



УДК 621.791.753.5.048

Жданов Л.А.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". Україна, Київ

**ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ОКИСЛЮВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ГАЗОВОЇ ФАЗИ ПРИ ЕЛЕКТРОДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ ТА НАПЛАВЛЕННІ****Анотація**

*Визначені принципи розрахунку і формування газової фази при електродуговому зварюванні і наплавленні під флюсом. Показаний взаємозв'язок процесу формування складу металу шва з газовою фазою, яка утворюється під впливом термічної дисоціації оксидів флюсу в результаті якої утворюється тиск кисню, який визначає протікання окислювальних і окислювально-відновлювальних процесів. Запропонована структурна схема, що показує взаємозв'язок розрахункового змісту кисню в газовій фазі і хімічного складу металу шва з урахуванням складу флюсу.*

**Abstract**

*Principles of calculation and forming of a gas phase are defined at an arc welding and a building-up welding under a fluxing stone. The correlation of process of forming of makeup of metal of a weld with a gas phase which is formed under influence of a thermal dissociation of oxides of a fluxing stone as a result of which is shown is formed pressure of oxygen a defining leakage oxidative and redox processes. The block diagram indicating correlation of the calculated contents of oxygen in a gas phase and a chemical compound of metal of a weld is offered in view of makeup of a fluxing stone.*

**Вступ**

Однією з основних задач зварювання є отримання певного хімічного складу металу шва.

Однак, для електродугового зварювання та наплавлення це неможливо без системного підходу і структуризації даної проблеми. У цій структуризації найважливіше місце займають процеси фізико-хімічної взаємодії матеріалів. Для вирішення цієї проблеми звичайно аналізують взаємодію металу та шлаку. Процеси, що протікають у газовій фазі, у такому аналізі не враховуються. При цьому, практично ніхто з дослідників не заперечує її існування. Це призвело до того, що єдиної теорії, яка описує процеси у реакційній зоні при електродуговому зварюванні та наплавленні на теперішній час не існує.

**Постановка задачі**

Газова фаза при електродуговому зварюванні та наплавленні є однією з визначальної при теоретичних розрахунках хімічного складу металу шва. В той же час, у більшості випадків її вплив ігнорується. Так при зварюванні та наплавленні під флюсом результатом ігнорування впливу газової фази є розповсюджена в даний час класифікація зварювальних флюсів за величиною їх основності [1–3]. Така класифікація побудована на підставі молекулярної, або іонної теорії будівлі шлаків [4].

При цьому самі автори, які пропонують проводити класифікацію флюсів тільки на основі аналізу реакцій на границі шлак – метал, визнають, що флюс в залежності від величини індексу основності, що розраховується за тією, або іншою формулою, може бути одночасно віднесений до кислого, основного або нейтрального типу.

Не заперечуючи можливості впливу на формування кінцевого складу металу шва, а тим більше на наявність у ньому ендогенних включень, хімічних реакцій, які протікають на границі шлак — метал, ми вважаємо — визначальну роль на хімічний склад металу шва мають реакції, що проходять в газовій фазі.

Відомий алгоритм термодинамічного розрахунку високотемпературних процесів у багатокомпонентних гетерофазних системах метал — газ — шлак [5]. При цьому, дослідники намагались врахувати різноманітні хімічні реакції, але основний наголос був зроблений на механізм поглинання водню розплавленим металом. У той же час зрозуміло, що механічні властивості зварного шва, а також сам процес його формування визначається різноманіттям металургійних реакцій, що протікають у реакційній зоні зварювання. Найбільш високотемпературною зоною при електродуговому зварюванні є стовп дугового розряду та газова фаза, що примикає до нього. Тому саме можливість і направлення перебігу хімічних реакцій у цих зонах визначають характер металургійного впливу реакційної зони зварювання на кінцевий хімічний склад металу шва.

Основну роль у металургійних процесах при зварюванні під флюсом має грати кисень. Пов'язане це з тим, що саме кисень є елементом, який визначає рівноважний тиск у складній гетерофазній системі, яка формує газову фазу та міжфазні границі, що її оточують. Тому метою даної роботи було розроблення схеми термодинамічного розрахунку складу газової фази при зварюванні і наплавленні під флюсом певного складу, яка може бути запропонована, а також для інших способів електродугового зварювання.

