

**Разработка математической модели формирования
химического состава литого металла шва при ручной дуговой сварки**

Магистрант гр. 132-18 ММЖФТр Б. Тухтамурадов
Научный руководитель - доц., к.т.н. Н.С. Дунышин
Ташкентский государственный технический университет,
Узбекистан, г. Ташкент

При ручной дуговой сварке покрытыми электродами формируются капли металла и шлака, определяющие состав литого металла сварного шва и сварочно-технологические свойства материалов: формирование поверхности шва, отделимость шлаковой корки, возможность сварки в различных пространственных положениях и др. Капли формируются при плавлении стержня и покрытия электрода и взаимодействии образовавшихся фаз друг с другом и газом. Процессы взаимодействия фаз, протекающие на различных стадиях нагрева и плавления электрода, определяют их конечный состав. Учёные ведущих стран мира, такие как И.К. Походня, В.В. Подгаецкий, А.А. Ерохина, Г.Л. Петров, А.А. Бук, Н.Н.Потапова, В.Н. Бороненкова, Е. Вотинова G. Glaussen, и др. исследовали процессы перехода отдельных элементов на основании сравнения исходного состава и состава металла шва [1].

Несмотря на достигнутые научные результаты в области создания и разработки состава покрытия сварочных электродов, остается много нерешенных проблем: недостаточно изучены модели и методы прогнозирования состава литого металла сварного шва при ручной дуговой сварке. Для решения данной проблем, проведено исследование, позволившее оценить результаты процессов сварки, протекающих в твердой фазе, капле и металлической ванне, определить усредненные и парциальные коэффициенты перехода элементов. Разработанная физическая модель формирования химического состава литого металла шва, основанная на классификации компонентов покрытия электрода при ручной дуговой сварке была положена в основу создания математической модели [2]:

1. Общий (усредненный) коэффициент перехода элемента E_z :

$$\bar{\eta}_{E_z} = a\eta_{E_z}^{стерж} + b\eta_{E_z}^{ч.м.} + c\eta_{E_z}^{фер} + d\eta_{E_z}^{шл.мин} + e\eta_{E_z}^{шл.иск.вещ} \quad (1)$$

$$a + b + c + d + e = 1 \quad (2)$$

где a, b, c, d и e - доли участия электродного стержня, чистых металлов, ферросплавов, металла, восстановленного из шлака минерального сырья и искусственно получаемых химических веществ в формировании наплавленного металла;

$$\eta_{E_z}^{стерж} = 1 - k_1^{E_z}, \quad (3)$$

$$\eta_{E_z}^{ч.м.} = 1 - k_2^{E_z}, \quad (4)$$

$$\eta_{E_z}^{фер} = 1 - k_3^{E_z}, \quad (5)$$

$$\eta_{E_z}^{шл.мин.} = k_4^{E_z}, \quad (6)$$

$$\eta_{E_z}^{шл.иск.вещ} = k_5^{E_z}, \quad (7)$$

где $\eta_{E_z}^{стерж}$, $\eta_{E_z}^{ч.м.}$, $\eta_{E_z}^{фер}$, $\eta_{E_z}^{шл.мин.}$ и $\eta_{E_z}^{шл.иск.вещ}$ - парциальные коэффициенты перехода элемента E_z в наплавленный металл из стержня, чистых металлов, ферросплавов, шлака, получаемого из минерального сырья и искусственного получаемых химических веществ соответственно.

$k_1^{E_z}$ - доля массы компонента E_z металла стержня, окисленной газом и шлаком;

$k_2^{E_z}$ - доля массы компонента E_z металлической части покрытия электрода (группа 1. Чистые металлы), окисленной газом и шлаком;

$k_3^{E_z}$ - доля массы компонента E_z металлической части покрытия электрода (группа 2. Ферросплавы), окисленной газом и шлаком;

$k_4^{E_z}$ - доля массы оксида компонента E_z неметаллической части покрытия (группа 3. Минеральное сырье), переходящей в металл в результате реакций восстановления на стадии капли;

$k_5^{E_z}$ - доля массы оксида компонента E_z неметаллической части покрытия (группа 4. Искусственно получаемые химические вещества), переходящей в металл в результате реакций восстановления на стадии капли.

