

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Симаков Г.М., Марченко М.А. Процессы пуска и торможения асинхронного электропривода с частотным управлением при вентиляторной нагрузке // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. – № 2. – С. 383–387.
2. Щербаков В.С., Беляков В.Е. Система управления электропривода для автокрана «КС-4562» // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2010. – № 1. – С. 175–180.
3. Краснов И.Ю., Ланграф С.В., Черемисин В.Н. Бездатчиковые системы электропривода для лифтов // Itech – журнал интеллектуальных технологий. – 2010. – № 17. – С. 12–20.
4. Кетков Ю., Кетков А., Шульц М. MATLAB 7 – программирование, численные методы. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 737 с.
5. Куксин А.В., Романов А.В. Математическая модель адаптивно-векторной системы управления бездатчикового асинхронного электропривода // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2009. – № 2. – С. 38–43.

Поступила 28.04.2011 г.

УДК 621.791.011

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ПОКРЫТОГО ЭЛЕКТРОДА НА СКОРОСТЬ ЕГО ПЛАВЛЕНИЯ ПРИ СВАРКЕ МОДУЛИРОВАННЫМ ТОКОМ

А.Ф. Князьков, К.И. Деменцев, А.О. Лукьянчикова

Томский политехнический университет
E-mail: demkiril@tpu.ru

Произведен численный расчет температуры нагрева покрытого электрода при сварке модулированным током. Показано, что основной рост температуры электрода при сварке модулированным током происходит в интервалах протекания основных импульсов.

Ключевые слова:

Покрытый электрод, ручная дуговая сварка, температура нагрева.

Key words:

Coated electrode, Manual Metal Arc, heating temperature.

Сварка модулированным током (СМТ) – процесс сварки электродами с покрытием, заключающийся в изменении по определенному временному закону сварочного тока в виде периодически повторяющихся импульсов. В работе [1] показано, что СМТ характеризуется относительно большим количеством параметров режима таких как: амплитудное значение тока основных I_u и дополнительных импульсов $I_{д.и.}$, ток паузы I_n , длительность основного импульса $t_{осн.и.}$, длительность основной паузы $t_{осн.п.}$, длительность дополнительных импульсов $t_{д.и.}$ и их частота следования в интервале протекания основной паузы $f_{д.и.}$. Одной из основных проблем при сварке данным способом является обоснованное определение и назначение параметров режима.

В работе [1] приведен метод по определению скорости плавления покрытых электродов при СМТ. Показано, что мощность, идущая на плавление покрытого электрода, имеет относительно большее значение по сравнению с мощностью при ручной дуговой сварке (РДС) и зависит от параметров импульсов, теплофизических коэффициентов материала стержня и покрытия, а также температуры нагрева покрытого электрода. Однако в пределах работы [1] температура нагрева покрытого электрода задается численно и не изменяется с течением времени протекания процесса сварки.

В работе [2] приведен расчет нагрева покрытого электрода от протекающего по нему постоянного сварочного тока. Показано, что с увеличением времени протекания процесса ручной дуговой сварки (РДС) скорость и температура нагрева покрытых электродов увеличивается. С ростом температуры нагрева электрода изменяются входящие в расчетные зависимости: удельное сопротивление электродной проволоки ρ , объемная теплоемкость электродной проволоки $c_1 \cdot \gamma_1$, объемная теплоемкость покрытия $c_2 \cdot \gamma_2$, а также коэффициент теплоотдачи поверхности покрытия окружающему воздуху α_3 . Согласно [2] численный расчет нагрева электрода протекающим током заключается в том, что всю разность температур от начальной до конечной делят на небольшие промежутки температуры ΔT (не более 50...100 °С); для каждого из них выбирают свои осредненные значения $\alpha_{3,ср}$, $(c_1 \cdot \gamma_1)_{ср}$, $(c_2 \cdot \gamma_2)_{ср}$ и рассчитывают среднюю скорость $\Delta T / \Delta t$ в данном промежутке, а по скорости нагрева определяют время Δt , необходимое для заданного повышения ΔT температуры электрода. Однако в наиболее интересном для практики нагрева электродов интервале температур 0...800 °С коэффициенты теплофизических свойств покрытых электродов можно представить выражениями, зависящими от постоянных (A, D_1, m) , определяемых из опыта,