### **Принципи розрахунку формування газової фази при електродуговому зварюванні під флюсом**

На основі розглянутих теоретичних та експериментальних даних, що відносяться до основ хімічної термодинаміки [6—9] та особливостей утворення газової фази при зварюванні під флюсом [5, 10—17] можна сформулювати певні принципи завдяки яким є можливість сформулювати модель утворення газової фази і в подальшому провести розрахунок її складу.

*Перший принцип*, що закладається у теоретичну модель газової фази при зварюванні під флюсом, це поділ газової фази на дві частини властивості яких, як і фізичні процеси, що у них відбуваються принципово різні. У першій частині відбувається випаровування матеріалів, в основному флюсу, за рахунок енергії плазми дугового розряду, через переведення речовини у стан, що називається "критичним" [16, 17]. У другій частині, пар, що

поступає з першої частини, конденсується при цьому цей процес супроводжується окислювально-відновлювальними реакціями. Міжфазною границею для цих частин є плазма дугового розряду.

*Другий принцип* — це квазірівноважність газової фази, що дозволяє розглядати кожен окрему її частину, як гомогенну систему і не враховувати "збурення" пов'язані з каплями електродного металу, існуванням плазмових потоків та інших флуктуацій, що супроводжують любий процес зварювання під флюсом.

*Третій принцип* — це застосування до газової фази законів, що характеризують стан ідеального газу. Можливість вважати газову фазу при електродуговому зварюванні під флюсом ідеальним газом є наслідком переходу флюсу під дією енергії дугового розряду у критичний стан, у якому обидві співіснуючі фази — флюс та газ, стають тотожними по своїм властивостям. Необхідно відмітити, що реальні гази добре описуються моделлю ідеального газу, коли середня кінетична енергія їхніх часток набагато більша потенційної енергії їхньої взаємодії.

*Четвертий принцип* — досягнення термодинамічної рівноваги у кожному мікрооб'ємі газової фази є наслідком принципу квазірівноважності, та можливості вважати газову фазу ідеальним газом.

*П'ятий принцип* — наявність залежності між кількістю речовини, що характеризується об'ємною мольною концентрацією та температурою і тиском у газовій фазі реакційної зони зварювання. Цей принцип є результатом використання основних законів, що характеризують стан ідеального газу і результатом застосування наведених вище принципів формування газової фази.

*Шостий принцип* — застосування основ нерівноважної термодинаміки для визначення феноменологічних коефіцієнтів, що пов'язують фізичні властивості шлаку, хімічний склад зварювальних матеріалів, основного металу, режиму наплавлення з хімічним складом металу шва.

*Сьомий принцип* — встановлення закономірностей між співвідношенням оксидів вуглецю, кисню та газоподібних оксидів при зварюванні сталей.

В результаті для розрахунку впливу газової фази реакційної зони при зварюванні та наплавленні під флюсом на хімічний склад металу шва пропонується наступна структурна схема рахунку (рис. 1):

- визначення мольного складу флюсу відповідно до його концентраційного (процентного) складу;
- складання системи рівнянь, що описують процес термічної дисоціації оксидів флюсу у газоподібному стані на основі їх мольної концентрації;

