

© Оболенская Т.А., Лазаренко В.И., Попов Н.В.

МЕТОДИКА АНАЛОГИЗАЦИИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ К АНАЛИЗУ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Сварка является одним из основных способов соединения твердых тел в настоящее время.

С помощью сварки можно соединить практически все металлы, сплавы, стекло, композиционные материалы, некоторые керамические и другие материалы. Бурное развитие техники на современном этапе, создание современных ранее неизвестных материалов, создание конструкций принципиально нового типа требуют от специалистов-сварщиков разработки новых способов сварки.

Процесс сварки, как и определенные группы технологических процессов различных отраслей промышленности, отличающиеся между собой по физической природе, имеют один и тот же механизм действия. Этому механизму соответствует и идентичная аналитическая модель процесса, реализовывающая физическую сущность процесса, элементарные процессы из которых он складывается, метод его интенсификации и создание оптимальных режимов осуществления.

Математическая модель процесса позволяет разработать метод его расчета, выбор оптимальных режимов его осуществления с учетом вопросов ресурсо- и энергосбережения.

Для процессов, имеющих одинаковый механизм применим метод математического моделирования, который назван аналогизацией [1].

Смысл этого метода состоит в том, что технологический процесс расчленяется на элементарные процессы, подбирается подобный по структуре тестовый процесс, который может быть иной физической природы,

подбираются аналоги параметров тестового и разрабатываемого процесса и фактически составление математической модели процесса в этом случае сводится к созданию математической модели тестового процесса.

Другими словами математическая модель холодной и горячей сварки может иметь аналогичные тестовые модели. По состоянию металла в процессе сварки их можно разделить на две основные группы:

1. сварка плавлением, или сварка в жидкой фазе
2. сварка давлением, или сварка в твердой фазе.

Аналогизация процессов опирается на пять теорем, подобных теоремам теории физического подобия.

1. Аналогичные процессы имеют одинаковые механизмы действия. Механизм процесса составляется по физическому описанию и определяется его структурой и элементами, из которых состоит процесс. Соответствующая теореме подобия – теорема Ньютона гласит: подобные процессы имеют одинаковые критерии подобия.
2. Аналогичные процессы имеют одинаковое математическое описание, описываются подобными дифференциальными уравнениями, в которых имеется соответствие между параметрами, стоящими в производных первого и второго порядка и представляющими аналоги сопоставляемых процессов, имеют одинаковые граничные условия.
3. Аналогичные процессы имеют изопараметриссы [1,2] одинаковой структуры. Изометриссой процесса является постоянный параметр либо комплекс из параметров, при которых процесс протекает более эффективно. Например, изохора, изобара, изогидрата, изотерма, постоянство пресыщения, перегрева, наборы комплексов [1,2].
4. Аналогичные процессы имеют аналоги всех параметров процесса и теплофизических констант.
5. Интегралы математических моделей одинаковы при одинаковых граничных условиях.

Эти теоремы в теории подобия отражены в теореме Гухмант – Кирпичева: подобные процессы имеют численно равные числа подобия (критерии) и подобные условия однозначности.

Пятая теорема по содержанию соответствует второй теореме теории подобия – теореме Букенгема: интегралы дифференциальных уравнений процесса могут быть представлены в виде уравнений, связывающих безразмерные комплексы процесса – числа подобия (критерии).

При проведении аналогизации процессов также очень удобно приводить дифференциальные уравнения к безразмерному виду, вводить числа подобия для тестового и разрабатываемого процесса, используя π – теорему размерностей, и устанавливать аналогии между числами подобия.

Путь составления математических моделей для нового процесса по тестовому процессу на основе установления аналогов в параметрах или безразмерных комплексах открывает новые возможности в анализе процессов, разработке методов интенсификации и установления оптимальных режимов.

Правила математического моделирования разрабатываемого процесса определяются применением теорем аналогизации на основе подбора известного тестового процесса по аналогии и использования методов известного процесса и методов его интенсификации.

Пусть задан проектируемый технологический сварочный процесс, математическую модель и методы интенсификации которого требуется разработать.

1. Анализируя его механизм по первой теореме, отвлекаясь от физических свойств переносимой среды и учитывая следующее:
 - состав элементарных процессов;
 - ячейка действия элементарного процесса (кристалл, частица, пузырек газа, пара и т.д.);
 - наличие перемещающейся границы фазового перехода, отложения частиц, изменения агрегатного состояния, перемещение реакционного фронта, разложения, фронта испарения, фронта адсорбции, фронта

кристаллизации, замораживания, плавления, перемещения влаги и пара – основа формулирования задачи Стефана.

- скалярный или векторный характер переносимой среды (независимо от ее физических свойств);
- наличие связей между параметрами процесса, наличие изопараметриссы процесса (изотерма, изобара, изохора, изогидраты, пресыщения, перегрева, объемных соотношений, массовых соотношений между компонентами);
- участие процессов переноса 1-го порядка и 2-го порядка на различных уровнях математической модели;
- процессы переноса в элементарной ячейке, между ячейками, между совокупностями ячеек, в слое, аппарате, между аппаратами и секциями;
- построение расчетных схем процессов в общей иерархической структуре процесса.

