

УДК 621.791.92

©Лаврова Е.В.¹, Иванов В.П.², Носовский Б.И.³

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЯЕМОГО ПЕРЕНОСА
ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА ПРИ НАПЛАВКЕ ПОД ФЛЮСОМ
ЛЕНТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ**

Разработана математическая модель формирования капель электродного металла при наплавке под флюсом ленточным электродом с принудительным механическим переносом электродного жидкого металла, определена аналитическая зависимость между параметрами движения ленточного электрода как одного из способов управляемого принудительного воздействия на процесс переноса электродного металла.

Ключевые слова: наплавка, математическая модель, принудительный механический перенос, ленточный электрод, капля, качество.

Лаврова О.В., Иванов В.П., Носовський Б.І. Математична модель керованого перенесення електродного металу при наплавленні під флюсом стрічковим електродом. Розроблена математична модель формування крапель електродного металу при наплавленні під флюсом стрічковим електродом з примусовим механічним перенесенням електродного рідкого металу, визначена аналітична залежність між параметрами руху стрічкового електроду як одного із способів керованої примусової дії на процес перенесення електродного металу.

Ключові слова: наплавлення, математична модель, примусове механічне перенесення, стрічковий електрод, крапля, якість.

O.V. Lavrova, V.P. Ivanov, B.I. Nosovskiy. Mathematical model of the regulated transfer of electrode metal at submerged surface deposition with a band electrode. Developed was the mathematical model of forming of drops of electrode metal is developed at submerged surface deposition with a band electrode with the forced mechanical transfer of electrode liquid metal, analytical dependence was determined between the parameters of motion of band electrode as one of methods of the guided forced influence on the process of transfer of electrode metal.

Keywords: surface deposition, mathematical model, forced mechanical transfer, welding pool, drop, quality.

Постановка проблемы. Проблема формообразования сварочной ванны при наплавке под флюсом ленточным электродом зависит от распределения тепловой энергии по ширине шва, что оказывает влияние на качество наплавленных изделий.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросам разработки математической модели формирования капель электродного металла посвящено большое количество исследований [1 – 5].

Установлено, что с помощью математической модели можно определить оптимальные параметры плавления электродного металла [1].

Известные способы разработки математической модели формирования капель электродного металла сложны в использовании и посвящены в основном способам сварки и наплавки проволочным электродом, а также наплавке ленточным электродом без принудительных колебаний.

Для исследования процесса переноса металла авторами работы [1965г.] изучены температурные поля в электродах, найдены выражения для сил поверхностного натяжения и электродинамических сил, показана возможность обеспечения управляемого мелкокапельного переноса

¹ аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

са металла путем принудительного импульсного переноса электродного металла.

Управление переносом электродного жидкого металла при наплавке под флюсом ленточным электродом является одной из непосредственных проблем современного сварочного оборудования.

Для определения оптимальных параметров плавления электродного металла необходимо определить их зависимость от времени образования капли электродного металла. Учитывая сложность экспериментального определения параметров каплеобразования целесообразней получить эти условия на основе аналитических зависимостей.

Как известно из работ [1 – 3] все существующие способы построения математического описания процесса переноса электродного металла с принудительным (импульсным) переносом жидкого металла, посвящены сварке (наплавке) проволочным электродом, поэтому возникает необходимость в разработке математического описания процесса плавления ленточного электрода при наплавке под флюсом с принудительным переносом жидкого металла.

Цель статьи – разработка математической модели процесса переноса электродного металла при наплавке под флюсом ленточным электродом с принудительным механическим переносом жидкого металла.

Изложение основного материала. Поскольку способы принудительного переноса по сварке ленточным электродом не разработаны, мы рассматриваем результаты исследований по проволочному электроду, которые широко освещены в литературе, что и принимается за основу данной исследовательской работы.

Разработано приспособление для принудительного переноса электродного жидкого металла при наплавке под флюсом ленточным электродом, в котором за счет изгиба электрода обеспечивается преобразование поперечных колебаний электрода в продольные [4, 5].

Существенное влияние на формирование сварного шва и устойчивость дугового разряда оказывает характер переноса металла.

В работе [3] приведен анализ сил, действующих на расплавленный металл на конце электрода, и показана возможность управления процессом переноса металла.