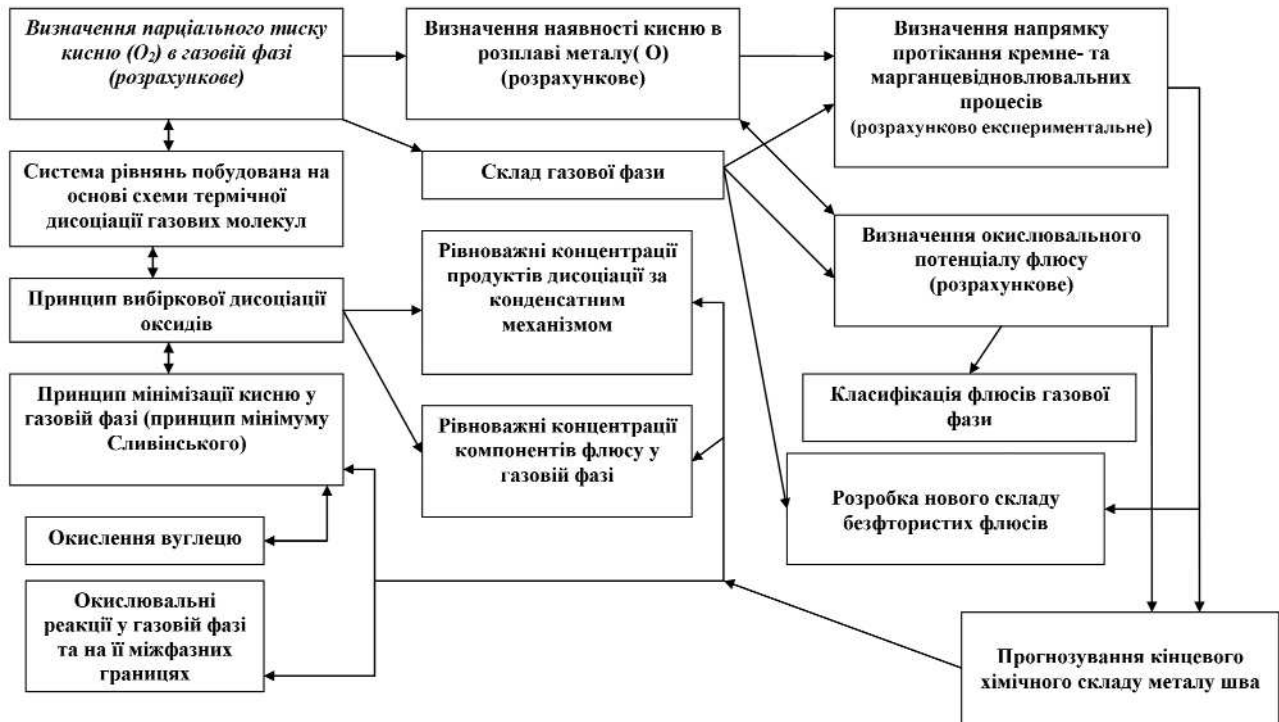


Рис. 1. Функціональна розрахункова схема, яка дозволяє визначити окисний потенціал флюсу та прогнозувати кінцевий хімічний склад металу шва

- розрахунок імовірного вмісту кисню при дисоціації газоподібних сполук відповідно до їх мольних концентрацій у складі флюсу;
- визначення максимальних розрахункових показників мольного вмісту кисню у газовій фазі при певній температурі для концентраційних умов відповідно до складу флюсу;
- проведення вибірки мольного вмісту кисню у газовій фазі з матриці, що характеризує розрахунковий його вміст, на основі принципів конденсатної дисоціації;
- порівняння отриманих розрахункових даних по вмісту кисню у газовій фазі у різних температурних її частинах з реальними експериментальними даними по вмісту кисню у металі шва та краплях;
- отримання феноменологічних коефіцієнтів рівнянь, що пов'язують реальний вміст кисню у металі шва з його розрахунковим показником у газовій фазі;
- створення системи рівнянь відповідно до принципів рівноважної термодинаміки, що визначають процес окислювання у реакційній зоні зварювання та наплавленні;
- розрахунок, на основі рівноважної термодинаміки процесів, що відповідають взаємодії на міжфазних границях для оксидів відповідно їх мольної концентрації у складі флюсу з урахуванням концентраційних умов отриманих на основі вмісту кисню співвідношення розрахун-

- кового вмісту кисню у газовій фазі та металі шва (феноменологічних коефіцієнтів);
- розрахункове визначення вмісту легуючих елементів у металі шва.

### Висновок

Встановлено, що для забезпечення необхідного хімічного складу металу шва потрібно мати можливість чіткого прогнозування впливу складу флюсу на окислювально-відновлювальні реакції, які відбуваються у реакційній зоні зварювання та наплавлення під флюсом.

Визначенні теоретичні принципи розрахунку хімічного складу при формуванні газової фази для електродугового зварювання під флюсом.

Розроблена функціональна розрахункова схема, яка дозволяє визначити окисний потенціал флюсу та прогнозувати кінцевий хімічний склад металу шва. У даній схемі враховані особливості процесу зварювання та наплавлення під флюсом, випаровування оксидів, їх термічної дисоціації під дією плазми дугового розряду у газовій фазі, реакції окислювання з утворенням газоподібних компонентів, вплив газової фази реакційної зони на рідкий метал шва і визначення співвідношення між вмістом кисню у газовій фазі та у металі шва. Застосування феноменологічних коефіцієнтів на основі рівняння Макларена другого порядку, або поліномів на рівні другого, або вищого порядку, яке передбачає нерівноважна термодинаміка,

дозволяє визначити чітку залежність між концентрацією кисню у газовій фазі та його вмістом у металі шва. Це у свою чергу дозволяє прогнозувати вплив складу зварювальних матеріалів (флюсу) на хімічний склад металу шва, враховуючи режим зварювання (наплавлення).