В этом состоит анализ механизма процесса.

2. Подбор тестового процесса по представленному механизму разрабатываемого процесса. На основе тестового процесса (вторая теорема) и его математической модели осуществляется установление аналогов между параметрами проектируемого разрабатываемого и тестового процесса (третья теорема).
3. Путем замены параметров тестового процесса их аналогами из разрабатываемого процесса осуществляется составление математической модели разрабатываемого процесса. Установление изопараметрисс процесса объемных и массовых соотношений между параметрами по аналогам (вторая и третья теоремы). Проверка идентичности моделей, взаимосоответствия аналогов, различия физической природы процессов и общности механизмов переноса.
4. Отыскание полей распределения параметров процесса, их движущих сил, путем интегрирования дифференциальных уравнений процесса по схеме тестового процесса.

5. Установление градиентов параметров, определяющих движущие силы процессов путем дифференцирования по направлениям полученных интегралов полей распределения параметров.
6. Установление коэффициентов интенсивности, процессов, узких мест, лимитирующих стадий по аналогии и разработка методов интенсификации проектируемого процесса, установление новых физических эффектов по аналогии с эффектами, проявленными в тестовом процессе.

Рассмотрим некоторые математические модели одного из процессов сварочного производства, описывающие форму поверхности сварочного шва.

Впервые основное уравнение теории капиллярности, описывающее форму равновесной поверхности капиллярной жидкости в поле силы тяжести, для анализа формирования швов в условиях дуговой сварки применено Волошкевичем Г.З.. [3].

Записав это уравнение для цилиндрической поверхности сварочной ванны в виде

$$\frac{\frac{d^2 y}{dh^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dh}\right)^2\right]^{3/2}} = \frac{g h + p_0}{\sigma}, \quad (1)$$

автор [3] методом графического интегрирования получил семейство интегральных кривых этого уравнения, описывающих форму поверхности швов, формирующихся при сварке в различных пространственных положениях.

Наложив соответствующую кривую на профиль реального углового шва, Волошкевич Г.З. получил достаточно хорошее соответствие расчетной и реальной формы углового шва (рис. 1).



Рис. 1-Сравнение реальной и теоретической формы углового шва

Решение уравнения (1) в квадратурах для расчета формы поверхности валика, наплавленного в нижнем положении, получено Емельяновым И.Л. в [4]. По этому решению уравнение кривой, описывающей профиль поверхности шва (наплавленного валика), записывается в виде

$$y = \int_0^h \frac{\frac{x^2}{2a^2} + \frac{x}{R_0} + C}{\sqrt{1 - \left[\frac{x^2}{2a^2} + \frac{x}{R_0} + C \right]^2}} dx \quad (2)$$

где h - высота шва; R_0 - радиус кривизны в верхней точке поверхности валика. Все расчеты были выполнены автором [4] для конкретного значения капиллярной постоянной $a_k = 23.2 \text{ мм}^2$.

В работе [5] Емельянов И.Л. распространил решение (2) на угловые швы.

Из данной модели следует, что такие дефекты углового шва, как подрез на вертикальной стенке или наплыв на горизонтальной, объяснены неблагоприятным сочетанием величины катета шва, площади наплавленного металла и капиллярной постоянной; с помощью модели возможна количественная оценка условий появления таких дефектов.

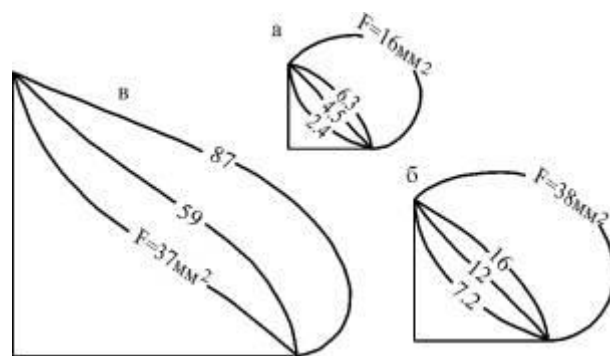


Рис. 2 - Теоретические формы поверхности угловых равнокатетных швов при различном соотношении между катетом K и площадью наплавленного металла F_n : а - $K=3$ мм; б - $K=5$ мм; в - $K=10$ мм

Нашигуши предложил решение уравнения (1) в следующем виде

$$x = \pm \frac{1}{2} \int_0^y \left[\frac{\sqrt{1+f(y)}}{\sqrt{1-f(y)}} - \frac{\sqrt{1-f(y)}}{\sqrt{1+f(y)}} \right] dy, \quad (3)$$

где функция $f(y)$ определяется выражением

$$f(y) = -\frac{R_0}{2\sigma} y^2 - \frac{1}{R_0} y.$$

это решение сведено в [5] к известным функциям - эллиптическим интегралам 1-го и 2-го рода F и E

$$x = \pm \frac{1}{\sqrt{a(a+b)}} \left\{ (1+b) \left[E(\varphi_1, s) - E\left(\frac{\pi}{2}, s\right) \right] - b \left[F(\varphi_1, s) - F\left(\frac{\pi}{2}, s\right) \right] \right\},$$

Данное решение было использовано также для описания профиля поверхности угловых швов при сварке в положении «в угол» и горизонтальных швов на вертикальной плоскости. На рис.3 показано сопоставление расчетной и экспериментально определенной формы поверхности углового шва, а также горизонтального шва на вертикальной плоскости.