а расчет температуры нагрева производить по выражению [2]:

$$\frac{D_1 + T}{D_2 - T} = \frac{D_1 + T_0}{D_2 - T_0} \exp(nt), \quad (1)$$

где

$$D_2 = T_{np} = md_1 j^2 + T_0; \quad (2)$$

$$n = \frac{A}{md_1} \left(\frac{T_{np}}{D_1} + 1 \right); \quad (3)$$

T_{np} – предельная температура нагрева, наступающая при бесконечно длительном действии тока, °С; j – плотность тока, А/мм²; d_1 – диаметр электродного стержня, мм; T_0 – начальная температура электрода, °С.

Совместное решение (1)–(3) относительно температуры нагрева электрода T дает выражение:

$$T = \frac{\left((md_1 j_i^2 + T_{0,i}) \frac{D_1 + T_{0,i}}{md_1 j_i^2} \times \exp \left[\left(\frac{A}{md_1} \left(\frac{md_1 j_i^2 + T_{0,i}}{D_1} + 1 \right) \right) t_i \right] - D_1 \right)}{\frac{D_1 + T_{0,i}}{md_1 j_i^2} \exp \left[\left(\frac{A}{md_1} \left(\frac{md_1 j_i^2 + T_{0,i}}{D_1} + 1 \right) \right) t_i \right] + 1}.$$

где $j_i = j_u; j_n$ – плотность тока во время протекания основных и дополнительных импульсов, а также пауз, А/мм²; $t_i = t_u; t_n$ – длительность основного, либо дополнительного импульсов, а также длительность паузы между импульсами, с; $T_{0,i} = T_{0,u}; T_{0,n}$ – температура нагрева электрода в моменты окончания импульса и паузы, °С.

При сварке модулированным током способами [3, 4] нагрев покрытого электрода в пределах одного цикла происходит под действием периодически изменяющегося тока. Вследствие относительно большей длительности по сравнению с длительностью дополнительных импульсов, а также относительно большего амплитудного значения тока по сравнению с током паузы, можно предположить, что рост температуры нагрева электрода происходит во время протекания основных импульсов. Поэтому расчет температуры нагрева в интервалы протекания основных и дополнительных импульсов необходимо производить с учетом соответствующих плотностей тока и их продолжительности.

На рис. 1 представлен численный расчет температуры нагрева покрытого электрода от протекающего по нему модулированного тока.

После протекания основного импульса, вследствие неравномерности нагрева электрода дугой и протекающим током, следует период выравнивания температур по длине стержня [5]. В данном интервале времени происходит остывание электрода. Однако вследствие краткосрочности протекания паузы между дополнительными импульсами ($t_{d,m(\max)} \approx 0,0195$ с) данным периодом можно пренебречь. Численный расчет показал, что в пределах

каждого цикла поддержание температуры нагрева электрода, достигнутой во время основного импульса, происходит за счет протекания тока паузы и дополнительных импульсов. При относительно большом амплитудном значении тока основных и дополнительных импульсов, а также их длительности, нагрев покрытых электродов растет значительно интенсивнее, что вносит дополнительный вклад в увеличение производительности их плавления.

На рис. 2 показано, что с увеличением количества циклов процесса СМТ происходит нелинейный рост температуры нагрева покрытых электродов.

