный манипулятор КМ 2530, на поперечную траверсу которого монтируется наплавочный аппарат с подающим механизмом для наплавки двумя лентами и устройством для подачи и удаления флюса после наплавки; роликовый стенд, на котором устанавливаются наплавляемые цилиндрические детали; инверторный источник питания KAIYUAN ZD5-2000 и компьютерный блок управления.

Манипулятор КМ 2530 состоит из колонны (включая подъемный механизм, устройство для защиты от падения и устройство для весовой балансировки), поперечной траверсы с ее приводом продольного перемещения и основания, на котором крепится колонна с траверсой. Основание, в свою очередь, с помощью анкерных болтов кре-

пится к полу в наплавочном цехе. Колонна, траверса и основания являются сварными конструкциями.

Подъемный механизм поднимает или опускает траверсу, что дает возможность устанавливать наплавочный аппарат в удобное для наплавки положение. Привод перемещает траверсу с наплавочным аппаратом в продольном направлении с маршевой или наплавочной скоростью. При наплавке цилиндрических деталей привод траверсы производит также смещение сварочного аппарата на

шаг наплавки. Высокая точность изготовления деталей подъемного механизма и привода траверсы гарантирует стабильную и качественную работу установки.

Установка укомплектована инверторным источником питания ZD5-2000 производства компании Tangshan Kaiyuan Specific Welding Equipment Co., Ltd (КНР). При использовании этого источника номинальный ток наплавки составляет 1650 А (ПВ = 100 %).

Для ЭШНЛ цилиндрических деталей используется регулируемый роликовый стенд КТ5000, который состоит из блока ведущих и блока вспомогательных роликов. Блок из двух пар ведущих роликов устанавливается на ведущей платформе и имеет систему привода, приводящую во вращение наплавляемую деталь. Блок из двух пар вспомогательных роликов устанавливается на вспомогательную платформу и не имеет системы привода. Расстояние между роликами ведущего и вспомогательного блоков может регулироваться в зависимости от различных диаметров наплавляемых деталей. Максимальная грузоподъемность стенда КТ5000 составляет 5000 кг, диаметр наплавляемых деталей 500...3500 мм, диапазон скоростей вращения 134...1340 мм/мин. Токоподвод к наплавляемой детали осуществляется через приводные ролики с помощью скользящих контактов.

Основные технические характеристики установки для ЭШНЛ приведены ниже, а общий вид установки в процессе отработки режимов электрошлаковой наплавки двумя лентами цилиндрического образца на рис. 2.

Технические характеристики установки для ЭШНЛ

Номинальное напряжение сети, В	380
Частота тока питающей сети, Гц	50
Номинальный сварочный ток наплавки, А	1650 при ПВ = 100 %

Диапазон регулирования тока наплавки, А	400...2000
Количество электродных лент, шт.	2
Толщина холоднокатаной ленты, мм	0,5...1,0
Ширина холоднокатаной ленты, мм	60
Диапазоны плавного регулирования скорости подачи ленты, м/ч:	
1 диапазон	5...50
2 диапазон	23...230
Диапазоны регулирования скорости наплавки, м/ч	
6...61	
Вертикальное перемещение наплавочного аппарата:	
ход, мм	400
скорость, м/ч	24
Корректировка механизма подачи электродных лент, мм:	
вдоль наплавочного валика	90
поперек наплавочного валика (рукой)	200
Регулировка угла наклона мундштуков, град	± 30
Маршевая скорость перемещения наплавочного аппарата, м/ч	
800	
Диапазон скоростей поперечных колебаний, м/ч	
29...118	
Флюсоаппаратура:	
объем, дм ³	55
расход воздуха, м ³ /ч	30
высота всасывания флюса, м	2

Компьютерная система управления установки позволяет с высокой степенью автоматизации управлять процессом наплавки двумя лентами. Например, при наплавке цилиндрических деталей оператор устанавливает на экране компьютера пульт управления режимы наплавки, диаметр на плавляемого изделия и нажимает кнопку «Пуск». Система управления, исходя из диаметра изделия, выбирает скорость вращения, момент и величину смещения на шаг при замыкании каждого кольцевого валика. Система управления установкой объединена с системой управления источником питания, что позволяет вести процесс наплавки в автоматическом режиме и обеспечивать высокое качество наплавки. В случае необходимости оператор может вмешиваться в процесс наплавки и корректировать ее режимы.

