

11. Malinov L.S. Influence of aging on development martensite transformations at deformation in metastable austenite steels / L.S. Malinov, V.I. Konop-Ljashko // Proceedings of the Academy of Sciences USSR. Metals. - 1982. - № 3. - P. 130-133. (Rus.)
12. Pat. Ukraine № 93302, МПК В23К 35/368. Flux-cored wire / L.S. Malinov, V.L. Malinov, A.A. Golyakovich, L.N. Orlov; Priazovsky State Technical University; Claim 17.07.2009, Publ. 25.01.2011, Bull. № 2. (Ukr.)

Рецензент: С.В. Гулаков
д-р техн. наук, проф. каф. МиТСП ГУВЗ «ПГТУ»

Статья поступила 30.04.2012

УДК 621.791.927.5

©Ковалевский А.И.¹, Носовский Б.И.²

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В МЕХАНИЧЕСКИЕ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКОГО КОНТУРА

Для сварки в среде углекислого газа без коротких замыканий и разбрызгивания необходимо организовать принудительный перенос электродного металла. Для его осуществления разработан преобразователь электрических колебаний в механические. Для уточнения геометрических параметров преобразователя, резонансной частоты и амплитуды верхней ветви преобразователя разработана математическая модель, учитывающая влияние вынужденных колебаний.

Ключевые слова: принудительный перенос, автоматическая, полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа, резонансная частота колебаний, амплитуда.

Ковалевський О.І., Носовський Б.І. Розробка математичної моделі вимушених коливань перетворювача електричних коливань на механічні. Для зварювання в середовищі вуглекислого газу без коротких замикань та розбризкування необхідно організувати примусове перенесення електродного металу. Для його здійснення розроблений перетворювач електричних коливань на механічні. Для уточнення геометричних параметрів перетворювача, резонансної частоти і амплітуди верхньої гілки перетворювача розроблено математичну модель, що враховує вплив вимушених коливань.

Ключові слова: примусове перенесення, автоматичне, напівавтоматичне зварювання в середовищі вуглекислого газу, резонансна частота коливань, амплітуда.

O.I. Kovalevsky, B.I. Nosovskiy. Development of mathematical model of forced vibration transducer electrical oscillations into mechanical. For welding in carbon dioxide without faults and spraying is necessary to organize the forced transfer of electrode metal. Designed and made by the inverter electrical oscillations into mechanical. To clarify the geometric parameters of the converter, the resonant frequency and the amplitude of the upper branch of the converter developed a mathematical model that takes into account the effect of the induced oscillations.

Keywords: compulsory transfer, automatic, semiautomatic welding in carbon dioxide, the resonant frequency, amplitude.

¹ аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² канд. техн. наук, доцент ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

Постановка проблемы. Полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа имеет ряд преимуществ: высокая производительность, маневренность, низкая стоимость сварочных материалов. Однако, наряду с преимуществами, этот вид сварки имеет существенный недостаток – повышенное разбрызгивание электродного металла. В зависимости от диаметра электрода и параметров режима сварки потери металла на разбрызгивание могут достигать до 40% [1, 2], что помимо увеличения расхода сварочной проволоки, повышает трудоемкость изготовления сварных конструкций из-за необходимости зачистки швов и прилегающих к ним поверхностей деталей.

Анализ последних исследований и публикаций. Одним из эффективных способов снижения разбрызгивания электродного металла является сообщение торцу электрода продольных колебаний. В способе сварки, предложенном немецкой фирмой «Fronius» [3], результат достигается модуляцией скорости подачи электрода за счет накопительного буфера, а в момент возникновения короткого замыкания с помощью специального источника питания ограничивают величину сварочного тока. Недостатком этого способа является то, что накопительный буфер находится слишком далеко от сварочной горелки, из-за чего необходимо преодолевать дополнительную силу инерции, сварочная система становится более громоздкой. Максимальная частота колебаний, которая используется при сварке, равна 70 Гц. Для контроля эффективного управления током короткого замыкания используется специальный источник питания.