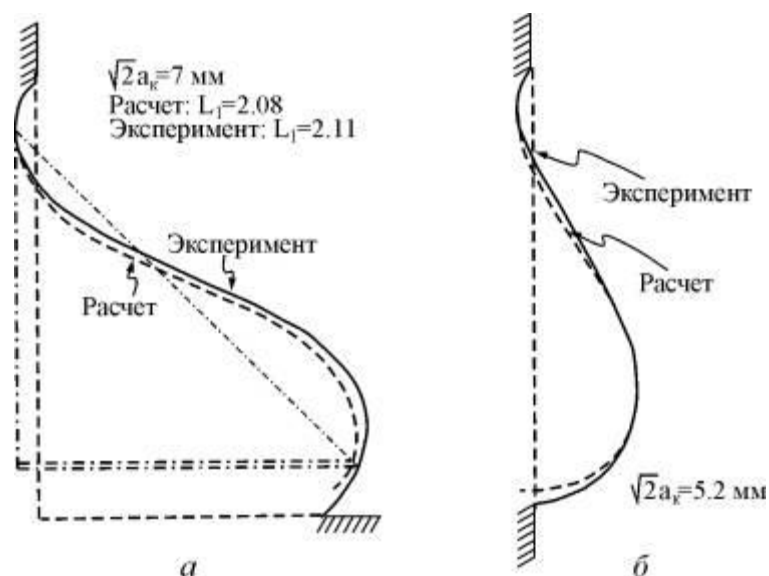


Рис. 3 - Сравнение реальной и теоретической формы углового шва (а) и горизонтального шва на вертикальной плоскости (б)

Метод аналогизации дает возможность для разработки новых технологических процессов, их интенсификации и создания новых энергосберегающих технологий.

Список использованных источников

1. Федоткин И. М. Интенсификация технологических процессов пищевых производств / И. М. Федоткин, Б. Н. Жарик, Б. И. Погоржельский. – К. : Техника, 1984 – 176 с.
2. Федоткин И. М. Разделение суспензий и гиперфильтрация / И. М. Федоткин, С. И. Криль, Л. И. Борщевская. – К. : Техника, 1972 – 166 с.
3. Волошкевич Г. З. Сварка вертикальных швов методом принудительного формирования / Г. З. Волошкевич // Юбилейный сборник, посвященный 80-летию Е. О. Патона. – К. : Изд-во АН УССР, 1981, – С. 371–395.
4. Емельянов И. Л. Влияние сил поверхностного натяжения и внешнего давления на форму поверхности наплавленного валика /

- И. Л. Емельянов // Труды ЛИВТ : Технология судостроения и судоремонта : тр. Ленингр. ин-та вод. трансп. – Л., 1982. – Вып. 135. – С. 135–145.
5. Емельянов И. Л. Влияние сил межфазного натяжения на формирование поверхности угловых швов / И. Л. Емельянов // Технология судостроения и судоремонта : тр. Ленингр. ин-та вод. трансп. – Л., 1983. – Вып. 142. – С. 120–126.
 6. Nishiguchi K. Fundamental research on bead formation in overlaying and fillet welding processes (Report 1). Surface tensional analysis of bead surface profile / K. Nishiguchi, T. Ohji, H. Matsui // J. of the Jap. Welding Soc. – 1986. – Vol. 45, №1. – P. 82–87.

Оболенская Т.А., Лазаренко В.И., Попов Н.В. «Методика аналогизации и ее применение к анализу сварочных процессов».

Рассматриваются вопросы формирования математических моделей холодной и горячей сварки, которые могут иметь аналогичные тестовые модели. Сформулированы правила математического моделирования разрабатываемого процесса. Показано, что метод аналогизации дает возможность для разработки новых технологических процессов, их интенсификации и создания новых энергосберегающих технологий.

Оболенська Т.А., Лазаренко В.І., Попов Н.В. «Методика аналогізації і її застосування до аналізу зварювальних процесів».

Розглядаються питання формування математичних моделей холодної і гарячої зварки, які можуть мати аналогічні тестові моделі. Сформульовані правила математичного моделювання процесу, що розробляється. Показано, що метод аналогізації дає можливість для розробки нових технологічних процесів, їх інтенсифікації і створення нових енергозберігаючих технологій.

Obolenskaya T.A., Lazarenko V.I., Popov N.V. «Method of analogization and its application to analysis of welding processes».

The questions of forming of mathematical models of the cold and hot welding, which can have analogical test models, are examined. The rules of mathematical design of the developed process are formulated. It is shown that the method of analogization is given by possibility for development of new technological processes, their intensification and creation of new energy-saving technologies.