На установке отработывались режимы электрошлаковой наплавки двумя лентами плоских и цилиндрических деталей и проводились исследования влияния тока, напряжения и скорости наплавки, а также величины зазора между электродными лентами на стабильность электрошлакового процесса, геометрические размеры наплавленного валиков и ДОМ в наплавленном металле.

В экспериментах использовали ленту ESAB OK Band 309LNb ESW сечением 0,5x60 мм и флюс ESAB OK Flux 10.10. Наплавка выполнялась на заготовки из стали Ст.3 размером 350x200x(30...40) мм, значения тока и напряжения изменялись в пределах 1200...1600 А и 25...38 В, соответственно. Скорость наплавки варьировалась в пределах 10...30 м/ч, а зазор между лентами — 8...20 мм, вылет лент оставался неизменным и составлял 35...40 мм.

После наплавки проводился послойный спектральный анализ химического состава наплавленного металла, результаты которого приведены в таблице. Анализ этих данных показывает, что при ЭШНЛ заданный химический состав достигается уже в первом наплавленном слое.

Исследовали влияние тока, напряжения и скорости наплавки, а также зазора между лентами на стабильность электрошлакового процесса, геометрические размеры и ДОМ. Было установлено, что геометрические размеры наплавленного валика практически прямо пропорционально зависят от значения тока и напряжения наплавки, однако величина ДОМ при этом остается практически неизменной (рис. 3). Это объясняется тем, что при электрошлаковом процессе отсутствует прямое воздействие дуги на основной металл, поэтому увеличение электрической мощности в основном влияет только на увеличение количества наплавленного металла.

Большее влияние на ДОМ оказывает скорость наплавки, а также величина зазора между лентами (рис. 4). Скорость наплавки определяет продолжительность теплового воздействия шлаковой ванны на основной металл, а величина зазора существенно влияет на стабильность *N* протекания самого электрошлакового процесса. Стабильность определяли по осциллограммам как отношение продолжительности периодов электрошлакового и дугового процессов за определенное время. При небольшой величине зазора происходит перегрев шлаковой ванны между лентами, наблюдается непостоянный шлаково-дуговой процесс, в результате увеличивается проплавление основного металла и ухудшается его формирование. С увеличением зазора площадь зеркала шлаковой ванны увеличивается, температура ванны снижается,

Химический состав ленты марки ESAB OK Band 309LNb ESW и металла, наплавленного электрошлаковым способом двумя лентами этой марки

Исследуемый материал	Массовая доля элементов, %							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Nb	S	P
Лента								
ESAB OK Band 309LNb ESW	0,015	1...2,5	≤0,4	20,0...22,0	11,0...13,0	0,4...0,8	≤0,03	≤0,03
Наплавленный металл								
1 слой	0,014	1,43	0,67	21,7	12,5	0,59	0,005	0,017
2 слой	0,017	1,47	0,65	21,4	12,4	0,63	0,005	0,017
3 слой	0,017	1,42	0,70	22,1	12,8	0,58	0,007	0,019