Металл капли на торце электрода во время горения дуги находится под действием сил, основными из которых являются поверхностное натяжение, электродинамическая сила, создаваемая сварочным током, сила тяжести, реактивная сила, вызываемая давлением газовых потоков и паров металла, давление потоков заряженных частиц.

Полученная зависимость позволяет приближенно описать процесс образования и переноса капель жидкого металла с конца электрода [3]:

$$T(x, t) = T_{пл} e^{-\frac{\eta_3 UI}{\lambda ST_{пл}} x} e^{\frac{\eta_3 UI}{\lambda ST_{пл}} (\frac{\eta_3 UI}{\lambda ST_{пл}} a - V) t} \quad (1)$$

где $T(x, t)$ – температура электрода в точке x в момент времени t ;

λ – коэффициент теплопроводности материала электрода;

a – коэффициент температуропроводности;

$T_{пл}$ – температура плавления;

$\eta=0,2$;

S – сечение электрода;

V – скорость подачи электрода.

В начальный момент, когда температура расплавленного металла невелика, сила поверхностного натяжения больше электродинамической и удерживает металл на торце электрода, шейка не образуется.

В соответствии с уравнением (1) температура $T(x, t)$ расплавленного металла на торце электрода повышается, что вызывает уменьшение силы поверхностного натяжения.

На торце плавящегося электрода накапливается жидкий металл. Радиус кривизны жидкого металла непрерывно изменяется. Известно, что избыточное давление в жидкости, создаваемое поверхностным натяжением, максимально при минимальном радиусе кривизны. Т.е. максимальное давление, обусловленное силами поверхностного натяжения, возникает в тот момент, когда жидкая часть металла оканчивается полусферой.

После того, как достигается температура, удовлетворяющая неравенству (2) электродинамическая сила преодолевает силу поверхностного натяжения, образуется шейка, расплавленный металл выдавливается в каплю и отделяется с торца электрода. Однако длительность пребывания расплавленного металла на торце электрода до выполнения условия (2):

$$\frac{\mu_0 I^2}{4\pi} \ln \frac{R_{cm}}{R_s} \geq \frac{4,2(T_{кр} - T)}{\left(M \frac{1}{\gamma}\right)^{2/3} R_{кр}}, \quad (2)$$

где μ_0 – абсолютная магнитная проницаемость воздуха;

R_{cm} – радиус столба дуги.

приводит к значительному перегреву металла, что в ряде случаев нежелательно.

В процессе плавления ленточного электрода капля перемещается вместе с дугой и накапливает тепловую энергию, перенося ее в сварочную ванну в момент короткого замыкания.

Если электродный жидкий металл переходит струей, то капля достигает дна сварочной ванны и интенсивно передает тепловую энергию в этом месте. Если капля при ударе о поверхность ванны растекается по ширине ванны, то тепловая энергия распределяется более равномерно.

Для исключения указанных недостатков в данной работе предлагается, изогнуть ленточный электрод и с помощью приводных роликов, вращающихся с постоянной скоростью, и подающего устройства подавать в зону наплавки, перед подачей в зону наплавки ленточный электрод изгибают под углом 110 – 120° относительно оси перпендикулярной вертикальной оси подачи ленточного электрода, а подачу торца ленточного электрода в зону наплавки осуществляют механическими импульсными движениями с частотой 40 – 50 колебаний в секунду (табл. 1) [4].

Таблица

Влияние величины изгиба и количества колебаний ленточного электрода на качество наплавленной поверхности

Угол изгиба ленточного электрода относительно оси подачи, °	Продольное перемещение, мм	Поперечное перемещение, мм	Характер распределения тепловой энергии	Количество колебаний торца ленточного электрода в секунду
90	0 – 0,1	0 – 0,3	Большая неравномерность распределения тепловой энергии и низкая длительности коротких замыканий, образуются большие дефекты	20 – 30
110	0,4	0,6	Меньшая неравномерность распределения тепловой энергии и более высокая длительность коротких замыканий, меньшие дефекты	40
120	1,2	4,8	Выравнивание тепловой энергии и отсутствие дефектов	50
130	1,4-1,6	4,9	Большое количество длительных коротких замыканий, дефекты больших размеров	60
150	1,8	5,0	Еще большее количество длительных коротких замыканий, что увеличивает количество дефектов.	70

Таким образом, частота колебаний торца ленточного электрода зависит от:

- 1) величины момента (в данном случае плечом считается межэксцентриковое расстояние);
- 2) угла изгиба ленточного электрода относительно оси подачи.

