

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ РЕЖИМА ТРЕХДУГОВОЙ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ СТЫКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТЕЛЕЖКИ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

*М.А. Иванов, А.М. Уланов, Ю.В. Безганс*

**Впервые представлен теоретический механизм расчета режима трехдуговой сварки при сварке стыковых сварных соединений под флюсом. Предложен постулат о взаимосвязи погонной энергии сварки с площадью проплавления. Проведены проверочные расчеты.**

*Ключевые слова: расчет режима сварки, трехдуговая сварка, многодуговая сварка, сварка под флюсом, стыковой шов.*

Металлургическому и машиностроительному секторам промышленности России требуется получение сложных сварных металлоконструкций с протяженными сварными швами. В частности, при изготовлении деталей тележки рельсового транспорта. Для гарантированного получения качественного сварного соединения необходимо задать режим сварки, который определяет структуру и свойства сварного шва, и зоны термического влияния [5, 9–12].

Расчет оптимального режима дуговой сварки под слоем флюса [2] является актуальным и определяет как качество сварного шва, так и период проведения пусконаладочных работ для изготовления новой детали или изделия, что в свою очередь повышает производительность труда.

Современные технологии изготовления деталей тележки, труб, отводов требуют проведения сварки несколькими сварочными головками в одну ванну [3], что позволяет исключить дефекты сварки и обеспечивает как высокое качество сварных швов [4], так и производительность процесса сварки.

При разработке методики расчета режима трехдуговой сварки за основу был взят постулат о взаимосвязи площади проплавления и суммарной погонной энергии сварки трех дуг [1]. Таким образом, предлагается при расчете параметров режима сварки стыковых швов без разделки кромок провести расчет при условии, что площадь проплавления  $F_{пр}$  пропорциональна суммарной погонной энергии сварки трех дуг и обратно пропорциональна скорости сварки и расходу тепловой энергии на нагрев единицы объема металла. Последний коэффициент зависит от объемной теплоемкости, скрытой теплоты плавления и плотности металла.

$$F_{пр} = \frac{1}{MV_{св}} (\eta_1 q_1 + \eta_2 q_2 + \eta_3 q_3), \quad (1)$$

где  $\eta_1$ ,  $\eta_2$  и  $\eta_3$  – полный тепловой коэффициент полезного действия (КПД) 1, 2 и 3-й дуги соответственно, учитывающий часть теплоты дуги, расходуемой на нагрев материала изделия до температуры плавления и его расплавление;  $q_1, q_2, q_3$  –

мощность 1, 2 и 3-й дуги соответственно;  $M$  – расход тепловой энергии на нагрев единицы объема материала изделия до температуры плавления  $T_{п}$  и расплавления;  $V_{св}$  – скорость сварки;

$$\eta_i = \eta_{mi} \eta_{ii}, \quad (2)$$

где  $\eta_{mi}$  – термический КПД проплавления  $i$ -й дуги, принимаемый при сварке пластин встык 0,484 [6], доли ед.;  $\eta_{ii} = 0,7–0,8$  – эффективный КПД нагрева изделия теплотой  $i$ -й дуги, доли ед.

$$M = g_{п} T_{п} - g_0 T_0 + W_{п} \gamma_{п}, \quad (3)$$

где  $g_{п}$  и  $g_0$  – объемные теплоемкости материала при температуре плавления  $T_{п}$  и начальной  $T_0$  (перед сваркой);  $W_{п}$  – скрытая теплота плавления материала;  $\gamma_{п}$  – плотность материала при  $T_{п}$ .

Мощность сварочных дуг определяется следующими выражениями:

$$q_1 = I_{св1} U_{св1}, \quad (4)$$

$$q_2 = I_{св2} U_{св2}, \quad (5)$$

$$q_3 = I_{св3} U_{св3}, \quad (6)$$

где  $I_{св1}, I_{св2}, I_{св3}$  – сварочный ток на 1, 2, 3-й дуге соответственно, А;  $U_{св1}, U_{св2}, U_{св3}$  – напряжение на 1, 2, 3-й сварочной дуге соответственно, В.

Напряжения на дугах при сварке под флюсом определяются по следующим уравнениям:

$$U_{св1} = 0,020 I_{св1} + 29 - 25 d_{31}, \quad (7)$$

$$U_{св2} = 0,025 I_{св2} + 29 - 25 d_{32}, \quad (8)$$

$$U_{св3} = 0,030 I_{св3} + 29 - 25 d_{33}, \quad (9)$$

где  $d_{31}, d_{32}, d_{33}$  – диаметр электродной проволоки на 1, 2, 3-й сварочной дуге соответственно, мм.