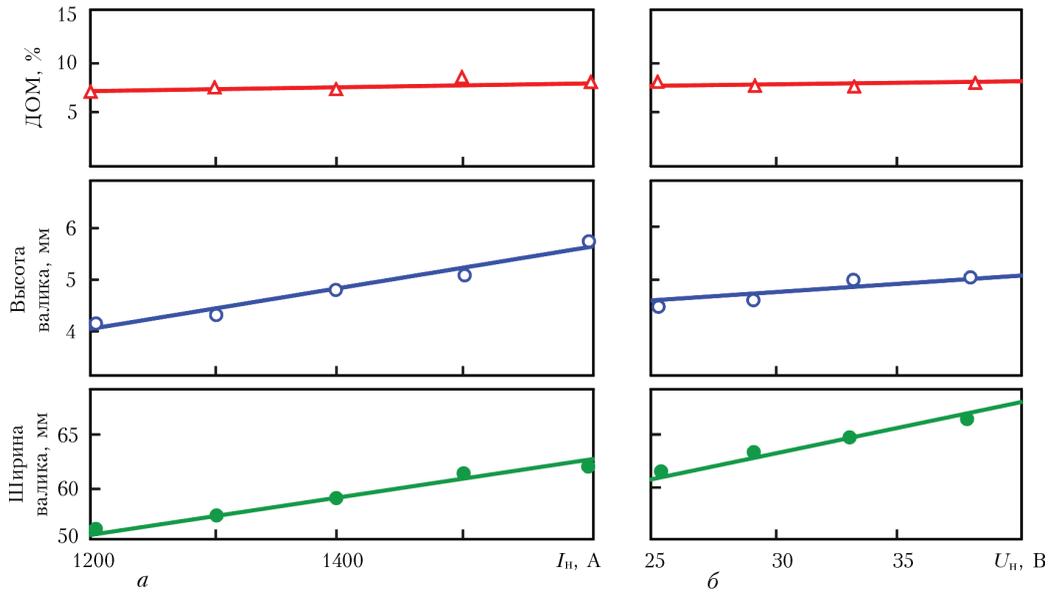


Рис. 3. Влияние тока I_n (а) и напряжения U_n (б) наплавки на геометрические размеры наплавленного валика и ДОМ в наплавленном металле

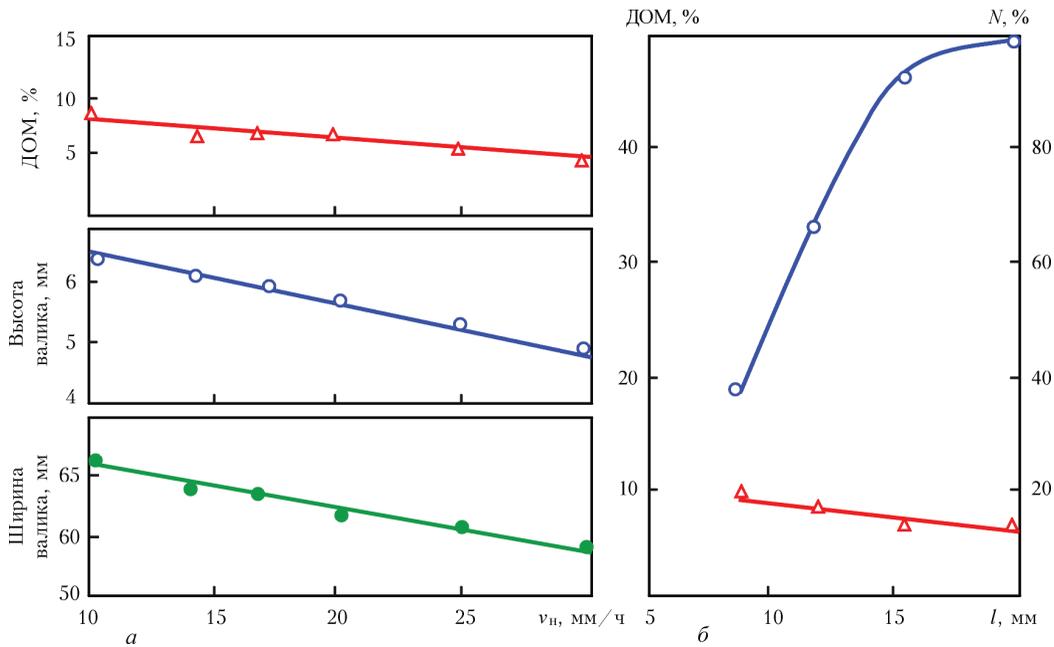


Рис. 4. Влияние скорости наплавки v_n (а) и зазора между лентами l (б) на геометрические размеры наплавленного валика, стабильность процесса N и ДОМ в наплавленном металле

и электрошлаковый процесс становится более стабильным. При ширине зазора 16 мм наплавленный валик имеет более ровные края и гладкую поверхность, т. е. лучшее формирование (рис. 5, а), чем валик, наплавленный на таком же режиме, но при зазоре 8 мм (рис. 5, б).