Рассмотрен конкретный случай наплавки под флюсом ленточным электродом с принудительным переносом жидкого металла. Делаем допущение, что ленточный электрод оплавляется последовательно слой за слоем, капля жидкого металла перемещается по торцу ленточного электрода от точки 1 до 2, затем от точки 2 до 3 (рис. 1). Поэтому при расчете температурного поля вылета электрода рассматриваем сечение А. Исследована наплавка ленточными электродами Св08А и X20Н10Т.

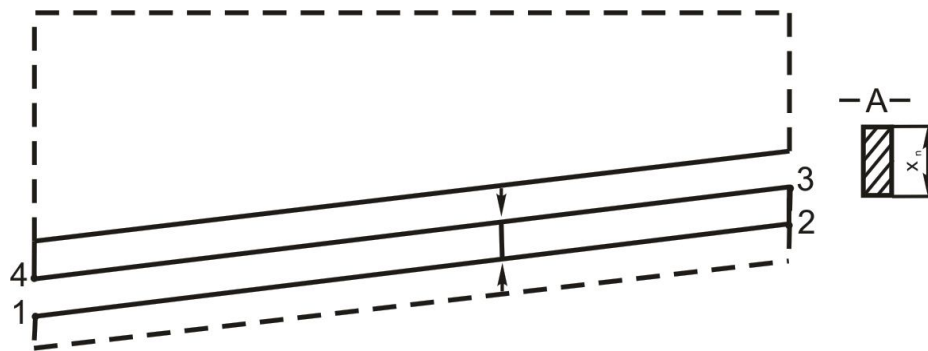


Рис. 1 – Характер перемещения капли жидкого металла при наплавке под флюсом ленточным электродом с принудительным переносом жидкого металла

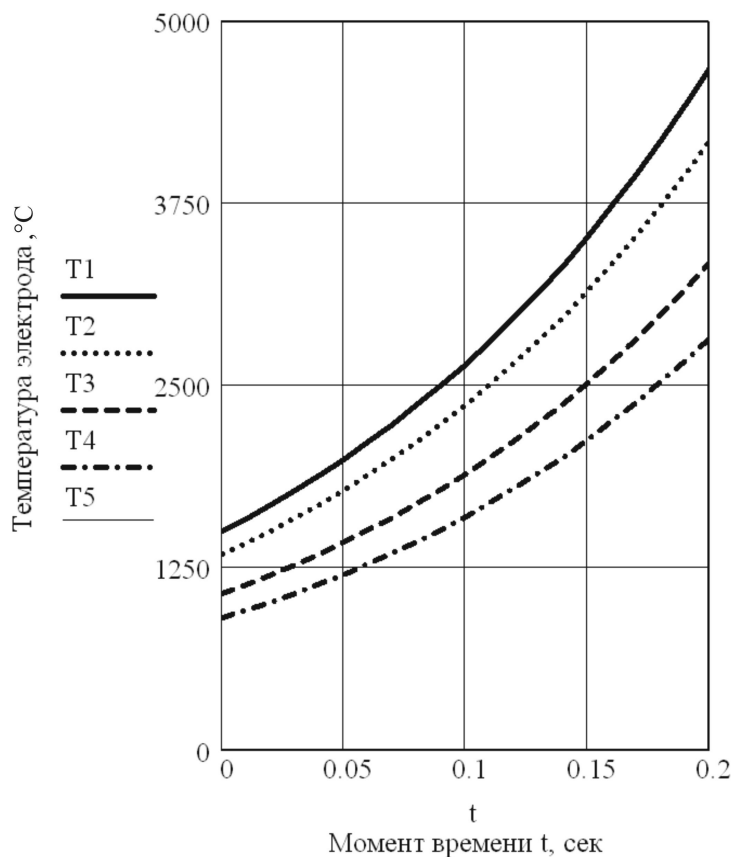


Рис. 2 – Температурное поле вылета ленточного электрода Св08А при: Т1 – $x=0$ см, Т2 – $x=0,01$ см, Т3 – $x=0,03$ см, Т4 – $x=0,045$ см, Т5 – $x=0,05$ см

Для сечения А будем использовать следующие параметры: $I_{св}=42A$, $U_d=18V$.