Определим сварочный ток второй дуги как долю от тока первой дуги

$$I_{св2} = D^I I_{св1}, \quad (10)$$

$$I_{св3} = D^{II} I_{св2}. \quad (11)$$

Тогда, решая совместно уравнения (1), (4)–(11), получили уравнение второго порядка для определения силы тока на первой дуге при сварке под флюсом. Нас интересует только положительный

Таблица 1

Геометрические параметры сварного соединения

№ сварного соединения	$s$ , мм	$b$ , мм	$c$ , мм	$h_{пр}$ , мм
1	7	15	1	5
2	7	15	1	6
3	12	22	3	6,5
4	12	22	3	8

Таблица 2

Параметры режима сварки

№ сварного соединения	$I_{св1}$ , А	$U_{св1}$ , В	$I_{св2}$ , А	$U_{св2}$ , В	$I_{св3}$ , А	$U_{св3}$ , В	$V_{св}$ , см/с
Табличные значения для трехдуговой сварки							
1	650–710	32–34	620–680	34–38	600–660	38–42	2,6–3,5
2	650–710	32–34	600–650	36–38	550–600	38–42	2,5–2,9
3	680–730	32–34	650–700	34–38	640–680	38–42	2,5–2,7
4	750–760	32–34	700–720	36–38	650–670	38–42	2,3–2,6
Расчетные параметры							
1	651	32	619	34	600	37	3,5
2	653	32	601	34	553	36	2,85
3	698	33	663	36	650	38	2,5
4	757	34	704	37	655	39	2,3

корень уравнения. Его отрицательная составляющая не имеет физического смысла.

$$I_{св1} = \frac{-b_{\phi} + \sqrt{b_{\phi}^2 + 4a_{\phi}c_{\phi}}}{2a_{\phi}} \quad (12)$$

При этом входящие в уравнение коэффициенты определяются следующим образом:

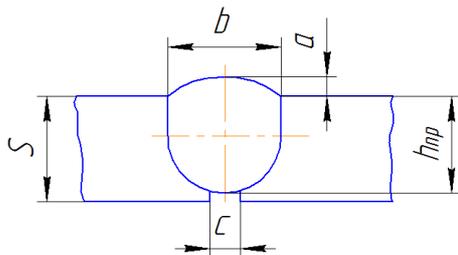
$$a_{\phi} = 0,02\eta_1 + (D^I)^2 0,025\eta_2 + (D^I D^{II})^2 0,03\eta_3; \quad (13)$$

$$b_{\phi} = (29 - 25d_{s1})\eta_1 + D^I \eta_2 (29 - 25d_{s2}) + D^I D^{II} \eta_3 (29 - 25d_{s3}); \quad (14)$$

$$c_{\phi} = MV_{св} F_{пр}. \quad (15)$$

Расчетное значение  $F_{пр}$  определяется расчетным способом по известной геометрии сварного соединения с учетом приведенной модели на рисунке:

$$F_{пр} = h_{пр} (0,8927b - c). \quad (16)$$



Расчетная схема определения  $F_{пр}$

После определения  $I_{св1}$  необходимо рассчитать  $I_{св2}$ ,  $I_{св3}$ ,  $U_{св1}$ ,  $U_{св2}$ ,  $U_{св3}$  по уравнениям (10), (11), (7), (8), (9) соответственно.

Сравнение расчетных параметров с реальным технологическим процессом представлено в табл. 1 и 2. Данные приведены для сварного соединения С7, выполненного по ГОСТ 8713–79 при сварке электродной проволокой диаметром 4 мм (см. табл. 1). В расчетах принимали  $M=9800$  Дж/см<sup>3</sup>,  $\gamma_n = 7,8$  г/см<sup>3</sup>. Геометрические параметры сварных соединений № 1, 2, 3, 4 из табл. 1 соответствуют режимам сварки в табл. 2.

Методика расчета режима трехдуговой сварки рассчитана на сварку малоуглеродистых низколегированных сталей. Методика позволяет гарантированно получать качественные сварные соединения и минимизировать необходимость дальнейшей механической обработки [7, 8]. Для расчета режима сварки высоколегированных сталей необходимо дополнительно учесть ограничение по допустимым скоростям охлаждения этих сталей.

При расчете стыковых швов с разделкой кромок необходимо учитывать также площадь наплавленного металла.

Таким образом, разработана теоретическая модель расчета режима трехдуговой сварки под флюсом стыкового соединения.

Работа выполнялась в рамках комплексного проекта «Создание высокотехнологичного производства модельного ряда энергосберегающих низкопольных трамвайных вагонов модульной конструкции» по договору № 02.G36.31.0002 между Министерством образования и науки Российской Федерации и

Федеральным государственным унитарным предприятием «Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева».

