УДК 621.9.022:621.791.927 DOI: 10.18324/2077-5415-2018-1-22-28

Влияние параметров спеченной наплавочной ленты на структуру и свойства наплавленного металла и зоны термического влияния

А.А. Галинский[a], Е.С. Двойников[b], У.С. Путилова[c]

Тюменский индустриальный университет, ул. Володарского, 38, Тюмень, Россия
[a]general@tyuiu.ru, [b]molodej8980@gmail.com, [c]don-andre-1990@yandex.ru
[a]https://orcid.org/0000-0003-3309-8860, [b]https://orcid.org/0000-0002-8053-2204,
[c]https://orcid.org/0000-0001-7927-8889
Статья поступила 12.12.2017, принята 9.01.2018

Основная проблематика статьи определена отсутствием на сегодняшний день методик расчета режимов автоматической наплавки под слоем флюса спеченной лентой, которые учитывали бы особенности и технологические параметры, оказывающие влияние на формирование наплавленного металла. В соответствии с действующим стандартом СТ ЦКБА 053-08 процесс наплавки предусматривает только ручную дуговую наплавку покрытыми электродами ЭЛЗ-НВ1 каждого последующего слоя после охлаждения предыдущего слоя до температуры ≤50 °С на открытом воздухе. С учетом низкой производительности наплавки и необходимости последующей термообработки (загрузка в печь при температуре от 20 до 500 °С, нагрев до температуры 800–820 °С, выдержка 4–6 ч и охлаждение на воздухе) 1 августа 2014 г. были приняты изменения в стандарт СТ ЦКБА 053-08, в соответствии с которыми для наплавки уплотнительных поверхностей с химическим составом типа 09Х31Н8АМ2 предлагается использовать метод автоматической наплавки под слоем флюса с применением сварочной проволоки Св-04Х19Н11М3 и флюса ЭЛЗ-ФКН-Х32Н8. Представленные в статье графические зависимости свидетельствуют о том, что наибольшее влияние на глубину проплавления оказывает величина сварочного тока, тогда как зависимость от напряжения и скорости сварки незначительна. В соответствии с отмеченной закономерностью, с ростом напряжения происходит увеличение проплавления, однако в случае со скоростью наплавки наблюдается обратно пропорциональная зависимость. Разработанные авторами модели являются адекватными, ошибка в определении ширины валика не превышает 6,2 %, глубины проплавления — 5,6 %.

Ключевые слова: автоматизация; керамическая спеченная наплавочная лента; наплавка; твердость наплавочного слоя.

Influence of the parameters of the sintered surfacing tape on the structure and properties of the weld metal and the zone of thermal influence

A.A. Galinsky[a], E.S. Dvoinikov[b], U.S. Putilova[c]

Tyumen Industrial University; 38, Volodarsky St., Tyumen, Russia
[a]general@tyuiu.ru, [b]molodej8980@gmail.com, [c]don-andre-1990@yandex.ru
[a]https://orcid.org/0000-0003-3309-8860, [b]https://orcid.org/0000-0002-8053-2204,
[c]https://orcid.org/0000-0001-7927-8889
Received 12.12.2017, accepted 9.01.2018

The article discusses the lack of methods of calculation of modes of automatic welding under the flux layer sintered tape, taking into account its characteristics and technological parameters influencing the formation of weld metal. The problem is that the process of surfacing, in accordance with the applicable standard ST CKBA 053-08 provides only for manual arc surfacing with coated electrodes of ELZ-HB1. The process of manual arc welding electrodes of ELZ-HB1 provides for the cladding of each subsequent coat after the previous cooling to a temperature of ≤50 °C outdoors. Given the low deposition rates and the need for subsequent heat treatment (load in the furnace at a temperature of from 20°C to 500°C, heating to a temperature of 800-820°C, exposure for 4-6 hours and air cooling). On August 1, 2014, amendments were made to the standard ST CKBA 053-08. In accordance with the changes for surfacing of sealing surfaces with the chemical composition of the type 09X31H8AM2, it is proposed to use a method of automatic welding under flux with application of welding wire of SV-04X19H11M3 and flux ELZ-FKN-X32H8. Thus, the graphical dependencies presented in the article indicate that the magnitude of the welding current exerts the greatest influence on the depth of penetration, whereas the dependence on the voltage and the welding speed is insignificant. In accordance with the noted regularity, as the voltage increases, an increase in penetration occurs, but in the case of a surfacing rate, an inverse relationship is observed. The models developed by the authors are adequate, the error in determining the width of the roller does not exceed 6.2%, the depth of penetration is 5.6%.

