

Верификация программы выполнена путем сравнения результатов расчетов с табличными данными [3, 4].

Программа выполнена в системе программирования Delphi 5.0 и функционирует на IBM-совместимых компьютерах с операционной системой Windows 9x/2000/XP.

Разработанная программа Mag 1.0 позволяет быстро и удобно подобрать режим сварки низколегированных сталей плавящимся электродом в углекислом газе для заданного типа сварного соединения по ГОСТ 14771 – 76 или нестандартного шва. Параметры режима сварки рассчитываются исходя из требования обеспечения максимальной производительности процесса сварки.

Библиографический список

1. ГОСТ 14771–76. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 60 с.
2. Юрьев В.П. Справочное пособие по нормированию материалов и электроэнергии для сварочной техники / В.П. Юрьев. – М.: Машиностроение, 1972. – 52 с.
3. Сварка в смеси активных газов / А.Е. Аснис [и др.]. – Киев: Наукова думка, 1982. – 216 с.
4. Акулов А.И. Технология и оборудование сварки плавлением / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич. – М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.
5. Коринец И.Ф. Математическая модель плавления электродной проволоки при дуговой сварке / И.Ф. Коринец // Автоматическая сварка. – 1995. – №10. – С. 39–43.

Получено 17.07.08.

УДК 621.791. 052

В. А. Судник, С. В. Рогов (Тула, ТулГУ)

ОЦЕНКА ГЕОМЕТРИИ ШВА С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВЕРИФИКАЦИИ МАГ-СВАРКИ СТАЛЕЙ С РАЗДЕЛКОЙ КРОМОК

Рассмотрена методика оценки брака при использовании функции Лапласа для определения вероятности выхода размеров шва за допуски. Методика применена для оценки геометрии стыкового сварного шва при МАГ-сварке стали 09Г2С, полученной с помощью компьютерной программы MAGSIM и экспериментальной верификации.

Введение

Внедрение автоматизированных и роботизированных технологий сварки связано с повышением интеллектуального уровня систем обеспече-

ния качества швов на этапе технологической подготовки производства, например, с помощью САПР, экспертных систем и нейронных сетей, построенных на основе обработки больших массивов эмпирических данных. Дальнейшее развитие таких систем неизбежно связано с увеличением объема теоретических расчетов, основанных на детерминированном математическом моделировании процесса сварки. Преимуществом теоретического моделирования является универсальность модели, которая разрабатывается один раз и совершенствуется по мере получения новых знаний об изучаемом процессе, а используется многократно. Создание прикладного программного обеспечения (ПО) для проектирования процессов сварки позволяет существенно ускорить проведение опытно-конструкторских работ.

Автоматическая сварка плавящимся электродом в среде активных защитных газов (МАГ-сварка) имеет широкое распространение в машиностроении. Существующие в этой области модели и программы имеют в основном академическую направленность и малопригодны для практики технологической подготовки производства. Создание адекватных физико-математических моделей и программ на их базе с разработкой алгоритмов параметрической оптимизации процесса сварки является требованием современного компьютеризированного производства.

Цель исследования – ускорение технологической подготовки сварочного производства путем прогнозирования вероятности возникновения дефектов (непровар, подрез, завышенная выпуклость и т.п.) при МАГ-сварке стыковых швов на базе численного моделирования процесса.

Эксперименты по МАГ-сварке стальных образцов

Для оценки вероятности брака при МАГ-сварке на предприятии ОАО «Тяжпромарматура» (Алексин, Тульская обл.) были проведены эксперименты [1], в ходе которых сделаны контрольные образцы на оборудовании известного производителя сварочной техники - инверторном источнике питания Trans Puls Synergic 4000 фирмы «Fronius» (Австрия), оснащенном устройством подачи проволоки Fronius VR 4000 и сварочной горелкой. Механизацию процесса осуществляли путем монтажа сварочной головки на сварочный автомат АД-231 отечественного производства. В ходе эксперимента для определения температуры подогрева использовали лазерный прибор Center 352, который измеряет температуру от -20 до $+500$ °С и принцип действия которого основан на сравнении интенсивностей излучения исходящего и входящего лучей.

Были изготовлены пластины из стали 09Г2С размерами 150 x 50 x 5 мм (размеры установлены НАКС для проведения сварочных работ по аттестации технологий сварки) со скосом кромок 50^0 и корнем 1 мм. Использовали сертифицированную проволоку марки Св08Г2С $d = 1,2$ мм и смесь

защитных газов 82 % Ar + 18 % CO₂. Образцы были сварены без зазора за один проход.

Для расчета вероятности брака представлены усредненные результаты эксперимента.

Моделирование и сравнение с экспериментом

Для имитации процесса сварки использовали программное обеспечение MAGSIM 3.4 [1-5], которое разработано в ТулГУ и численно имитирует форму и основные размеры швов, включая дефекты, возникающие в процессе сварки.

Сравнение экспериментальных шлифов и шлифов, полученных при имитации тех же процессов, показано на рис. 1 и 2. Видно, что хорошо воспроизводятся непровар и подрез.

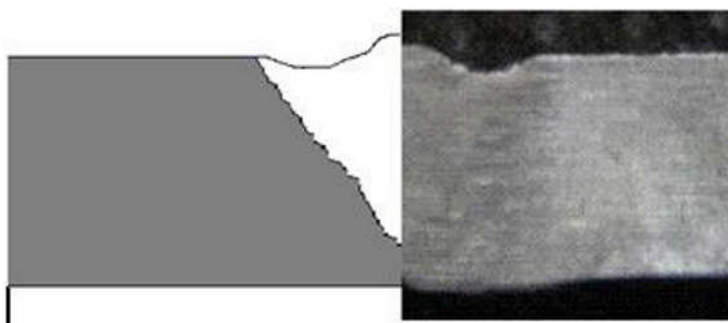


Рис. 1. Сравнение имитационного и экспериментального шлифов, полученных при скорости сварки 0,55 м/мин, скорости подачи проволоки 5,3 м/мин, напряжении 19,8 В

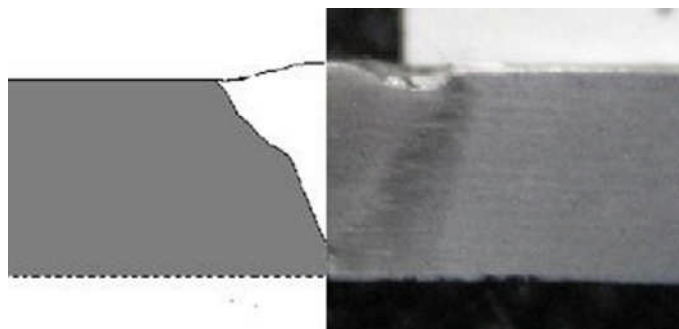


Рис. 2. Сравнение имитационного и экспериментального шлифов, полученных при скорости сварки 0,55 м/мин, скорости подачи проволоки 4,6 м/мин, напряжении 18,6 В

Сравнение экспериментальных и компьютерных шлифов показало их хорошее совпадение. Таким образом, программа MAGSIM 3.4 может быть использована для получения данных, необходимых для проведения оценки брака [6-8], что должно снизить затраты при производстве сварных конструкций еще на стадии проектирования.

По результатам верификации были получены усредненные входные параметры для проведения оценки вероятности брака (табл. 1).

Таблица 1

Результаты верификации

Размеры шва, мм	Номинал	Напряжение		Скорость сварки		Скорость подачи проволоки	
		min	max	min	max	min	max
Ширина	8,2	8,0	8,3	8,3	8,1	8,0	8,4
Выпуклость	1,1	0,9	1,2	1,0	1,15	1,2	1,3
Проплавление	5,0	4,8	5,0	5,0	4,2	4,5	5,0

Диагностика возникновения брака в размерах шва

На качество сварки влияет ряд факторов. Ими являются погрешности параметров режима сварки, установки, химического состава материала проволоки и основного металла, газа. Они вызывают рассеяние размеров шва, полученных при одних и тех же условиях. Для выявления и анализа закономерностей распределения размеров шва при их рассеянии применяются методы математической статистики.

Браком при сварке считается отклонение Δy геометрических размеров шва от стандартного, которое превышает допустимое значение D . Причиной отклонения является множество отклонений Δx параметров сварки. Например, при дуговой сварке – это скорость сварки, скорость подачи проволоки и напряжение. Очевидно, что эти отклонения вызывают различные отклонения размеров шва. Чувствительность размера шва к параметру оценивается абсолютным коэффициентом

$$K_x^y = \frac{\Delta y}{\Delta x}. \quad (1)$$

Абсолютный коэффициент K_x^y имеет размерность. Для оценки общего отклонения от действия множества разных факторов удобно использовать безразмерный относительный коэффициент чувствительности

$$K_{xy} = K_x^y \frac{\bar{y}}{\bar{x}}, \quad (2)$$

где \bar{y} и \bar{x} – номинальные значения параметров y и x соответственно.

Такие относительные коэффициенты позволяют связать среднеквадратичные отклонения размера шва S_y и множества технологических факторов S_{xi} :

$$S_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n (K_{xyi} S_{xi})^2}, \quad (3)$$

где n – количество факторов.

Для определения доли швов, не соответствующих стандарту, используется функция Лапласа $\Phi(t)$. При этом допускается, что отклонения размера шва S_y распределены по нормальному закону [2]:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (4)$$

где $t = \frac{D}{S_y}$ – аргумент функции Лапласа.

Величина $\Phi(t)$ – доля швов, удовлетворяющих допуску. В случае одностороннего ограничения размера шва допуском доля брака определяется по формуле

$$B = 0,5 - \Phi(t). \quad (5)$$

В случае двухстороннего ограничения доля брака будет

$$B = 0,5 - \Phi(t_1) - \Phi(t_2), \quad (6)$$

где $t_1 = \frac{D_1}{S_y}$ и $t_2 = \frac{D_2}{S_y}$ – аргументы функции Лапласа; D_1 и D_2 – верхнее и нижнее допускаемые отклонения.

Рассмотрим оценку вероятности несоответствия геометрической формы стыковых швов разделке кромок. При этом учитываем нестабильность: скорости сварки, напряжения и скорости подачи проволоки.

Коэффициент чувствительности рассчитывается как отношение отклонений выходного параметра моделирования к входному параметру по формуле (2). Допустимо возможные отклонения определяются для того, чтобы определить диапазон значений, при которых сохраняется нормальное формирование сварного соединения при отклонении от оптимальных параметров сварки. В качестве выходных параметров проверяются размеры шва: ширина, выпуклость сверху и глубина проплавления. Результаты эксперимента приведены в табл. 2.

Таблица 2

Допустимо возможные отклонения параметров

Параметр	Отклонения	
	min	max
Скорость сварки, м/мин	0,46	0,55
Скорость подачи проволоки, м/мин	4,30	4,70
Напряжение, В	17,9	19,7

Коэффициент чувствительности размеров шва к нестабильности параметров сварки рассчитывался по формуле (2). Рассчитанные значения коэффициента чувствительности приведены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты чувствительности

Размеры шва, мм	Коэффициенты чувствительности размеров шва к нестабильности параметров сварки		
	Напряжение дуго, В	Скорость сварки, м/мин	Скорость подачи проволоки, м/мин
Ширина	0,37	0,12	0,49
Выпуклость	0,67	0,42	0,33
Проплавление	0,40	0,80	1,00

Из табл.3 видно, что значение высоты усиления шва наиболее чувствительно к напряжению сварки и практически одинаково чувствительно к скорости сварки и подаче проволоки. Скорость сварки и подачи проволоки наибольшее влияние оказывает на глубину проплавления.

Дисперсия параметров находится с целью определения зависимости выходного параметра от чувствительности процесса (табл. 4).

Таблица 4

Дисперсия параметров

Параметр	Номинал	S_x , %
Скорость сварки, м/мин	0,55	5
Скорость подачи проволоки, м/мин	6,35	5
Напряжение, В	18,8	5

Дисперсия рассчитывается по формуле (3). Полученные данные приведены в табл. 5.

Таблица 5

Вероятность отклонения размера шва

Размеры шва, мм	Дисперсия, %
Ширина шва	3,11
Высота усиления шва	15,91
Глубина проплавления	9,64

Вероятность выхода размеров шва за допуск рассчитывается с целью определения процента брака, который возможен при получении сварного соединения [3]. Эмпирическое среднее арифметическое значение X определяется по формуле

$$X = \frac{D}{S}, \quad (7)$$

где D – отклонение, %; S – дисперсия, %.

Затем определяется вероятность отклонения размера шва, т.е. процентное количество брака B :

$$B = 0,5 - \Phi(x), \quad (8)$$

где $\Phi(x)$ – функция Лапласа (4) нормального распределения [4].

Согласно приведенным формулам определяем вероятность отклонения размеров шва. Полученные значения сведены в табл. 6.

Таблица 6

Сводная таблица вероятности отклонения размеров шва

Параметр шва, мм	y_0 , мм	D_{y_0} , %	X	$\Phi(x)$	B , %
Ширина	0,82	10	3,22	0,4989	0,07
Выпуклость	0,11	10	0,63	0,2357	26,43
Проплавление	0,25	5	0,52	0,1985	30,15

Выводы

1. Методика оценки вероятности брака при сварке позволяет анализировать отклонения формирования сварного шва, варьируя скоростями сварки и подачи проволоки и напряжением, с помощью экспериментальных данных или пакета программ MAGSIM.

2. Установлено, что наиболее вероятен брак по глубине проплавления и высоте выпуклости шва и заметное влияние на эти параметры оказывают скорость сварки и напряжение дуги.

3. Показана возможность решения задачи диагностики вероятности возникновения брака по размерам шва и формы в зависимости от отклонений параметров режима сварки.

Библиографический список

1. Судник В.А. MAGSIM/WINDOWS: Компьютерная система прогнозирования качества МАГ-сварки угловых и стыковых швов в различных пространственных положениях / В.А.Судник, А.В. Иванов, О.А. Мокров // Компьютерные технологии в соединении материалов: сб. науч. тр. 3-й Всерос. науч.-техн. конф. - Тула: ТулГУ, 2002. - С. 138 – 143.

2. Николаев Г.А. Сварка в машиностроении: в 4 т. Т. 4 / Г.А. Николаев, Ю.Н. Зорин. - М.: Машиностроение, 1979. – 512 с.

3. Волченко В.Н. Вероятность и достоверность оценки качества / В.Н. Волченко. - М.: Металлургия, 1978. – 80 с.

4. Маталин А.А. Технология машиностроения / А.А. Маталин. - Л.: Машиностроение, 1985. – 312 с.

5. Судник В.А. Математическое моделирование процессов сварки плавлением. Компьютерные технологии в соединении материалов / В.А. Судник // Тез. докл. Всерос. науч.-техн. конф. - Тула: ТулГУ, 1995. - С. 15-18.

6. Судник В.А. Основы научных исследований и техника эксперимента / В.А. Судник, В.А. Ерофеев. - Тула: ТулПИ, 1988. - 95 с.

7. Судник В.А. Компьютерное прогнозирование и оптимизация качества дуговой сварки плавлением в активных газах / В.А. Судник, А.В. Иванов // Защита-95: тез. докл. междунар. Конгресса – М.: ГАНГ им. И.М. Губкина, 1995. - С. 188-189.

8. Судник В.А. Подсистема "Формирование шва при МИГ/ МАГ сварке" для прогнозирования качества в САПР и экспертных системах / В.А. Судник., А.В. Иванов // САПР и микропроцессорная техника в свароч. пр-ве. - М.: МДНТП, 1991. - С. 35-42.

Получено 17.07.08.

УДК 669.056.9

В.А. Ерофеев, Е.И. Курьянинова (Тула, ТулГУ)

КОМПЬЮТЕРНАЯ ИМИТАЦИЯ ЛАЗЕРНОЙ ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ

Разработана физико-математическая модель лазерной газопорошковой наплавки, основанная на решении системы дифференциальных уравнений энергии и равновесия давлений на поверхности расплава. Описан алгоритм численного решения, позволяющий рассчитывать распределение температур и форму поверхности ванны расплава и наплавленного валика при заданных параметрах технологического процесса.

При создании технологии наплавки поверхности необходимо определить параметры процесса, при которых обеспечиваются требования к качеству валика, наплавленного за один проход, и, в первую очередь, – к форме поперечного сечения. При проектировании технологии наплавки нужно определить параметры процесса, при которых форма валика соответствует предъявляемым требованиям. Эту задачу трудно решить экспериментально. Задачи проектирования технологии наплавки предлагается решать на основе анализа результатов виртуального воспроизведения процесса. Для этого нужно создать компьютерную модель, воспроизводящую