В результате исследований установлено, что устойчивый электрошлаковый процесс при использовании лент сечением $0,5 \times 60$ мм достигается при следующих параметрах режима наплавки: $I_n = 1400 \dots 1500$ А; $U_n = 32 \dots 33$ В; $v_n = 14 \dots 17$ м/ч; скорость подачи лент $65 \dots 70$ м/ч; зазор между лентами — 16 мм. Металлографические исследования показали, что образцы, наплавленные на указанных режимах, характери-

зуются хорошим формированием наплавленного и минимальным проплавлением основного металла в пределах $7 \dots 9$ % (рис. 6, а, б). При этом граница сплавления наплавленного и основного металла достаточно ровная, что положительно сказывается на прочностных свойствах полученного соединения.

Для определения механических свойств наплавленного металла была проведена многослойная наплавка по указанному выше режиму. Общая толщина наплавленного металла составила ≈ 20 мм, ширина — $62 \dots 65$ мм. Из наплавленной заготовки были вырезаны образцы для проведения механических испытаний. Механические свойства наплавленного металла типа ста-

№ 2013В050800032 «Исследование и применение высокоэффективного сварочного оборудования для дуговой сварки» и № 201508030023 «Разработка технологии сварки под флюсом».



Рис. 5. Влияние величины зазора между лентами l на формирование наплавленного металла: a — $l = 8$ мм; b — 16. Режим наплавки: $I_n = 1200 \dots 1300$ А; $U_n = 32 \dots 33$ В; $v_n = 14$ м/ч

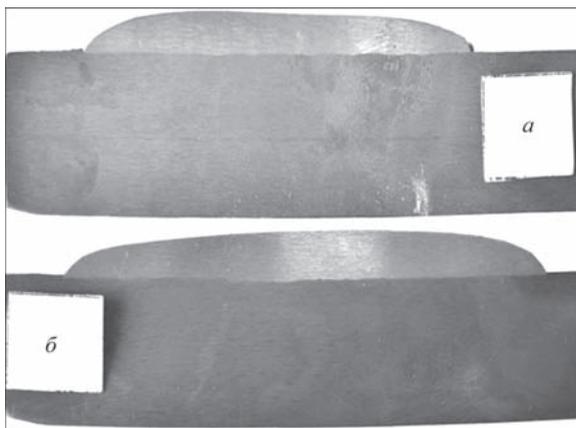


Рис. 6. Макрошлифы поперечного сечения образцов, наплавленных на режимах $U_n = 32 \dots 33$ В; $v_n = 12$ м/ч; $l = 16$ мм: a — $I_n = 1400$ А (ДОМ = 7 %); b — $I_n = 1500$ А (ДОМ = 9 %) ли 309LNb при 20 °С: $\sigma_B = 504 \dots 506$ МПа (≥ 510); $\sigma_T = 286 \dots 297$ МПа (≥ 205); $\delta = 44,0 \dots 49,0$ % (≥ 25); $\psi = 64,0 \dots 69,7$ % (≥ 60) (в скобках приведены данные по механическим свойствам стали 309LNb).

Результаты испытаний показывают, что прочностные характеристики металла, наплавленного лентами ESAB 309LNb ESW, находятся на достаточно высоком уровне и отвечают предъявляемым к ним требованиям. Полученные результаты могут быть использованы при выборе или разработке материалов и технологий антикоррозионной наплавки деталей энергетического и химического оборудования.