Keywords: automation; ceramic sintered surfacing tape; surfacing; hardness of the surfacing layer.

Введение

Одним из видов продукции предприятий, занимающихся производством трубопроводной арматуры, являются задвижки клиновые с выдвижным шпинделем (рис. 1). Они используются в качестве запорных устройств для полного перекрытия потока среды на технологических линиях нефтегазодобывающей и нефтегазоперерабатывающей промышленности, энергетики и коммунального хозяйства. Задвижки изготавливаются с клином жесткой конструкции.

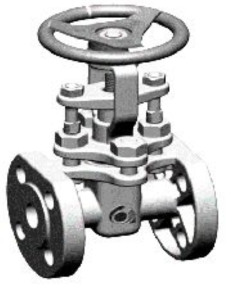

Рис. 1. Задвижка клиновая с выдвижным шпинделем. Общий вид

В процессе изготовления задвижек данного типа из стали марки 12Х18Н10Т для атомной промышленности на предприятии ЗАО «Курганспецарматура» возникла проблема, связанная с наплавкой уплотнительных поверхностей на рабочий орган задвижки (клин), с получением наплавленного металла типа 09Х31Н8АМ2. Проблема заключается в том, что процесс наплавки, в соответствии с действующим стандартом СТ ЦКБА 053-08, предусматривал только ручную дуговую наплавку покрытыми электродами ЭЛЗ-НВ1 каждого последующего слоя после охлаждения предыдущего до температуры ≤50 °С на открытом воздухе [1]. С учетом низкой производительности наплавки и необходимости последующей термообработки (загрузка в печь при температуре от 20 до 500 °С, нагрев до температуры 800–820 °С, выдержка 4–6 ч и охлаждение на воздухе) необходимость совершенствования процесса получения уплотнительной поверхности с заданными свойствами не заставила себя долго ждать, и 1 августа 2014 г. были приняты изменения для стандарта СТ ЦКБА 053-08.

В соответствии с внесенными изменениями для наплавки уплотнительных поверхностей с химическим составом типа 09Х31Н8АМ2 предлагается использовать метод автоматической наплавки под слоем флюса с применением сварочной проволоки Св-04Х19Н11М3 и флюса ЭЛЗ-ФКН-Х32Н8 [2].

Разработанная технология наплавки предусматривала использование проволоки диаметром 1,6; 2,0; 3,0 мм. Это, безусловно, повысило производительность наплавочных работ, однако получение уплотнительных поверхностей задвижек с условным проходом свыше Ду400 по-прежнему оставляет желать лучшего. Изучение данной проблемы показало необходимость разработки технологического процесса наплавки уплотнительных поверхностей трубопроводной арматуры с применением более производительных методов.

В ходе обзора научной литературы был определен наиболее производительный метод автоматической наплавки, а именно автоматическая наплавка под слоем флюса спеченной лентой. В связи с этим было предложено разработать технологию наплавки спеченной лентой ЛС-09Х31Н8АМ2 под слоем флюса АН-26. Для этого была заказана опытная единичная партия данной ленты шириной 40 мм, толщиной 2 мм на предприятии ОАО «Выксунский металлургический завод». Масса партии составляла 40 кг [3].

Цели исследования:

1. Установить влияние режимов наплавки на геометрические характеристики наплавленного металла и зоны термического влияния и получить аналитические зависимости.

2. Установить влияние ширины наплавочной ленты на технологические характеристики наплавленного металла.

Для достижения этих целей применялись теоретические, экспериментальные и вычислительные методы исследований.

Для проведения экспериментов была скомпонована наплавочная установка: стол, сварочный автомат ТС-17 с доработанным токоподводящим механизмом, источник питания для наплавки ВДУ-1202. Параметры режима наплавки фиксировали с помощью встроенных в аппарат приборов измерения.

Для получения ленточного электрода необходимой ширины, при поддержке инженеров-конструкторов предприятия ОАО «Опытный завод “Электрон”» были сконструированы и изготовлены специальные роликовые ножницы. Данные ножницы исполнены в виде наладки на токарный станок типа 1К62 [4].

Площадь сечения наплавленного валика определяли измерением макрошлифов сваренных образцов с помощью программы «SolidWorks 2017». Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась в программах Statistica 6.1 и Microsoft Excel.

Степень достоверности полученных результатов подтверждается применением современных методов исследования, требуемой повторяемостью опытов, большим объемом экспериментального материала с использованием статистической обработки результатов. Положения и выводы по итогам работы не противоречат известным научным представлениям и результатам.