#### Литература

1. Попков, А.М. Расчет параметров режима двухдуговой сварки угловых и стыковых швов / А.М. Попков // Сварочное производство. – 1998. – № 7. – С. 3–5.

2. Уланов, А.М. Современный подход к разработке технологических параметров сварки в производстве труб большого диаметра / А.М. Уланов, М.А. Иванов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2012. – Вып. 19, № 39 (298). – С. 154–155.

3. Уланов, А.М. Развитие технологии многодуговой сварки трубных сталей / А.М. Уланов, М.А. Иванов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2012. – Вып. 19, № 39 (298). – С. 156–158.

4. Пашков, Ю.И. Разработка классификатора дефектов для сварных труб / Ю.И. Пашков, В.А. Лупин, М.А. Иванов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2012. – Вып. 18, № 15 (274). – С. 37–40.

5. К вопросу влияния погонной энергии сварки на скорость охлаждения металла шва / М.А. Иванов, А.М. Уланов, В.В. Роде, П.А. Данилкин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2012. – Вып. 19, № 39 (298). – С. 159–160.

6. Рыкалин, Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. – М.: Машиз, 1951. – 296 с.

7. Пименов, Д.Ю. Разработка модели эпюры

напряжений на задней поверхности зуба фрезы / Д.Ю. Пименов // Технология машиностроения. – 2010. – № 1. – С. 48–52.

8. Пименов, Д.Ю. Математическое моделирование упругих перемещений технологической системы при торцевом фрезеровании с учетом износа инструмента / Д.Ю. Пименов, В.И. Гузеев, А.А. Кошин // Вестник машиностроения. – 2011. – № 11. – С. 69–73.

9. Метод измерения температур в исследовании характера затвердевания отливки / И.Н. Ердаков, В.В. Новокрецов, И.В. Саламатов, Л.Н. Сабирова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2012. – Вып. 19, № 39 (298). – С. 142–144.

10. Ердаков, И.Н. Ресурсосберегающий аспект в производстве литых плит из стали Гадфильда / И.Н. Ердаков // Заготовительные производства в машиностроении. – 2011. – № 11. – С. 3–5.

11. Ткачев, В.М. Влияние положения стояка на коробление и дефектность отливок-плит / В.М. Ткачев, Н.А. Ласков, И.Н. Ердаков // Заготовительные производства в машиностроении. – 2010. – № 6. – С. 9–11.

12. Ердаков, И.Н. Влияние импульсного электрического воздействия на кристаллизацию силумина (АК7ч) и стали (20ГЛ) / И.Н. Ердаков, В.В. Новокрецов // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. – Вып. 9, № 1. – С. 54–57.

**Иванов Михаил Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры оборудования и технологии сварочного производства, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76. Тел.: (351)2679221. E-mail: IvanovM@yandex.ru.

**Уланов Алексей Михайлович**, аспирант кафедры оборудования и технологии сварочного производства, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76. Тел.: (351)7297089.

**Безганс Юрий Викторович**, студент кафедры оборудования и технологии сварочного производства, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76. Тел.: (351)2679221.

**Bulletin of the South Ural State University**  
**Series "Metallurgy"**  
**2013, vol. 13, no. 1, pp. 146–149**

## THEORETICAL APPROACH TO THE CALCULATION OF THREE-ARC SUBMERGED ARC WELDING MODE OF BUTT JOINTS OF RAIL TRANSPORT TROLLEY PARTS

**M.A. Ivanov, A.M. Ulanov, Yu.V. Bezgans**

A theoretical mechanism for calculating the mode of three-arc submerged arc welding of butt welded joints is presented for the first time. A postulate is proposed of a relationship between welding heat input and the area of penetration. Verifying calculations are carried out.

*Keywords: calculation of welding mode, three-arc welding, multiple-arc welding, submerged arc welding, butt seam.*

**Ivanov Mikhail Aleksandrovich**, candidate of engineering science, associate professor of the Welding Equipment and Technology Department, South Ural State University. 76 Lenin avenue, Chelyabinsk, Russia 454080. Tel.: 7(351)2679221. E-mail: IvanovM@yandex.ru.

**Ulanov Aleksey Mikhaylovich**, post-graduate student of the Welding Equipment and Technology Department, South Ural State University. 76 Lenin avenue, Chelyabinsk, Russia 454080. Tel.: 7(351)7297089.

**Bezgans Yuriy Viktorovich**, student of the Welding Equipment and Technology Department, South Ural State University. 76 Lenin avenue, Chelyabinsk, Russia 454080. Tel.: 7(351)2679221.

*Поступила в редакцию 28 марта 2013 г.*