Определяем условия получения управляемого механического переноса с частотой 50 капель в секунду.

По выражению (1) рассчитываем температурное поле в части вылета электрода, прилегающей к торцу. Из работы [6] выбираем теплофизические постоянные для исследуемой области температур:

$\lambda=0,09$ кал/см*сек*°C (Св08А),
 $\lambda=0,06$ кал/см*сек*°C (X18Н10Т);
 $a=0,09$ см²/сек (Св08А), $a=0,07$ см²/сек (X18Н10Т);
 $T_{пл}=1500^{\circ}C$;
 $\eta_s=0,2$.

Результаты расчета получаем в виде графика зависимости температуры электрода в точке x в момент времени t при различных значениях x (рис. 2), (рис. 3).

Из рис. 2 и рис. 3 видно, что не имеет смысла рассматривать характер распределения температурного поля после 0,1 сек, т.к. температура электрода в точке x в момент времени 0,12

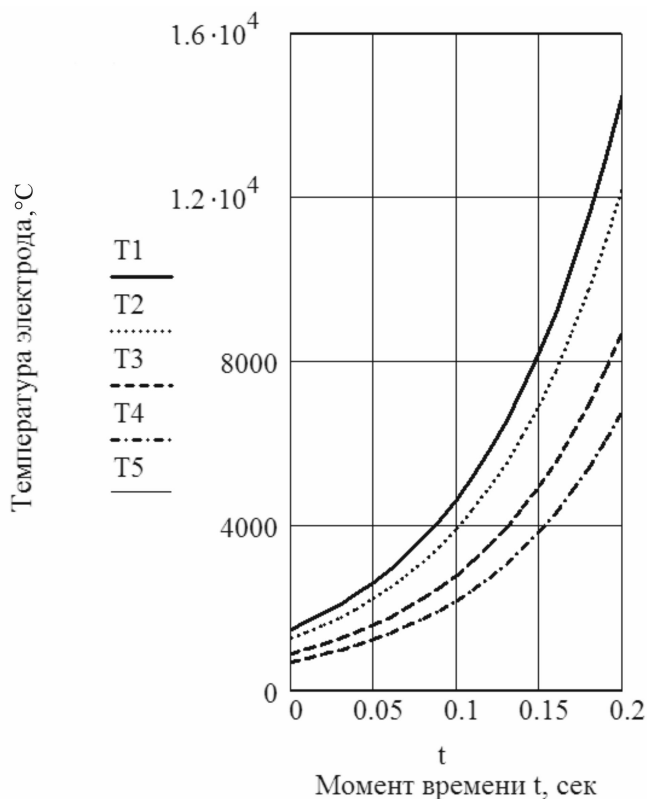


Рис. 3 – Температурное поле вылета ленточного электрода X18Ni10T при: T1 – $x=0$ см, T2 – $x=0,01$ см, T3 – $x=0,03$ см, T4 – $x=0,045$ см, T5 – $x=0,05$ см

2. На основании полученных результатов определена зависимость температуры ленточного электрода в определенной точке в момент времени.
3. Полученное выражение позволяет определить оптимальное соотношение к механизму принудительного переноса электродного металла при наплавке под флюсом ленточным электродом.
4. В дальнейшем планируется апробация полученных результатов в промышленных условиях.

Список использованных источников:

1. Лебедев В. А. Математическая модель формирования капель электродного металла при механизированной дуговой сварке с импульсной подачей электродной проволоки / В.А. Лебедев // Сварочное производство. – 2008. – № 7. – С. 10 – 14.
2. Воропай Н. М. Параметры режимов и технологические возможности дуговой сварки с импульсной подачей электродной и присадочной проволоки / Н.М. Воропай // Автоматическая сварка. – 1996. – №10. – С.3–9.
3. Патон Б.Е. Управление переносом металла при дуговой сварке плавящимся электродом / Б.Е. Патон, П.П. Шейко // Автоматическая сварка. – 1965. – № 5. – С. 1 – 6.
4. Патент 44885 Украина. МПК В23К 9/12 Спосіб широкошарового наплавлення під флюсом стрічковим електродом: Пат. 44885 Украина. МПК В23К 9/12/ Е.В. Лаврова, Б.И. Носовский; ПГТУ – № у 2008 10823; Заявл. 01.09.2008; Опубл. 26.10.2009, Бюл. № 20.
5. Носовский Б. И. Разработка методики выбора параметров наплавки ленточным электродом с принудительным механическим переносом жидкого металла / Б.И. Носовский, Е. В. Лаврова // Автоматическая сварка. – 2011. – № 3. – С. 30 – 33.