Описание эксперимента. Изучение справочной литературы позволило сделать заключение о том, что параметры режима наплавки зачастую носят рекомендательный характер. Геометрические параметры полученного сварного шва при заданных параметрах режима если и указаны, то в широком диапазоне значений. Отсутствуют математические зависимости, отображающие совместное влияние основных параметров режима наплавки на геометрию наплавленного валика. На практике перед наплавкой изделия всегда производится подбор оптимального режима путем изготовления большого количества контрольных образцов, что влечет большие затраты времени и материальных ресурсов. Подбор режимов наплавки по математическим моделям в условиях производства позволит снизить трудоемкость и затраты материала [5].

Для изучения влияния параметров режима наплавки под слоем флюса АН-26 спеченной лентой ЛС-09Х31Н8АМ2 на геометрические параметры наплавленного валика был проведен ряд опытов методом планирования многофакторного эксперимента.

Для проведения экспериментальной наплавки под флюсом использовали пластины 300x250x16 мм из высоколегированной стали аустенитного класса 12Х18Н10Т, сварочный флюс АН-26 по ГОСТ 9087-81, опытный образец наплавочной спеченной ленты ЛС-09Х31Н8АМ2 толщиной 2 мм и шириной 10 мм. Наплавка производилась сварочным автоматом ТС-17 с измененным токоподводом (токоподвод роликовый заводского исполнения (рис. 2) не позволял производить наплавку ленточным электродом). В качестве источника питания использовался сварочный выпрямитель марки ВДУ-1202 [5].

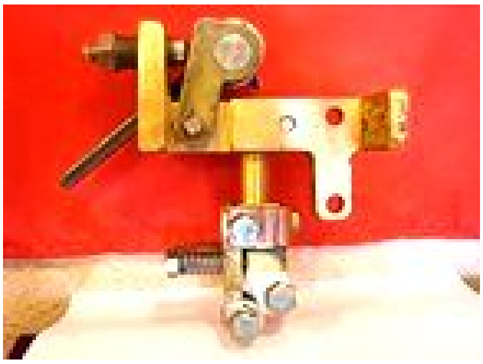

Рис. 2. Токоподвод роликовый сварочного трактора ТС-17

Приготовление макрошлифов осуществлялось в несколько этапов. Образцы для металлографических исследований обрабатывались в шлифовально-полировочной установке Leco с использованием «шкурок» разной зернистости, а после механической обработки образцы подвергались химическому травлению в растворе соляной кислоты. Для определения геометрических параметров макрошлифов использовался микроскоп STEMISV8.

Также был проведен экспресс-анализ химического состава наплавленного металла с помощью лабораторного спектрометра PMI-MASTER UVR, для чего было наплавлено и подготовлено три образца. Наплавка производилась на следующих режимах: сила сварочного тока — 830 А, напряжение на дуге — 30–32 В, скорость наплавки — 0,28 см/с. Толщина ленты 2 мм, ширина ленты 30 мм. Результаты анализа представлены в табл. 1 [6].

Таблица 1

Результаты анализа химического состава наплавленного металла

№ образца	Химический состав наплавленного металла, мас. %							
	C	Cr	Ni	Si	Mn	S	P	Mo
Эталон	не более 0,12	24,0–33,0	7,0–9,0	не более 1,2	0,6–1,3	не более 0,03	не более 0,03	3,0–4,5
1	0,09	26,0	7,1	0,67	1,1	+	+	3,4
2	0,11	29,0	8,5	0,8	0,7	+	+	4,1
3	0,8	30,	7,9	1,0	1,2	+	+	3,6

Примечание: «+» — содержание элемента не превышает допустимых значений.

В ходе проведения анализа химический состав полученных образцов сравнивался с требуемым по СТ ЦКБА 053-08, который указан в табл. 1 как эталон. Судя по приведенным данным, химический состав наплавленного металла лентой ЛС-09Х31Н8АМ2 удовлетворяет требованиям действующих стандартов. Разброс значений содержания в наплавленном металле химических элементов можно считать незначительным. Это обуславливается более равномерным распределением химических элементов по всей площади спеченной ленты, что, в свою очередь, является проблемой при изготовлении порошковых лент.

Условия эксперимента (верхний, нижний и основной уровни факторов) для наплавки под слоем флюса спеченной лентой толщиной 2 мм, шириной 10 мм приведены в табл. 2. На основе данной таблицы строилась матрица планирования полнофакторного эксперимента [6].