Авторами предложено использовать механический колебательный контур с электромагнитным возбуждением, обеспечивающим колебания торца электрода с частотой 100-300 Гц, позволяющей снизить потери электродного металла [4].

В данной статье разработана математическая модель резонансного преобразователя электрических колебаний в механические, позволяющая определить резонансную частоту колебаний верхней ветви преобразователя. Преобразователь состоит из верхней и нижней ветвей, колеблющихся с одной и той же частотой. Его схема приведена в работе [4].

Цель статьи – разработать математическую модель преобразователя электрических колебаний в механические, позволяющую, задавшись геометрическими параметрами верхней ветви, добиться необходимой резонансной частоты для обеспечения принудительного переноса электродного металла при сварке. Для этого необходимо рассчитать резонансные частоты колебаний верхней ветви преобразователя.

Изложение основного материала. Рассмотрим преобразователь электрических колебаний в механические как призматический стержень АВ постоянного сечения, один конец которого (точка А) жестко зашпелен, а второй (точка В) свободный (рис. 1).

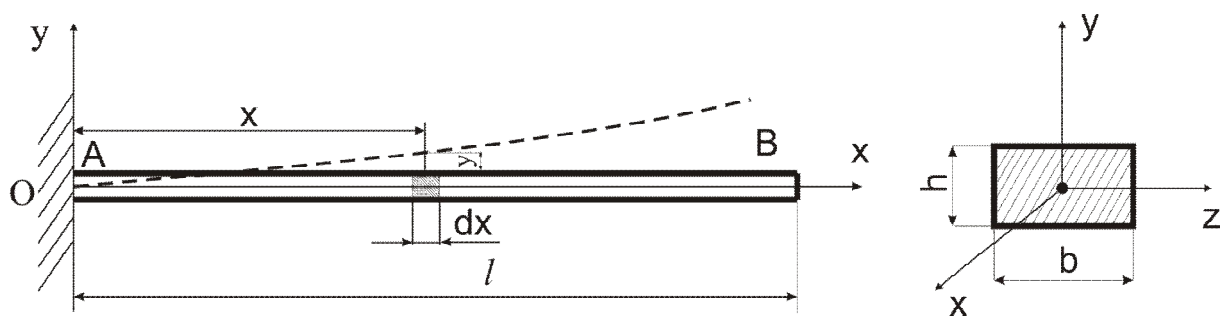


Рис. 1 – Расчетная схема верхней ветви преобразователя

Рассмотрим поперечные (изгибные) колебания стержня в плоскости Хоу, которая является плоскостью симметрии для его поперечных сечений. Обозначим:

- l – длина стержня, м;
- b – ширина стержня, м;
- h – высота стержня, м;
- $F=b \cdot h$ – площадь поперечного сечения, м²;
- ρ – плотность материала стержня, $\frac{кг}{м^3}$;

E – модуль упругости материала стержня, $\frac{H}{M^2}$;

I – осевой момент инерции поперечного сечения, $I = \frac{bh^3}{12}$, M^4 ;

y – поперечное перемещение малого элемента стержня, расположенного на расстоянии x от левого конца стержня; отсчитывается от положения статического равновесия стержня, M .

Используемое уравнение приведено в работе [5] (1):

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0, \quad (1)$$

учитывая, что

$$a = \sqrt{\frac{EI}{\rho F}}. \quad (2)$$

Решение уравнения (1) ищем в виде

$$y = X(x) \cdot T(t). \quad (3)$$

Подставив (3) в (1), получим (4)

$$\frac{\ddot{T}}{T} = -\frac{EI}{\rho F} \cdot \frac{X^{IV}}{X} \quad (4)$$

Для тождественного равенства (4) необходимо, чтобы каждая из частей равенства была постоянной. Обозначим эту постоянную $-p^2$. Получим два уравнения:

$$\ddot{T} + p^2 T = 0, \quad (5)$$

$$X^{IV} - \frac{\rho F \cdot p^2}{EI} X = 0, \quad (6)$$

где \ddot{T} – вторая производная от T по времени,
 X^{IV} – четвертая производная от X по x .