Согласно [1], с учетом температуры нагрева покрытых электродов, произведена расчетная оценка и экспериментальная проверка их скоростей плавления. Скорость плавления покрытых электродов определялась по формуле:

$$V = \frac{0,48 P_{u,cp}}{C(T_{\kappa} - T) + \lambda_{\mu}},$$

где $P_{u,cp}$ – среднее за цикл процесса СМТ значение мощности, идущей на плавление покрытого электрода; для параметров режима, рис. 1, б, $P_{u,cp} = 921,7$ Дж/с; для РДС: $P_{u,cp} = 671$ Дж/с; C – средняя теплоемкость электродного стержня; $C = 0,84$ Дж/(гК), [6, 7]; λ_{μ} – средняя скрытая теплота плавления электродного стержня; $\lambda_{\mu} = 272$ Дж/г, [7]; T_{κ} – температура капель расплавленного металла; $T_{\kappa} \approx 2200$ К, [8]; T – температура нагрева покрытого электрода протекающим током, К.

При продолжительности процесса сварки 20 с температура нагрева покрытого электрода равна (согласно рис. 2) для:

- параметров режима 1 процесса СМТ:

$$267 + 273 = 540 \text{ К};$$

- РДС: $150 + 273 = 423$ К.

Таким образом, расчетная скорость плавления покрытых электродов равна для:

- параметров режима 1 процесса СМТ:

$$V = \frac{0,48 \cdot 921,7}{0,84 \cdot (2200 - 540) + 272} \approx 0,26 \text{ г/с.}$$

- РДС:

$$V = \frac{0,48 \cdot 621}{0,84 \cdot (2200 - 423) + 272} \approx 0,18 \text{ г/с.}$$

Экспериментальная проверка скоростей плавления покрытых электродов УОНИ-13/55 диаметром 3 мм осуществлялась для параметров режима: $I_u = I_{d,u} = 180$ А, $I_n = 30$ А, $t_{осн,u} = 200$ мс, $t_{осн,n} = 400$ мс, $t_{d,u} = 2$ мс, $f_{d,u} = 100$ Гц; а также для РДС при условии равенства среднего тока и среднедействующего «постоянного» сварочного тока: $I_{cp(СМТ)} = I_{cp,д(РДС)} \approx 100$ А. Наплавка осуществлялась в нижнем положении. Основной металл – стальные пластины размером 200×50×12 мм (сталь 09ГС), которые перемещались на специальной каретке. Электроды подавали вручную сквозь жестко установленную в вертикальном положении втулку. Продолжительность