Таблица 2

Условия эксперимента

Параметры	Сила тока	Напряжение	Скорость наплавки
Параметр режима	X_1(I), А	X_2(U), В	X_3 (V), м/ч
Основной уровень	500	35	21
Верхний уровень	600	40	27
Нижний уровень	400	30	15
Интервал варьирования	100	5	6

В ходе работы было использовано пять пластин-образцов. Валики наплавлялись на пластины согласно следующему алгоритму: расстояние между валиками — 90 мм, расстояние от края пластины до первого и последнего валика — 30 мм, длина пластины — 300 мм, ширина пластины — 250 мм, толщина пластины — 18 мм. После наплавки 20 валиков образцы были разрезаны для приготовления макрошлифов, на которых определялись геометрические параметры наплавленных валиков (рис. 3).

Результаты замеров *B*, *H* и *b* представлены в табл. 3.

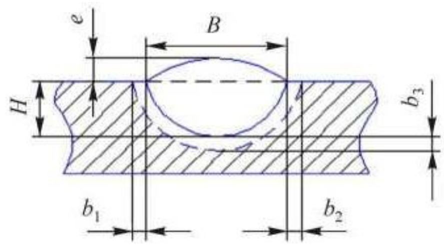

Рис. 3. Эскиз макрошлифа: *B* — ширина наплавленного валика, *мм*; *e* — высота усиления валика, *мм*; *H* — глубина проплавления, *мм*; b_1, b_2, b_3 — ширина ЗТВ

Таблица 3

Геометрические параметры наплавленных валиков

Номер режима	Ширина валика *B*, мм	Глубина проплавления *H*, мм	Высота усиления *e*, мм	Ширина ЗТВ *b*, мм
1	23,6	6,5	2,0	2,0
2	16,2	5,6	2,4	1,6
3	19,5	6,7	2,7	1,7
4	17,6	3,1	1,7	1,4

Номер режима	Ширина валика *B*, мм	Глубина проплавления *H*, мм	Высота усиления *e*, мм	Ширина ЗТВ *b*, мм
5	33,3	8,2	2,5	2,7
6	23,3	5,2	2,5	3,0
7	27,1	7,5	3,9	3,4
8	21,3	4,8	2,6	2,0
9	24,8	9,4	2,5	3,8
10	14,2	2,8	1,7	1,8
11	25,1	5,2	2,3	2,2
12	18,5	5,8	2,9	1,6
13	18,2	4,7	1,9	1,7
14	31,8	6,6	2,2	4,3
15	24,7	6,5	1,6	2,5
16	23,9	5	2,6	2,0
17	21,9	6,1	3,1	1,9
18	24,2	4,9	2,8	2,3
19	22,4	4,9	2	1,9
20	23,6	5,2	1,9	1,9

После выполнения всех замеров было построено уравнение регрессии, описывающее зависимость ширины наплавленного валика от основных параметров режима.

В общем виде уравнение регрессии 2-го порядка для трехфакторного эксперимента имеет вид:

$$\boldsymbol{y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2}; \qquad (1)$$

Получение уравнения регрессии можно разделить на три этапа:

первый — вычисление коэффициентов регрессии;

второй — оценка их статистической значимости;

третий — проверка адекватности полученного уравнения.

После проведения всех расчетов получили уравнение следующего вида (уравнение описывает совместное влияние параметров режима наплавки на ширину наплавленного валика):

$$\boldsymbol{B = 23,1 + 3,14I + 1,61U - 3,73V + 1,21IU - 0,81IV - 1,2I^2 + 0,75V^2}. \qquad (2)$$

На рис. 6–8 приведены графики зависимости ширины наплавленного валика от основных параметров наплавки.

Также было построено уравнение регрессии, описывающее зависимость глубины проплавления от основных параметров режима наплавки.

Общий вид линейного уравнения регрессии:

$$\boldsymbol{y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3}. \qquad (3)$$

Зависимость глубины проплавления от основных параметров режима наплавки описывается уравнением:

$$\boldsymbol{h = 5,87 + 1,23I + 043U - 0,48V} \qquad (4)$$

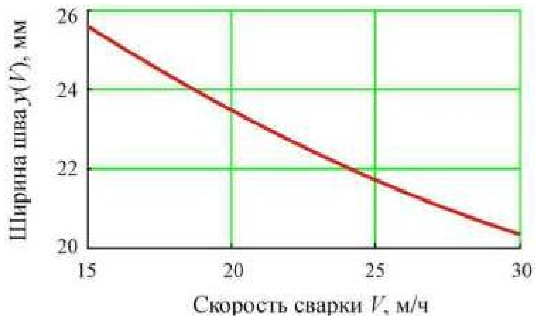

Рис. 4. Зависимость ширины шва от скорости наплавки (*I* = 500 А, *U* = *35* В)

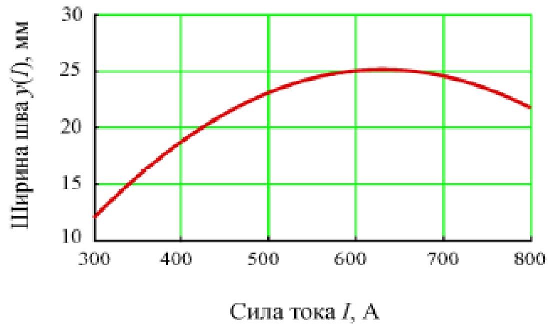

Рис. 5. Зависимость ширины шва от напряжения на дуге (*I* = 500 А, *V* = 21 м/ч)

Для режимов № 3, 7 и 17 провели расчеты ширины и глубины наплавленного валика.

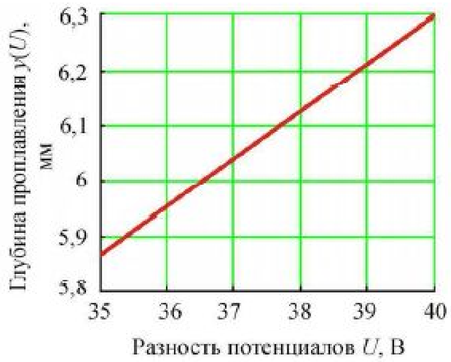

Рис. 6. Зависимость глубины проплавления от напряжения на дуге (*I* = 500 А, *V* = 21 м/ч)

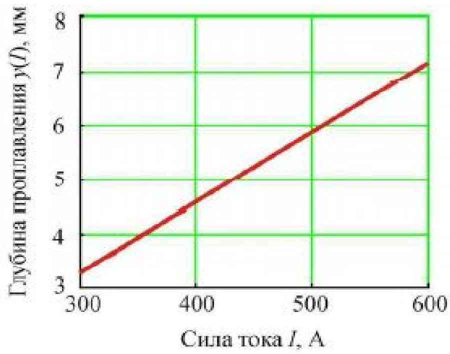

Рис. 7. Зависимость глубины проплавления от силы тока (*U* = 35 В, *V* = 21 м/ч)

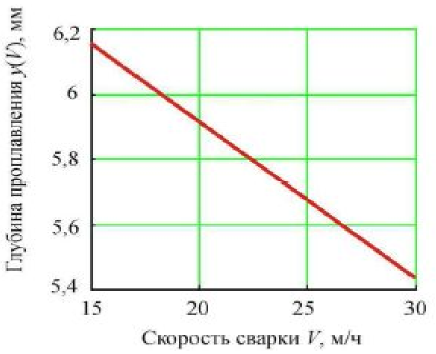

Рис. 8. Зависимость глубины проплавления от скорости наплавки (I = 500 А, U = 35 В)

Затем выполнялся рентгенографический анализ макрошлифа наплавленного валика (режим № 3).

В качестве главного исследуемого параметра была выбрана глубина проплавления основного металла. Это связано с тем, что на качество наплавленной поверхности существенно влияет доля участия основного металла, которая напрямую зависит от глубины проплавления. Таким образом, для сохранения требуемых свойств наплавленного слоя необходимо добиться минимального перемешивания основного и наплавленного металла.

При сравнении опытных данных с расчетными получен следующий результат (табл. 4).

Таблица 4

Геометрические параметры валика

Номер	Ширина шва, *мм*			Глубина проплавления, *мм*		
	расчетная	опытная	ошибка, %	расчетная	опытная	ошибка, %
3	21,4	19,5	8,9	6,4	6,7	4,5
7	25,9	27,1	4,4	7,0	7,5	6,7
17	23,1	21,9	5,1	5,8	6,1	5,2

На основе экспериментальных данных были построены математические модели, с помощью которых можно определить ширину, глубину проплавления, а также высоту усиления наплавленного валика с достаточной точностью. Разработанные модели являются адекватными. Ошибка в определении ширины валика не превышает 6,2 %, глубины проплавления — 5,6 %. Полученные зависимости могут быть использованы для расчета размеров валика при наплавке спеченной лентой ЛС-09Х31Н8АМ2 под слоем флюса АН-26 на высоколегированные стали аустенитного класса.

Кроме этого, была проведена исследовательская работа по определению влияния ширины наплавочной спеченной ленты на долю участия основного металла в наплавленном слое. Результаты данной работы представлены ниже [7].

В ходе изучения процесса автоматической наплавки электродной спеченной лентой ЛС-09Х31Н8АМ2 под слоем флюса АН-26 была поставлена задача: определить зависимость между шириной наплавочной ленты и долей основного металла в наплавленном.

Доля основного металла в наплавленном γ определяется отношением площади проплавления основного металла Fо к площади всего сечения шва, включающего и площадь сечения наплавленной части валика Fп, т. е.:

$$\gamma = \frac{Fo}{Fo + Fn} \qquad (5)$$

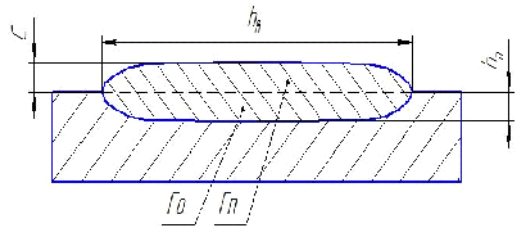

Рис. 9. Геометрические характеристики наплавленного валика

Для проведения эксперимента было изготовлено четыре образца наплавочной ленты толщиной 2 мм и шириной 10, 20, 30, 40 мм. Наплавку образцов производили на пластину толщиной 20 мм из стали марки 12Х18Н10Т. Сила сварочного тока составила 830 А, напряжение на дуге — 30–32 В, скорость наплавки — 0,28 см/с. Наплавочные работы производили с использованием сварочного трактора ТС-17 и источника питания ВДУ-1202.

В ходе проведения эксперимента выявлено, что с увеличением ширины ленты глубина проплавления уменьшается. При малой ширине ленты дуга горит на большей части ее ширины. Местный концентрированный ввод теплоты и высокое давление дуги обеспечивают глубокое проплавление основного металла. По мере увеличения ширины ленточного электрода образуется несколько сварочных дуг, поэтому глубина проплавления основного металла уменьшается. Результаты исследования представлены в табл. 5.

Таблица 5

Геометрические параметры наплавленных валиков

№ образца	Ширина наплавочной ленты, *мм*	Высота валика c, *мм*	Ширина валика $b_в$, *мм*	Глубина проплавления $h_п$, *мм*
1	10	7,2	21	3,1
2	20	6,4	29	2,6
3	30	5,7	41	1,0
4	40	4,5	54	1,2

Определена зависимость доли основного металла в наплавленном γ от ширины наплавочной ленты $b_л$ (рис. 10).

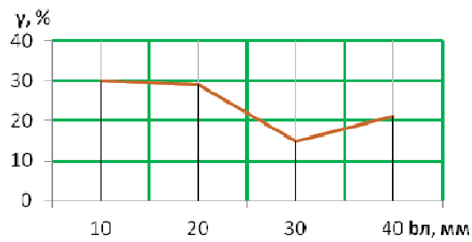

Рис. 10. Влияние ширины электродной ленты на долю участия основного металла в наплавленном: y — доля участия основного металла; $b_л$ — ширина ленты

Все данные, полученные в ходе исследования, справедливы для автоматической наплавки под слоем флюса АН-26 спеченной лентой ЛС-09Х31Н8АМ2.

Выявлена зависимость влияния ширины наплавочной ленты на геометрические параметры наплавленного валика. Опытным путем определено, что при использовании спеченной ленты ЛС-09Х31Н8АМ2 шириной от 30 до 40 мм снижается доля участия основного металла в наплавленном, что благоприятно сказывается на свойствах наплавки [8].

При проектировании технологии автоматической наплавки спеченной лентой ЛС-09Х31Н8АМ2 под слоем флюса АН-26 необходимо наличие методик, позволяющих рассчитывать параметры режимов наплавки, обеспечивающих снижение степени участия основного металла в наплавленном слое при сохранении требуемых характеристик наплавленного металла. Однако известные на сегодняшний день методики определения режимов наплавки ленточным электродом ограничены рамками отдельных типов наплавочных материалов и могут быть лишь частично применены для определения параметров наплавки спеченными лентами, что не в полной мере отражает ряд особенностей наплавки электродными спеченными лентами [9].

Заключение. Таким образом, к настоящему времени нет методик расчета режимов автоматической наплавки под слоем флюса спеченной лентой, учитывающих ее особенности и технологические параметры, оказывающие влияние на формирование наплавленного металла.

1. Исходя из графиков, приведенных на рис. 6–11, можно сделать следующее заключение: в области малых токов (300–600 А) с увеличением сварочного тока ширина валика увеличивается.

2. При токе свыше 600 А ширина наплавленного валика начинает уменьшаться.

3. С ростом напряжения на дуге наблюдается увеличение ширины шва, в случае со скоростью наплавки ее влияние оказывается противоположным.

Общий вывод. Представленные графические зависимости свидетельствуют о том, что наибольшее влияние на глубину проплавления оказывает величина сварочного тока. Напряжение и скорость сварки оказывают незначительное влияние. Однако определенная закономерность прослеживается — с ростом напряжения происходит увеличение проплавления, однако в случае со скоростью наплавки наблюдается обратно пропорциональная зависимость.

*Расчеты погрешностей***.** Разработанные модели являются адекватными. Ошибка в определении ширины валика не превышает 6,2 %, глубины проплавления — 5,6 %. Полученные зависимости могут быть использованы для расчета размеров валика при наплавке спеченной лентой ЛС-09Х31Н8АМ2 под слоем флюса АН-26 на высоколегированные стали аустенитного класса.

Литература

1. Кожин М.В., Кусков В.Н., Галинский А.А., Копысов Г.А. Применение спеченной ленты ЛС-09Х31Н8АМ2 в качестве антифрикционного материала подшипников насосов атомных реакторов и судовых установок // Нефтегазовый терминал: сб. науч. ст. междунар. науч.-технической конф. М., 2015. С. 108-113.

2. Галинский А.А., Кожин М.В., Копысов Г.А., Кусков В.Н. Влияние ширины наплавочной спеченной ленты лс-09Х31Н8АМ2 на геометрические параметры наплавленного валика // Сб. науч. тр. 42-й междунар. науч.-технической конф. молодых ученых, аспирантов и студентов. М., 2015. Т. 2. С. 157-160.

3. Галинский А.А., Копысов Г.А., Кусков В.Н. Ремонт торцевых уплотнений насосов нм-10000 с использованием порошковой ленты // Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса: сб. материалов V регион. науч.-практической конф. обучающихся, аспирантов и ученых. 2015. С. 261-263.

4. Галинский А.А. Оборудование диффузионной сварки с различными видами нагрева // Проблема функционирования систем транспорта: материалы всерос. науч.-практической конф. студентов, аспирантов и молод. учёных. 2012. С. 120-123.

5. Соколов Г.Н., Лысак В.И. Наплавка износостойких сплавов на прессовые штампы и инструмент для горячего деформирования сталей. Волгоград: ВолгГТУ, 2005. 284 с.

6. Багров В.А., Кальянов В.Н. Влияние способа износостойкой наплавки на распределение упрочняющей фазы в наплавленном металле // автоматическая сварка. 2000. № 11. С. 44-47.

7. Белый А.И., Жудра А.П., Дзыкович В.И. Влияние легирующих элементов на структуру композиционного сплава на основе карбидов вольфрама // Автоматическая сварка. 2002. № 11. С. 18-11.

8. Чернышов Т.К., Чуйков М.О., Ставышенко Р.С., Чуйков С.С. Исследование влияния температуры на внутренние микронапряжения в сменных многогранных пластинах из твердых инструментальных сплавов группы // Изв. высш. учеб. заведений. Нефть и газ. 2014. № 5. С. 103-106.

9. Попов С.Н., Антонюк А.Д. Оптимизация износостойкого наплавочного сплава системы fe-c-ti-b для условий изнашивания закрепленным абразивом // новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. 2009. № 1. С. 93-99.

10. Жудра А.П., Белый А.И. Новые композиционные сплавы и результаты исследования их свойств // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавленный металл: сб. науч. тр. Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1977. С. 151-157.

11. Рябцев И.А., Кондратьев И.А., Васильев В.Г. Износостойкость наплавленного металла системы легирования fe-c-cr-ti-mo // Автоматическая сварка. 2002. № 4. С. 48-51.

12. Мамадалиев Р.А., Кусков В.Н., Земенков Ю.Д., Попова А.А. Влияние высококонцентрованных источников нагрева на переход легирующих элементов в наплавленный металл // Актуальные проблемы современного машиностроения: сб. тр. Междунар. науч.-практической конф. Юрг. технол. ин-т. Юрга, 2014. С. 217-220.

13. Кусков В.Н., Мамадалиев Р.А., Обухов А.Г. Переход легирующих элементов в наплавленный металл при сварке стали 12Х18Н10Т // Фундаментальные исследования. 2013. № 11-9. С. 1794-1797.

14. Коленчин Н.Ф., Кусков В.Н Увеличение срока эксплуатации нефтепромыслового оборудования за счет замены материала деталей // Изв. Самар. науч. центра Рос. акад. наук. 2011. Т. 13, № 1-2. С. 456-458.

15. Бабаханов Т.А., Кусков В.Н. Восстановление и упрочнение поверхности деталей нефтегазового оборудования // Новые технологии - нефтегазовому региону: сб. материалов Всерос. науч.-практической конф. студентов, аспирантов и молод. ученых. М., 2010. С. 55-58.

References

1. Kozhin M.V., Kuskov V.N., Galinskii A.A., Kopysov G.A. Application of sintered tape LS-09X31H8AM2 as antifriction material of bearings of pumps of nuclear reactors and ship installations // Neftegazovyi terminal: sb. nauch. st. mezhdunar. nauch.-tekhnicheskoi konf. M., 2015. P. 108-113.

2. Galinskii A.A., Kozhin M.V., Kopysov G.A., Kuskov V.N. Influence of the width of the surfaced sintered tape LS-09X31H8AM2 on the geometrical parameters of the weld bead // Sb. nauch. tr. 42-i mezhdunar. nauch.-tekhnicheskoi konf. molodykh uchenykh, aspirantov i studentov. M., 2015. T. 2. P. 157-160.

3. Galinskii A.A., Kopysov G.A., Kuskov V.N. Repair of face seals of pumps nm-10000 with the use of powder tape // Opyt, aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya neftegazovogo kompleksa: sb. materialov V region. nauch.-prakticheskoi konf. obuchayushchikhsya, aspirantov i uchenykh. 2015. P. 261-263.

4. Galinskii A.A. Diffusion welding equipment with various types of heating // Problema funktsionirovaniya sistem transporta: materialy vseros. nauch.-prakticheskoi konf. studentov, aspirantov i molod. uchenykh. 2012. P. 120-123.

5. Sokolov G.N., Lysak V.I. Surfacing of wear-resistant alloys on pressing dies and tools for hot deformation of steels. Volgograd: VolgGTU, 2005. 284 p.

6. Bagrov V.A., Kal'yanov V.N. Effect of the wear-resistant surfacing method on the distribution of the strengthening phase in the deposited metal // *The PATON Welding Journal*. 2000. № 11. P. 44-47.

7. Belyi A.I., Zhudra A.P., Dzykovich V.I. The influence of alloying elements on the structure of a composite alloy based of tungsten carbides // *The PATON Welding Journal*. 2002. № 11. P. 18-11.

8. Chernyshov T.K., Chuikov M.O., Stavyshenko R.S., Chuikov S.S. Temperature effects on internal microstrain in smp from hard tooling alloys of TC group // Higher Educational Institutions News Neft' i Gas. 2014. № 5. P. 103-106.

9. Popov S.N., Antonyuk A.D. Optimization of the wear-resistant surfacing alloy of the fe-c-ti-b system for wear conditions with a fixed abrasive // New materials and technologies in metallurgy and machine building. 2009. № 1. P. 93-99.

10. Zhudra A.P., Belyi A.I. New composite alloys and the results of research of their properties // Teoreticheskie i tekhnologicheskie osnovy naplavki. Naplavlennyi metall: sb. nauch. tr. Kiev: IES im. E.O. Patona, 1977. P. 151-157.

11. Ryabtsev I.A., Kondrat'ev I.A., Vasil'ev V.G. Wear resistance of the weld metal of the doping system fe-c-cr-ti-mo // *The PATON Welding Journal*. 2002. № 4. P. 48-51.

12. Mamadaliev R.A., Kuskov V.N., Zemenkov Yu.D., Popova A.A. The influence of highly concentrated heat sources on the transition of the alloying elements in the weld metal // Aktual'nye problemy sovremennogo mashinostroeniya: sb. tr. Mezhdunar. nauch.-prakticheskoi konf. Yurg. tekhnol. in-t. Yurga, 2014. P. 217-220.

13. Kuskov V.N., Mamadaliev R.A., Obukhov A.G. The transition of the alloying elements in the weld metal when welding steel 12X18H10T // Fundamental research. 2013. № 11-9. P. 1794-1797.

14. Kolenchin N.F., Kuskov V.N. The increase in useful life of oilfield equipment due to the replacement of material parts // Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2011. T. 13, № 1-2. P. 456-458.

15. Babakhanov T.A., Kuskov V.N. Recovery and hardening of the workpiece surface oil and gas equipment // Novye tekhnologii - neftegazovomu regionu: sb. materialov Vseros. nauch.-prakticheskoi konf. studentov, aspirantov i molod. uchenykh. M., 2010. P. 55-58.