Работа выполнена при поддержке программы иностранных консультантов № WQ20124400119, Инновационной исследовательской команды провинции Гуандун (КНР) № 201101C0104901263, а также научно-исследовательских проектов КНР:

Список литературы

1. Кравцов Т. Г. (1978) *Электродуговая наплавка электродной лентой*. Москва, Машиностроение.
2. Рябцев И. А. (2005) Высокопроизводительная широкоослойная наплавка электродными проволоками и лентами (Обзор). *Автоматическая сварка*, **6**, 36–41.
3. Иванов В. П., Иващенко В. Ю. (2011) Влияние технологии наплавки и термообработки на структуру и свойства металла, наплавленного ленточным электродом ЛН-02Х-25Н22АГ4М2 на углеродистую сталь. *Там же*, **8**, 9–11.
4. Рябцев И. А., Сенченков И. К., Турък Э. В. (2015) *Наплавка. Материалы, технологии, математическое моделирование*. Гливице, Изд-во Силезского политехнического института, Польша.
5. Фрумин И. И., Каленский В. К., Панчишин Ю. А. и др. (1977) Разработка процесса и исследование некоторых технологических особенностей электрошлаковой наплавки лентами. *Теоретические и технологические основы наплавки. Новые процессы механизированной наплавки*. Киев, ИЭС им. Е. О. Патона, сс. 83–88.
6. Каленский В. К., Панчишин Ю. А., Шехтери С. Я. и др. (1980) Применение электрошлаковой наплавки спечеными лентами для изготовления двухслойных листовых заготовок. *Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла*. Киев, ИЭС им. Е. О. Патона, сс. 89–92.
7. Игнатов В. А., Мурзин В. В., Рохлин Э. А. и др. (1980) Исследование процесса электрошлаковой антикоррозионной наплавки двумя ленточными электродами. *Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла*. Киев, ИЭС им. Е. О. Патона, сс. 101–106.

References

1. Kravtsov, T.G. (1978) *Electric arc surfacing using electrode strip*. Moscow, Mashinostroenie.
2. Ryabtsev, I.A. (2005) High-efficiency wide-layer surfacing using electrode wires and strips (Review). *The Paton Welding J.*, **6**, 31-35.
3. Ivanov, V.P., Ivashchenko, V.Yu. (2011) Influence of hardfacing technology and heat treatment on structure and properties of metal deposited on carbon steel by LN-02Kh25N22AG4M2 strip electrode. *Ibid.*, **8**, 7-9.
4. Ryabtsev, I.A., Senchenkov, I.K., Turyk, E.V. (2015) *Surfacing. Materials, technologies, mathematical modeling*. Gliwice, Silesia Polytechnical Institute.
5. Frumin, I.I., Kalensky, V.K., Panchishin, Yu.A. et al. (1977) Development of process and investigation of some technological specifics of strip electroslag surfacing. In: *Theoretical and technological principles of surfacing. New processes of mechanized surfacing*. Kiev, PWI, 83-88.
6. Kalensky, V.K., Panchishin, Yu.A., Shekhteri, S.Ya. et al. (1980) Application of electroslag surfacing using sintered strips for manufacture of two-layer sheet billets. In: *Theoretical and technological principles of surfacing. Properties and tests of deposited metal*. Kiev, PWI, 89-92.
7. Ignatov, V.A., Murzin, V.V., Rokhlin, E.A. et al. (1980) Examination of process of electroslag corrosion-resistant surfacing using two strip electrodes. *Theoretical and technological principles of surfacing. Properties and tests of deposited metal*. Kiev, PWI, 101-106.

І. О. Рябцев¹, А. А. Бабінець¹, В. М. Коржик^{1,2},
О. І. Сітко^{1,3}, Чжан Юйпен²

¹ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України.
03680, м. Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11.
E-mail: office@paton.kiev.ua

²Гуандунський інститут зварювання
(Китайсько-український інститут зварювання
ім. Є. О. Патона).