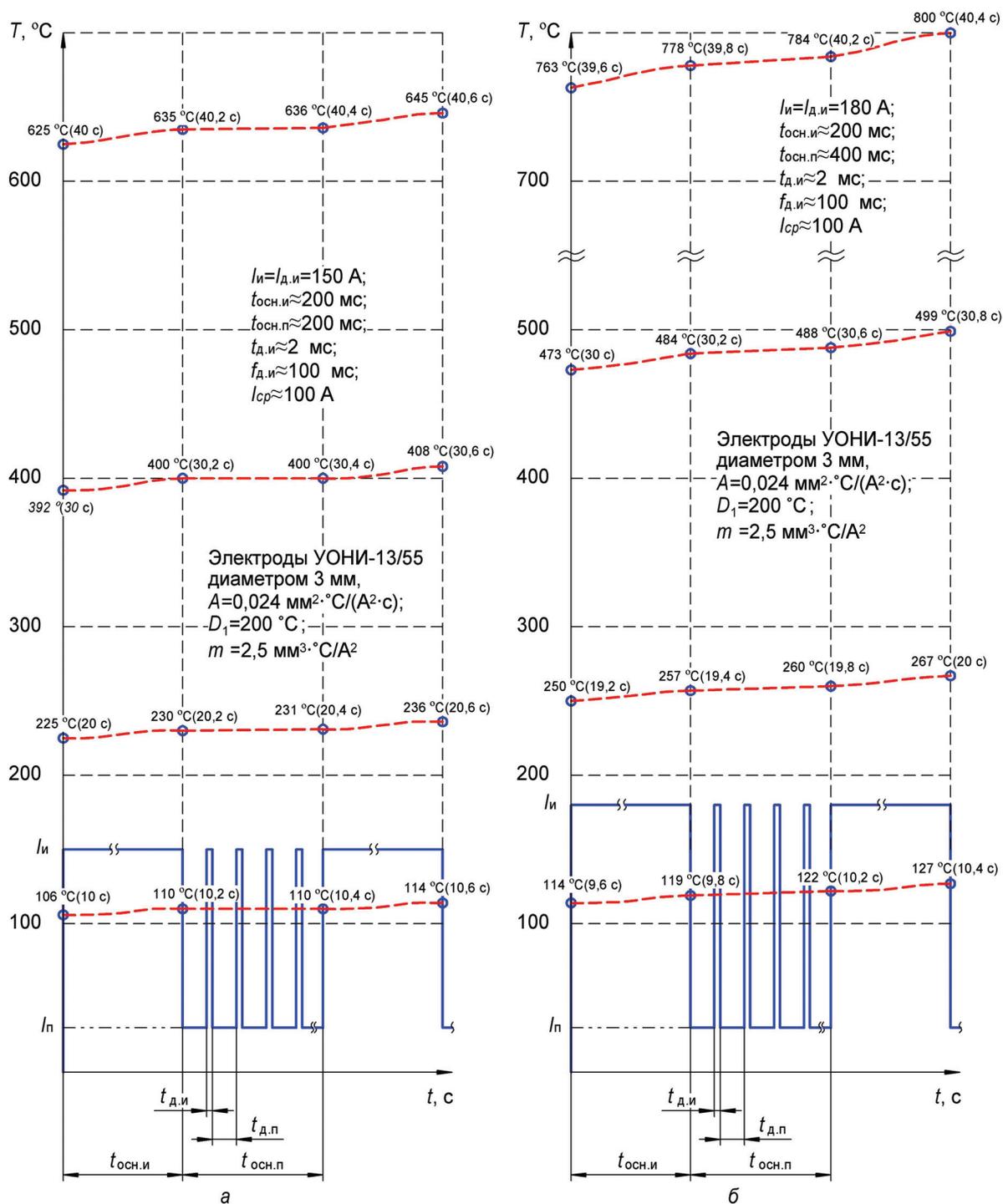


Рис. 1. График роста температуры нагрева покрытого электрода в пределах цикла процесса СМТ в зависимости от параметров режима

наплавки составляла 20 с. Каждое значение скорости плавления получено как среднее при расплавлении десяти электродов. Средний вес электрода УОНИ-13/55 диаметром 3 мм: $G_{з,ср} \approx 27,5 \text{ г}$. Средний вес остатка электродов при РДС: $G_{ост.ср} \approx 23,21 \text{ г}$; при СМТ: $G_{ост.ср} \approx 22,2 \text{ г}$. Экспериментальная скорость плавления при:

- РДС $V \approx 0,46 \text{ см/с}$; $V \approx 0,21 \text{ г/с}$;
- СМТ $V \approx 0,59 \text{ см/с}$; $V \approx 0,265 \text{ г/с}$.

Экспериментальная проверка скоростей плавления покрытых электродов, показала удовлетворительную сходимость расчетного метода [1] и эксперимента. Анализ полученных результатов показал, что погрешности, получаемые в результате расчетной оценки и эксперимента, зависят от точности мощностей, составляющих тепловой баланс в приэлектродной области покрытого электрода, точности теплофизических коэффициентов, по-