Результатом запропонованої схеми розрахунку впливу окислювальної здатності газової фази на метал зварного шва є можливість теоретичного визначення вмісту легуючих елементів у металі шва, проведення нової класифікації зварювальних матеріалів, а зокрема флюсів, та прогнозування формування хімічного складу металу шва.

### Література

1. *Сварочные материалы для дуговой сварки. Том 1. Защитные газы и сварочные флюсы* / Под общей редакцией Н.Н. Потапова. — М.: Машиностроение, 1989.
2. *Потапов Н.Н.* Основы выбора флюсов при сварке сталей. — М.: Машиностроение, 1979. — 169 с.
3. *Подгаецкий В.В., Люборец И.И.* Сварочные флюсы — Киев: Техніка, 1984. — 167 с.
4. *Ю. Зеке.* Возможности количественной оценки металлургических характеристик флюсов. в сборнике "Флюсы и шлаки". Материалы международного семинара. Никополь, 1974. Издательство "Наукова думка" Киев, 1975. — С. 3—23.
5. *Походня И.К., Головка В.В., Кушнерев Д.М., Швачко В.И.* Оценка окислительной способности керамических флюсов // Автоматическая сварка, 1990. — № 2. — С. 45—48.
6. *И. Пригожин, Д. Конденуди.* Современная термодинамика. — М.: Мир, 2002. — 462 с.
7. *Деверо О.Ф.* Проблемы металлургической термодинамики. — М.: Металлургия, 1986. — 424 с.
8. *Сурис А.Л.* Термодинамика высокометаллургических процессов. — М.: Металлургия, 1985. — 380 с.
9. *Жданов Л.А.* Рівноважна хімічна термодинаміка, як метод дослідження процесів у реакційній зоні при електродуговому зварюванні під флюсом. // Матеріали міжнародної міжгалузевої науково-технічної конференції студентів, аспірантів та наукових співробітників "Зварювання та споріднені технології і процеси" / Київ: 28 лютого 2008. — С. 7—9.
10. *Дятлов В.И.* Особенности металлургических процессов при сварке под флюсом. В кн.: Сборник трудов, посвященных 80-летию со дня рождения и 55-летию научной деятельности акад. Е.О. Патона. Киев. Изд-во АН УССР. 1951. — С. 261—268.
11. *Автоматическая электродуговая сварка* // Под ред. Е.О. Патона. — М.: Машгиз, 1953. — 396 с.
12. *Кирдо И.В.* Измерение температуры мощной сварочной дуги, горящей под флюсом. В кн.: Сборник трудов, посвященных 80-летию со дня рождения и 55-летию научной деятельности акад. Патона Е.О. Киев. Изд-во АН УССР, 1951.
13. *Подгаецкий В.В.* Реакции в атмосфере дуги при сварке под флюсом // Автоматическая сварка, 1953. — № 1. — С. 10—18.
14. *Жданов Л.А., Сливинский А.М., Стреленко Н.М.* Теоретическое прогнозирование состава металла шва при сварке под флюсом. Международный научно-технический семинар "Современные сварочные флюсы и опыт их применения в промышленности" / Запорожье: 29 августа — 1 сентября 2005. — С. 40.
15. *Сливинский А.М.* Пути управления металлургическими процессами сварки под флюсом. // Сварка под флюсом сегодня и завтра. — Тезисы докладов международного научно-технического семинара. — г. Запорожье, 1998. — С. 9—10.
16. *Жданов Л.А.* Современные представления о физико-химической модели электродуговой сварки под флюсом. Часть 2. Экспериментальные исследования реакционной зоны при электродуговой сварке под флюсом // Технологические системы, 2008. — № 1. — С. 38—45.
17. *Жданов Л.А.* Современные представления о физико-химической модели электродуговой сварки под флюсом. Часть 3. Интегрированная физико-химическая Модель реакционной зоны при электродуговой сварке под флюсом // Технологические системы, 2008. — № 3. — С. 25—38.