510650, Китай, г. Гуанчжоу, Тяньхе, вул. Чансин Роуд, 363
³ТОВ «Науково-виробничий центр «ПЛАЗЕР»,
м. Київ, Україна

УСТАТКУВАННЯ І ТЕХНОЛОГІЯ АНТИКОРОЗИЙНОГО
ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ
ДВОМА СТРІЧКАМИ

Спільно ІЕЗ ім. Є. О. Патона, КУІЗ ім. Є. О. Патона та ТОВ «НВЦ «ПЛАЗЕР» розроблено обладнання і технологію антикорозійного електрошлакового наплавлення стрічками. Досліджено вплив струму, напруги та швидкості наплавлення, а також величини зазору між стрічками на стабільність електрошлакового процесу, геометричні розміри наплавлених валиків і частку основного металу в наплавленому металі. В експериментах були використані нержавіючі стрічки ESAB 309LNb ESW перетином 0,5×60 мм і флюс ESAB ОК 10.10. Визначено область режимів наплавлення двома стрічками, при яких забезпечується висока продуктивність і стійкий електрошлаковий процес з хорошим формуванням наплавленого і мінімальним проплавленням основного металу в межах 7...9%: $I_n = 1400...1500$ А; $U_n = 32...33$ В; $v_n = 14...17$ м/ч; зазор між стрічками — 16 мм. Механічні властивості металу, наплавленого на цих режимах стрічками ESAB 309LNb ESW під флюсом ESAB ОК 10.10, знаходяться на рівні механічних властивостей сталі 309LNb. Отримані результати можуть бути використані при виборі або розробці матеріалів і технологій антикорозійного наплавлення деталей енергетичного та хімічного обладнання. Бібліогр. 7, табл. 1, рис. 6.

Ключові слова: електрошлакове наплавлення стрічками, технологія наплавлення, обладнання для наплавлення, проплавлення, продуктивність наплавлення

I.A. Ryabtsev¹, A.A. Babinets¹, V.N. Korzhik^{1,2},
A.I. Sitko^{1,3}, Zhan Yuipeng²

¹E.O.Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.
11 Kazimir Malevich str., 03680, Kiev-150, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

²Guangdong Welding Institute

(E.O. Paton Chinese-Ukrainian Institute of Welding).

510650, China, Guangzhou City, Tianhe, Changxing Road, 363

³LLC «Scientific and Production Center «PLAZER».

310-A Filatova str., off. 2/10, Kyiv, Ukraine.

E-mail: plazer2010@meta.ua

EQUIPMENT AND TECHNOLOGY OF ANTI-CORROSION
ELECTROSLAG SURFACING APPLYING TWO STRIPS

The E.O. Paton Electric Welding Institute together with the E.O. Paton Chinese-Ukrainian Institute of Welding and the SPC «PLAZER» developed the equipment and technology for anti-corrosion electroslag surfacing applying strips. The effect of current, voltage and surfacing speed as well as the gap between the strips on the stability of electroslag process, geometric dimensions of deposited beads and volume of base metal in the deposited one were investigated. In the experiments the stainless strips ESAB 309LNb ESW with the cross-section of 0.5x60 mm and the flux ESAB ОК 10.10 were used. The range of modes of surfacing by two-strip was determined, providing a high efficiency and a stable electroslag process with a good formation of deposited metal and a minimal penetration of the base one in the ranges of 7...9%: $I_s = 1400...1500$ A; $U_s = 32...33$ V; $v_s = 14...17$ m/h; the gap between the strips is 16 mm. The mechanical properties of the metal deposited at these modes applying the strips ESAB 309LNb ESW under the flux ESAB ОК 10.10 are at the level of mechanical properties of steel 309LNb. The obtained results can be used in selection or development of materials and technologies for anti-corrosion surfacing of parts of power and chemical equipment. 7 Ref., 1 Table, 6 Figures.

Keywords: electroslag surfacing applying strips, surfacing technology, surfacing equipment, penetration, efficiency of surfacing

Поступила в редакцію 25.04.2017

**1-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО СВАРКЕ И НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ 2018
1st ICWINDT-2018**

22–24 октября 2018 г.

г. Афины, Греция

Адрес: WGI: Trapezountos & Digeni Akrita, Elefsina 192 00, Attikis, Greece.

Phone (+30) 210 3630050, Fax (+30) 2103636917,

Website: www.wgi.gr, E-mail: tzaferis@wgi.gr