Уравнение (5) свидетельствует о том, что движение носит колебательный характер с частотой f . Уравнение (6) определяет формы колебаний. Решение уравнения (6), содержащее четыре постоянных интегрирования, рассматриваем с помощью метода, предложенного в работе [6]:

$$X = C_1 \sin kx + C_2 \cos kx + C_3 \operatorname{sh} kx + C_4 \operatorname{ch} kx, \quad (7)$$

$$\text{где } k = \sqrt[4]{\frac{mp^2}{EI}}, \quad (8)$$

m – погонная масса $m = \rho F$, $\frac{KZ}{M}$.

Методика записи общего решения: (9) представлена в работе [7].

$$X = C_1 \cdot S + C_2 \cdot T + C_3 \cdot U + C_4 \cdot V, \quad (9)$$

где

$$\left. \begin{aligned} S &= \frac{1}{2}(\operatorname{ch} kx + \cos kx) \\ T &= \frac{1}{2}(\operatorname{sh} kx + \sin kx) \\ U &= \frac{1}{2}(\operatorname{ch} kx - \cos kx) \\ V &= \frac{1}{2}(\operatorname{sh} kx - \sin kx) \end{aligned} \right\}. \quad (10)$$

Выражения S, T, U, V представляют собой функции Крылова [7, 8] и связаны между собой следующим образом:

$$S = \frac{1}{k} T', \quad T = \frac{1}{k} U', \quad U = \frac{1}{k} V', \quad V = \frac{1}{k} S', \quad (11)$$

где T', U', S', V' – первые производные от T, U, S, V по x .

В данной задаче число собственных частот p_i бесконечно велико; каждой частоте отвечает своя функция времени T_i и своя фундаментальная функция X_i . Общее решение уравнения (4) получится путем наложения частотных решений вида (3):

$$y = \sum_{i=1}^{\infty} x_i(x) T_i(t). \quad (12)$$

Для определения собственных частот и форм рассмотрим граничные условия для стержня АВ.

Для заземленного левого конца стержня (рис. 1) равны нулю прогиб $y = X \cdot T$, а также угол поворота $\varphi = X' \cdot T$ (13).

$$\begin{cases} X|_{X=0} = 0 \\ X'|_{X=0} = 0 \end{cases}. \quad (13)$$

Для свободного правого конца стержня (рис. 1) равны нулю поперечная сила $Q = EI \cdot X''' \cdot T$ и изгибающий момент $M = EIX'' \cdot T$ (14)

$$\begin{cases} X''|_{X=l} = 0 \\ X'''|_{X=l} = 0 \end{cases}. \quad (14)$$

Постоянные интегрирования C_1, C_2, C_3, C_4 , входящие в выражение (9), определяются из граничных условий (13) и (14).

$$\begin{cases} X' = k(C_1V + C_2S + C_3T + C_4U) \\ X'' = k^2(C_1U + C_2V + C_3S + C_4T) \\ X''' = k^3(C_1T + C_2U + C_3V + C_4S) \end{cases}. \quad (15)$$

Подставив значения (9) и (13), получим:

$$C_1 = C_2 = 0;$$

Произведя ту же операцию для (15) и (14), получим систему двух линейных однородных алгебраических уравнений относительно постоянных C_3 и C_4 (16).

$$\begin{cases} C_3(chkl + \cos kl) + C_4(shkl + \sin kl) = 0 \\ C_3(shkl - \sin kl) + C_4(chkl + \cos kl) = 0 \end{cases}. \quad (16)$$

Частотное уравнение получаем при условии неравенства нулю постоянных C_3 и C_4 , а следовательно нулю должен быть равен определитель составленный из коэффициентов системы (16).

$$[(chkl + \cos kl)^2 - (sh^2kl - \sin^2 kl) = 0] \longrightarrow \cos kl \cdot chkl + 1 = 0$$

$$\cos kl \cdot chkl = -1. \quad (17)$$

Корни частотного уравнения позволяют определить круговые собственные частоты f с применением формулы (8)

$$f^2 = \frac{EI}{m} k^4, \text{ то } f = k^2 \sqrt{\frac{EI}{m}}. \quad (18)$$

Обозначим корни уравнения (17) $\chi_i = k_i l$. Тогда собственные круговые частоты, с учетом того, что $I = \frac{bh^3}{12}$, $m = \rho \cdot b \cdot h$ будут равны

$$f_i = \left(\frac{\chi_i}{l} \right) \cdot \frac{h}{2} \sqrt{\frac{E}{3\rho}}, \quad (19)$$

где $\chi = kl$.

Приближенные значения этих корней можно определить согласно (6)

$$\chi_i \approx \left(i - \frac{1}{2}\right)\pi. \quad (20)$$

Собственные частоты равны (21)

$$f = \frac{f_i}{2\pi} = \frac{h}{4\pi} \left(\frac{\chi_i}{l}\right)^2 \sqrt{\frac{E}{3\rho}} \quad (\text{Гц}). \quad (21)$$

Для получения формулы вычисления «i»-той собственной формы, подставим значения постоянных $C_1=C_2=0$ и (10) в формулу (9)

$$X_i = \frac{1}{2} C_3 (ch k_i x - \cos k_i x) + \frac{1}{2} C_4 (sh k_i x - \sin k_i x). \quad (22)$$

Свяжем постоянные C_3 и C_4 с помощью первого из граничных условий (16)

$$\frac{C_3}{C_4} = -\frac{ch k_i l + \cos k_i l}{sh k_i l + \sin k_i l}. \quad (23)$$

Следовательно «i»-тая собственная форма имеет вид:

$$X_i = \frac{1}{2} C_3 \left[(ch k_i x - \cos k_i x) - \frac{ch k_i l + \cos k_i l}{sh k_i l + \sin k_i l} (sh k_i x - \sin k_i x) \right]. \quad (24)$$

Графическая зависимость резонансной частоты от длины верхней ветви преобразователя представлена на рис. 2:

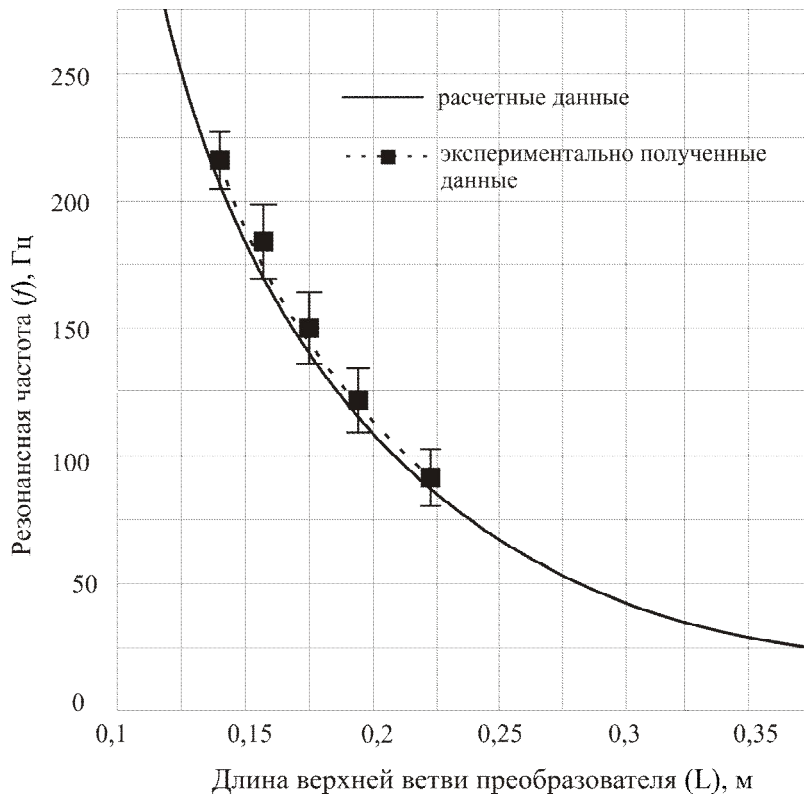


Рис. 2 – Зависимость резонансной частоты от длины верхней ветви преобразователя

Как видно из графика, расчетные данные практически совпадают с экспериментально полученными данными, что доказывает правильность расчета.

Для создания максимальной амплитуды необходимо, чтобы частота возмущающей силы была равна резонансной частоте колебаний верхней ветви преобразователя. Аналитически такую возмущающую силу можно представить формулой:

$$P_{\text{возм}} = \frac{P_0}{2} (1 - \cos \omega t). \quad (25)$$

Выводы

1. Разработанная математическая модель описывает взаимосвязь между геометрическими параметрами механического контура и резонансной частотой.
2. Настраивая частоту возмущающей силы в соответствии с параметрами математической модели, получаем резонансную частоту, необходимую форму и амплитуду колебаний механического контура.

Список использованных источников:

1. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом / А.Г. Потапьевский. – М. : Машиностроение, 1974. – 240 с.
2. Ленивкин В.А. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах / В.А. Ленивкин, Н.Г. Дюржеров, Х.Н. Сагиров. – М. : Машиностроение, 1989. – 264 с.
3. Бондаренко В.Л. Зарубежный опыт. Дуговая сварка с импульсной подачей электродной проволоки – процесс СМТ, предложенный фирмой «Фрониус» / В.Л. Бондаренко // Автоматическая сварка. – 2004. – № 12. – С.55-58.
4. Носовский Б.И. Разработка резонансного преобразователя электрических колебаний в механические для принудительного переноса электродного металла при сварке в среде углекислого газа / Б.И. Носовский, А.И. Ковалевский // Вестник ПГТУ. – 2012. – № 24. – С. 206-210.
5. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У. Уивер. – М. : Машиностроение, 1985. – 417 с.
6. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории упругих колебаний. – М. : Машиностроение, 1967. – 316 с.
7. Крылов А.Н. О некоторых дифференциальных уравнениях математической физики, имеющих применение в технических вопросах / А.Н. Крылов. – М.-Л. : Госиздат, 1950. – 368с.
8. Ананьев И.В. Справочник по расчету собственных колебаний упругих систем / И.В. Ананьев. – М. : Гостехиздат, 1946. – 325 с.

Bibliography:

1. Potapevsky A.G. Welding gas shielded consumable electrode / A.G. Potapevsky. – Moscow : Mashinostroyeniye, 1974. – 240 p. (Rus.)
2. Lenivkin V.A. Technological properties of the arc gas shielded / V.A. Lenivkin, N.G Dyrgerov, H.N. Sagirov. – Moscow : mashinostroyeniye, 1989. – 264 p. (Rus.)
3. Bondarenko V.L. International experience. Arc welding with pulsed feed of electrode wire - the process of CMT by the company, «Fronius» / V.L. Bondarenko // Avtomaticheskaya svarka. – 2004. – № 12. – P. 55-58. (Rus.)
4. Nosovsky B.I., Development of resonant converter of electrical oscillations in mechanical for compulsory transfer of electrode metal in welding in carbon dioxide environment/ B.I. Nosovsky, A.I. Kovalevsky // Herald PSTU. – 2012. – № 24. – P. 206-210. (Rus.)
5. Timoshenko S.P. Fluctuations in engineering / S.P. Timoshenko, D.H. Young, W. Weaver. – М. : Mashinostroyeniye, 1985. – 417 p. (Rus.)
6. Panovko J.G. Foundations of Applied theory of elastic vibrations. – М. : Mashinostroyeniye, 1967. – 316 p. (Rus.)
7. Krylov A.N. On some differential equations of mathematical physics with applications in technical matters / A.N. Krylov. – М.-L. : Gosizdat, 1950. – 368 p. (Rus.)
8. Ananiev I.V. Handbook on the calculation of natural vibrations of elastic systems / I.V. Ananiev. – Moscow-Leningrad : Gostekhizdat, 1946. – 325 p. (Rus.)

Рецензент: С.В. Гулаков
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 29.10.2012