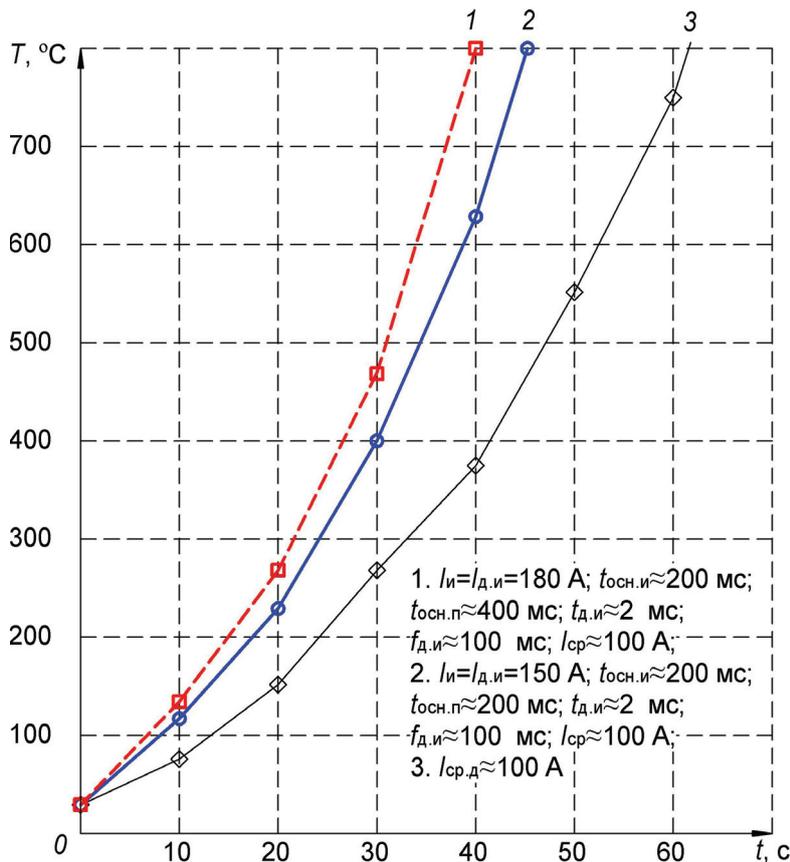


Рис. 2. Изменение температуры нагрева покрытых электродов в зависимости от продолжительности протекания СМТ и РДС

стоянных A , D , m , определяемых из опытов и составляют для скорости плавления при:

- РДС до 15 %;
- СМТ до 10 %.

Выводы

1. Теоретически обосновано, что при равенстве средних значений постоянного и модулированного

сварочных токов нагрев покрытых электродов при сварке модулированным током растет интенсивнее, что повышает производительность процесса.

2. В интервалах основных пауз модулированного тока температура нагрева покрытых электродов поддерживается на постоянном уровне за счет тока паузы и дополнительных импульсов сварочного тока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Князьков А.Ф., Деменцев К.И., Князьков В.Л. Определение скорости плавления покрытых электродов при ручной дуговой сварке модулированным током // Сварочное производство. – 2009. – № 5. – С. 3–7.
2. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. – М.: Машгиз, 1954. – 256 с.
3. Способ ручной электродуговой сварки плавящимся электродом модулированным током: пат. 2322331 Рос. Федерация. № 2006122740/02; заявл. 26.06.06; опубл. 20.04.08, Бюл. № 11. – 6 с.
4. Способ электродуговой сварки плавящимся электродом с импульсной модуляцией тока: пат. 2268809 Рос. Федерация. № 2004123912/02; заявл. 04.08.04; опубл. 27.01.06. – 9 с.

5. Волченко В.Н., Ямпольский В.М., Винокуров В.А. и др. Теория сварочных процессов / под общ. ред. В.В. Флорова. – М.: Высшая школа, 1988. – 559 с.
6. Мазель А.Г. Технологические свойства электросварочной дуги. – М.: Машиностроение, 1969. – 178 с.
7. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности. – М.: Машиностроение, 1973. – 448 с.
8. Походня И.К. Газы в сварных швах. – М.: Машиностроение, 1972. – 256 с.

Поступила 26.04.2011 г.