Bibliography:

1. Lebedev V. A. Mathematical model of electrode metal drops forming at the mechanized arc welding with the impulsive serve of strip electrode/ V.A. Lebedev // Welding production. - 2008. - № 7. -

сек достигает более 2000 °С для Св08А и более 4000 °С для ленточного электрода X18Ni10T. Температура ленточного электрода X18Ni10T практически в 3 раза больше температуры электрода Св08А.

Таким образом, для достижения равномерного распределения тепловой энергии по ширине наплавленного валика при наплавке под флюсом ленточным электродом с принудительным механическим переносом жидкого металла, необходимо определить частоту колебаний торца ленточного электрода для заданных размеров капли. В результате чего значительно снижается вероятность образования дефектов (пор, несплавлений и т.д.), а следовательно, повышается качество

Выводы

1. В результате расчета получено распределение температуры в вылете ленточного электрода в определенный момент времени, из которого видно, что для проволок Св08А и X18Ni10T в процессе плавления ленточного электрода температурное поле вылета ленточного электрода уменьшается.

P. 10 - 14. (Rus.)

2. Voropay N. M. Mode parameters and technological possibilities of the arc welding with the impulsive serve of electrode and filling wire / N.M. Voropay // Automatic welding. - 1996. - №10. - P. 3-9. (Rus.)

3. Paton B. E. Management by the transfer of metal at the arc welding by a flexible electrode / B.E. Paton, P.P. Sheyko // Automatic welding. - 1965. - № 5. - P. 1 - 6. (Rus.)

4. Patent 44885 Ukraine. By the MPK V23K 9/12 Method of wide deposition with the submerged arc strip electrode: Patent 44885 Ukraine. MPK V23K 9/12/ E. V. Lavrova, B. I. Nosovskiy; PGТУ - № u 2008 10823; Zayavl. 01.09.2008; Opubl. 26.10.2009, Byul. № 20. (Ukr.)

5. Nosovskiy B. I. Developing of methods of deposition parameters choice by a strip electrode with the forced mechanical transfer of liquid metal / B. I. Nosovskiy, E. V. Lavrova // Automatic welding. - 2011. - № 3. - P. 30 - 33. (Rus.)

Рецензент: В. И. Щетинина
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 23.11.2011

УДК 621.791.075.8

Зусин В.Я.*

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ С АЛЮМИНИЕВОЙ ОБОЛОЧКОЙ

Рассмотрена структура металла, наплавленного порошковой проволокой с алюминиевой оболочкой. Показан характер измельчения структуры при введении в состав шихты порошковой проволоки K_2TiF_6 и K_2ZrF_6 . Предложены оптимальные концентрации модификаторов, обеспечивающие мелкозернистую структуру наплавленного металла с высокими эксплуатационными характеристиками.

Ключевые слова: порошковая проволока, модификаторы, структура наплавки, алюминиевая оболочка.

Зусин В.Я. Дослідження модифікування металу, наплавленого порошковим дротом з алюмінієвою оболонкою. Розглянуто структуру металу, наплавленого порошковим дротом з алюмінієвою оболонкою. Показано характер подрібнення структури при введенні до складу шихти порошкового дроту. Запропоновано оптимальні концентрації модифікаторів, які забезпечують дрібнозернисту структуру наплавленого металу з високими експлуатаційними характеристиками.

Ключові слова: порошковий дріт, модифікатори, структура наплавлення, алюмінієва оболонка.

V.Y. Zusin. Investigation of metal modification, deposited with powder wire with aluminums shell. In the article the structure of metal, deposited with powder wire with aluminums shell was investigated. The character of making the structure smaller at introduction of K_2TiF_6 into the charge by means of powder wire was shown/ suggested were optimal concentrations of modifiers, ensuring fine grain structure of deposited metal with high exploitation characteristics.

Keywords: powder wire, modifiers, structure of deposition, aluminums shell.

Постановка проблемы. Металл при дуговой наплавке характеризуется столбчатой дендритной структурой первичной кристаллизации и пластическими свойствами [1, 6, 7]. Ликвиди-

* д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь