

УДК 621.791.75

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВА МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ СЛОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ

В.Д. Кассов, проф., д.т.н., О.О. Разумович, асп.,
Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

Аннотация. Разработана математическая модель для расчета с достаточной прочностью химического состава наплавленного металла с учетом долей участия основного и наплавленного металла, металла предыдущего валика в последующем и относительного шага наплавки. Эксперименты показали, что для получения качественного слоя при наплавке порошковой проволокой сложной конструкции на различных режимах целесообразно шаг наплавки выбирать в пределах 0,5–0,7.

Ключевые слова: наплавление, порошковая проволока, ремонт, шаг наплавки, математическая модель, прочность.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДУ МЕТАЛУ, НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВИМ ДРОТОМ СКЛАДНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

В.Д. Кассов, проф., д.т.н., О.О. Разумович, асп.,
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

Анотація. Розроблено математичну модель для розрахунку з достатньою міцністю хімічного складу наплавленого металу з урахуванням часток участі основного і наплавленого металу, металу попереднього валика в наступному і відносного кроку наплавлення. Експерименти показали, що для отримання якісного шару при наплавленні порошковим дротом складної конструкції на різних режимах доцільно крок наплавлення обирати в межах 0,5–0,7.

Ключові слова: наплавлення, порошковий дріт, ремонт, крок наплавлення, математична модель, міцність.

MATHEMATICAL SIMULATION OF THE METAL DEPOSITED CORED WIRE COMPLEX DESIGNS

V. Kassov, Prof., Dr., Eng. Sc., O. Razumovich, postgraduate,
Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk

Abstract. A mathematical model to calculate a chemical composition of weld metals with sufficient strength, taking into account the percentage of the basic and weld metal, metal beads in the previous and subsequent welding steps. Experiments have shown that, in order to get a quality layer while fusing with a complex cored wire at various modes, it is reasonable to select within 0,5–0,7 welding steps.

Key words: fusing, cored wire, repair, welding step, mathematical model, strength.

Введение

В процессе эксплуатации агрегаты и детали автомобиля изнашиваются в различной степени – в зависимости от условий работы и

износостойкости [1]. Восстановление работоспособности изношенных деталей может быть достигнуто двумя путями: применением метода ремонтных размеров или наращиванием металла на изношенную поверхность

до номинальных размеров [2]. Первый путь имеет ограниченные возможности, поскольку число ремонтных размеров не может быть бесконечно большим. Возникает необходимость в хранении и использовании большого количества сопрягаемых деталей с различными ремонтными размерами. Выбор способа наращивания изношенных деталей до номинального размера определяет степень работоспособности установленных деталей и стоимость их восстановления. В общем объеме восстановительных операций значительное место занимает наплавка порошковыми проволоками [3]. Однако особенности процесса наплавки порошковыми проволоками сложной конструкции изучены недостаточно.

Анализ публикаций

Анализ литературных данных показал, что использование технологии наплавки металла порошковой проволокой не только с целью создания новых сварных конструкций, но и с целью исправления дефектов и ремонта готовой продукции, представляется актуальным для современного машиностроения [1–3].

Получение качественного сварного соединения с требуемым химическим составом является основной задачей наплавки металла, поэтому совершенствование технологии наплавки, оптимизация режимов и рациональный подход к выбору материалов является актуальным направлением для исследований [1–4].

Поэтому представляло интерес изучение химического состава наплавленного металла с целью создания технологии, которая позволила бы получить качественное, бездефектное соединение.

Цель и постановка задачи

Целью работы является расчет состава металла, наплавленного порошковой проволокой сложной конструкции. Для достижения указанной цели решались следующие задачи:

- исследовать химический состав наплавленного металла;
- произвести расчет химического состава наплавленного металла с учетом долей участия основного и наплавленного металла, металла предыдущего валика в последующем и относительного шага наплавки.

Расчет состава металла, наплавленного порошковой проволокой сложной конструкции

При наплавке малого числа слоев для расчета состава каждого наплавленного слоя необходим учет доли участия основного металла, $(n-1)$ -го слоя в n -м металле предыдущего валика в последующем. Концентрацию элемента в первом слое после стабилизации состава, т.е. наплавки трех-пяти валиков, можно определить согласно [5]

$$Me' = \frac{1}{1-\delta} [Me_0\varphi_1 + Me_H(1-\varphi_1-\delta)], \quad (1)$$

где Me' , Me_0 , Me_H – концентрация элемента в первом слое, основном и наплавленном металле; δ – доля участия металла предыдущего валика в последующем; φ_1 , $1-\varphi_1-\delta$ – доли участия основного и наплавленного металла второго и последующего валиков (рис. 1).

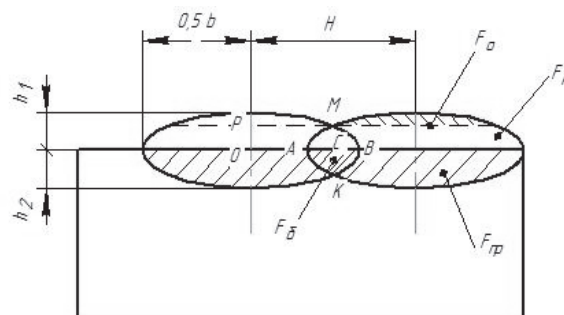


Рис. 1. К расчету доли участия металла предыдущего валика в последующем

Для определения концентрации элемента в n -м слое преобразуем формулу (1) следующим образом

$$\begin{aligned} Me' &= \frac{Me_0\varphi_1}{1-\delta} - \frac{Me_H\varphi_1}{1-\delta} + \frac{Me_H(1-\varphi_1)}{1-\delta} = \\ &= Me_H - (Me_H - Me_0) \frac{\varphi_1}{1-\delta}. \end{aligned} \quad (2)$$

Из формулы (2) определим содержание элемента в последующих слоях, если вместо концентрации элемента в основном металле Me_0 подставить содержание элемента в предыдущем слое (при условии постоянства φ_1 и δ)

$$Me^2 = Me_H - (Me_H - Me') \frac{\varphi_1}{1-\delta} =$$

$$= Me_H - (Me_H - Me_0) \left(\frac{\Phi_1}{1-\delta} \right)^2.$$

Тогда концентрация элемента в n -м слое наплавки будет равна

$$Me^n = Me_H - (Me_H - Me_0) \left(\frac{\Phi_1}{1-\delta} \right)^n. \quad (3)$$

Таким образом, для расчета содержания элемента в n -м слое наплавки необходимо знать его концентрацию в основном и наплавленном металле и доли участия основного металла в металле второго и последующих валиков Φ_1 и доли участия металла предыдущего валика в последующем δ .

Величину Me_H найдем по формуле (3), Φ_1 и δ можно определить исходя из следующих соображений. Из макрошлифов наплавленных валиков установлено, что форму сечения усиления наплавленного валика можно принять в виде параболы (рис. 1) с уравнением вида

$$y = ax^2 + h_1,$$

где h_1 – высота усиления.

Из соотношения $a \left(\frac{b}{2} \right)^2 + h_1 = 0$ находим

$$a = -4h_1/b^2.$$

Итак, форму сечения наплавленного валика можно описать уравнением

$$y = -\frac{4h_1x^2}{b^2 + h_1} \quad (4)$$

Найдем площадь сечения наплавленного валика h_2 и уравнением вида

$$F_H = 2 \int_0^{b/2} y dx = 2 \int_0^{b/2} \left(h_1 - \frac{4h_1}{b^2} x^2 \right) dx = \frac{2}{3} h_1 b.$$

Форму сечения проплавления основного металла можно принять в виде полуэллипса с полуосями $b/2$ и h_2 и уравнением вида

$$\frac{x^2}{(b/2)^2} + \frac{y^2}{h_2^2} = 1. \quad (5)$$

Откуда находим

$$y = \frac{2h_2}{b} \sqrt{(b/2)^2 - x^2}.$$

Тогда площадь сечения проплавления металла

$$\begin{aligned} F_{\text{пр}} &= 2 \int_0^{b/2} y dx = \frac{4h_2}{b} \int_0^{b/2} \sqrt{(b/2)^2 - x^2} dx = \\ &= \frac{4h_2}{b} \cdot \frac{b^2}{8} \cdot \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{4} h_2 b. \end{aligned}$$

Итак, площадь сечения слоя

$$F = F_H + F_{\text{пр}} = \left(\frac{2}{3} h_1 + \frac{\pi}{4} h_2 \right) b. \quad (6)$$

Найдем площадь криволинейного треугольника АМВ. Имеем

$$\begin{aligned} F_{AMB} &= 2 \int_{H/2}^{b/2} \left(-\frac{4h_1}{b^2} x^2 + h_1 \right) dx = \\ &= \frac{2}{3} h_1 b - h_1 b \left[\frac{H}{b} - \frac{1}{3} \left(\frac{H}{b} \right)^3 \right]. \end{aligned}$$

Аналогично находим площадь криволинейного треугольника АКВ

$$\begin{aligned} F_{AKB} &= 2 \int_{H/2}^{b/2} \frac{2h_2}{b} \sqrt{\left(\frac{b}{2} \right)^2 - x^2} dx = \\ &= \frac{\pi h_2 b}{4} - \frac{h_2 b}{2} \arcsin \frac{H}{b} - \frac{h_2 H}{2} \sqrt{1 - \left(\frac{H}{b} \right)^2}. \end{aligned}$$

Тогда площадь криволинейного четырехугольника АМВК составляет

$$\begin{aligned} F_{AMBK} &= \frac{2}{3} h_1 b - h_1 b \left[\frac{H}{b} - \frac{1}{3} \left(\frac{H}{b} \right)^3 \right] + \\ &+ \frac{\pi h_2 b}{4} - \frac{h_2 b}{2} \arcsin \frac{H}{b} - \frac{h_2 H}{2} \sqrt{1 - \left(\frac{H}{b} \right)^2} \quad (7) \end{aligned}$$

Обозначая относительный шаг наплавки H/b через α , получим

$$\delta = \frac{F_{AMBK}}{F} = \left[\frac{2}{3}h_1 + \frac{\pi}{4}h_2 - h_1 \left(\alpha - \frac{\alpha^3}{3} \right) - \frac{h_2}{2} \arcsin \alpha - \frac{h_2}{2} \alpha \sqrt{1 - \alpha^2} \right] / \left(\frac{2}{3}h_1 + \frac{\pi}{4}h_2 \right).$$

Вводя коэффициент отношения высоты усиления h_1 к глубине проплавления h_2 ($\beta = h_1/h_2$), будем иметь

$$\delta = \left[\frac{\pi}{4} + \frac{2}{3}\beta - \beta \left(\alpha - \frac{\alpha^3}{3} \right) - \frac{h_2}{2} \arcsin \alpha - \frac{1}{2} \alpha \sqrt{1 - \alpha^2} \right] / \left(\frac{\pi}{4} + \frac{2}{3}\beta \right). \quad (8)$$

Таким образом, доля участия металла предыдущего валика в последующем зависит от относительного шага наплавки α и коэффициента усиления $\beta = h_1/h_2$.

Эксперименты показали, что для получения качественного слоя при наплавке порошковой проволокой сложной конструкции на различных режимах целесообразно шаг наплавки выбирать в пределах 0,50–0,70.

В зависимости от режимов наплавки и шлаковой системы сердечника порошковой проволоки коэффициент усиления β изменяется в пределах 1,5–3,5.

Долю участия основного металла в металле второго и последующих валиков определим по формуле

$$\varphi_1 = \frac{F_{np} - F_{AKB}}{F_{np} + F_H} = \frac{h_2 \arcsin \alpha + h_2 \alpha \sqrt{1 - \alpha^2}}{2 \left(\frac{2}{3h_1} + \frac{\pi}{4}h_2 \right)}.$$

Разделив числитель и знаменатель на h_2 , окончательно получим

$$\varphi_1 = \frac{\arcsin \alpha + \alpha \sqrt{1 - \alpha^2}}{\frac{4}{3}\beta + \frac{\pi}{2}}. \quad (9)$$

При наплавке необходимо обеспечить заданный химический состав Me_H верхнего слоя. Если обозначить относительное отклонение концентрации легирующего элемента в n -ом

слое от содержания его в наплавленном металле через

$$\Delta = \frac{|Me^n - Me_H|}{Me_H} \cdot 100\%, \quad (10)$$

то из формулы можем определить, что

$$\frac{\Delta}{100} = \left(1 - \frac{Me_0}{Me_H} \right) \left(\frac{\varphi_1}{1 - \delta} \right)^n.$$

Откуда находим, что заданный состав наплавленного металла по легирующему элементу Me может быть получен в n -ом слое, где n рассчитывается по формуле

$$n = \frac{\ln(\Delta/100) - \ln(1 - Me_0/Me_H)}{\ln \varphi_1 - \ln(1 - \delta)}. \quad (11)$$

Выводы

Разработана математическая модель для расчета с достаточной точностью химического состава наплавленного металла с учетом долей участия основного и наплавленного металла, металла предыдущего валика в последующем и относительного шага наплавки.

Литература

- 1 Easterling K. Tomorrow's materials / K. Easterling. – London: The Institute of Metal, 1988. – 315 p.
- 2 Патон Б.Е. Проблемы сварки на рубеже веков / Б.Е. Патон // Автоматическая сварка. – 1999. – №1. – С. 4–15.
- 3 Гладкий П.В. Наплавочные порошковые ленты и проволоки: справочник / П.В. Гладкий. – К.: Техніка. – 1991, 124 с.
- 4 Кассов В.Д. Минимизация потерь наплавленного порошковой лентой металла / В.Д. Кассов // Автоматическая сварка. – 2001. – №8. – С. 32–33.
- 5 Павлюк С.К. Расчет химического состава металла, наплавленного электродуговым способом / С.К. Павлюк, И.М. Кузьменко // Сварочное производство. – 1975. – №2. – С. 11–13.

Рецензент: И.С. Наглюк, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 12 мая 2014 г.