2. Масса элемента в наплавленном металле

$$m_{E_z}^{напл} = m_{E_z}^{cm} \cdot \frac{E_z^{cm}}{100} + \sum_{k=1}^n m_k^{ч.м.} \cdot \frac{E_z^{ч.м.}}{100} + \sum_{k=1}^l m_k^{фер} \cdot \frac{E_z^{фер}}{100} + \sum_{k=1}^p m_k^{шл.мин} \cdot \frac{E_z^{шл.мин}}{100} + \sum_{k=1}^s m_k^{шл.иск.вещ.} \cdot \frac{E_z^{шл.иск.вещ.}}{100} = m_{E_z}^{cm} + m_{E_z}^{ч.м.} + m_{E_z}^{фер} + m_{E_z}^{шл.мин.} + m_{E_z}^{шл.иск.вещ.}, \quad (8)$$

где $m_{E_z}^{cm}$, $m_{E_z}^{фер}$, $m_{E_z}^{шл}$ массы элемента E_z в электродном стержне, ферросплавах и восстановленная из неметаллических компонентов покрытия электрода, соответственно.

3. Масса компонента E_z в металлической ванне:

$$m_{E_z}^{cm} = \frac{m_{эл}}{1 + k_{mn}} \cdot \left(\frac{E_z^{cm}}{100} (1 - k_1^{E_z}) + \frac{k_{mn}}{(1 + 0,01\alpha \cdot \beta)} \left(m_{эл} \sum_{k=1}^l \frac{\%_{фер_k}}{100} \cdot \frac{[E_z]_k}{100} (1 - k_5^{E_z}) + \sum_{k=1}^p \frac{\%_{шл.мин_j}}{100} \cdot \frac{(E_{zn}O_m)_j}{100} + \frac{M_{E_z}}{M_{E_{zn}O_m}} (k_4^{E_z} + k_5^{E_z}) \left(\frac{\alpha \cdot \beta \cdot (E_{zn}O_m)_j}{100} \right) \right) \right) \quad (9)$$

4. Усредненный коэффициент перехода элемента E_z ,

$$\bar{\eta}_{E_z} = \frac{[E_z]_{н.м.}}{a[E_z]_{стерж} + b[E_z]_{ч.м.} + c[E_z]_{фер} + d[E_z]_{шл.мин.} + e[E_z]_{шл.иск.вещ.}} \quad (10)$$

где $[E_z]_{н.м.}$ - концентрация элемента E_z в наплавленном металле по результатам химического анализа, мас.%;

$[E_z]_{стерж}$ - исходная концентрация элемента E_z в стержне электрода, мас.%;

$[E_z]_{ч.м.}$ - исходная концентрация элемента E_z в вводимых чистых металлах в электродное покрытие, мас.%;

$[E_z]_{фер}$ - исходная концентрация элемента E_z в ферросплавах электродного покрытия, мас.%;

$[E_z]_{шл.мин}$ - концентрации элемента E_z при полном восстановлении оксида элемента $E_{zn}O_m$ из минеральных веществ шлака, мас.%;

$[E_z]_{шл.иск.вещ.}$ - исходная концентрация элемента E_z в химически чистых веществах электродного покрытия, мас.%;

Библиографический список

1. Вотинова, Е.Б. Разработка методики расчета состава металла шва при сварке покрытыми электродами или порошковой проволокой / Е.Б. Вотинова, М.П. Шалимов // Сварка и диагностика. – 2011. – № 5. – С. 31–35.

2. Ermatov Z.D., Dunyashin N.S. Development of electrodes for shielded metal arc welding based on the classification of the coating charge components//European science review– 2018. – № 11-12. – P. 40–41.