УДК 681.3

Г.И. Грездов, д-р техн. наук, проф.,
Т.К. Филиппенко, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
Институт проблем моделирования в энергетике
им. Г.Е.Пухова НАН Украины, г. Киев

Аналитические способы построения траектории сварки различных поверхностей

Рассматриваются способы построения траектории сварки различных поверхностей. Предложен алгоритм для построения траекторий сварки поверхностей тел, представленных в неявной или параметрической форме.

Ключевые слова: траектория сварки, линии пересечений, сеточная модель.

Введение

При построении аналитических моделей создания траекторий сварки различных поверхностей будем рассматривать два варианта сварки.

Первый случай – траектория сварки находится на основном теле при пересечении его поверхностью сварки.

Второй случай – свариваются два или более тел. Траектория сварки проходит по линии пересечения тел, сварочная площадка представляет собой ребро с примыкающими к ним площадками свариваемых тел. Здесь тела предварительно отсечены: находится линия пересечения одного тела поверхностью другого и наоборот, внутренние части пересечений удаляются.

Построение траекторий сварки различных поверхностей

Используемые здесь поверхности тел и сварки могут быть представлены в неявной или параметрической форме.

Трехмерная поверхность основного тела задана в неявной форме уравнением:

$$F(x,y,z) = 0$$

или в параметрической форме системой уравнений:

$$\{x, y, z\} = \{F_x(d, g), F_y(d, g), F_z(d, g)\}.$$

Здесь x,y,z – координаты текущей точки на поверхности, а d и g – параметры, F, F_x, F_y, F_z – заданные функции трех и двух переменных.

Трехмерная поверхность сварки (в первом случае) или второго свариваемого тела задана либо в неявной форме уравнением [1]:

$$W(x, y, z) = 0.$$

либо в параметрической форме системой уравнений

$$\{x, y, z\} = \{W_x(d, g), W_y(d, g), W_z(d, g)\}.$$

Линия шва, как в первом, так и во втором случае находится на линии пересечения основной поверхности и поверхности сварки или второго свариваемого тела. Линия пересечения определяется как решение совместных систем для пересекающихся поверхностей.

Если обе поверхности представлены в неявной форме, такой системой является:

$$\begin{aligned} F(x_c, y_c, z_c) &= 0; \\ W(x_c, y_c, z_c) &= 0. \end{aligned} \qquad (1n)$$

где x_c, y_c, z_c – компоненты радиус-вектора линии пересечения, что соответствует неявной форме задания линии.

Если обе поверхности представлены в параметрической форме, такой системой является

$$\begin{aligned} F_x(d_F, g_F) &= W_x(d_W, g_W); \\ F_y(d_F, g_F) &= W_y(d_W, g_W); \\ F_z(d_F, g_F) &= W_z(d_W, g_W); \end{aligned}$$

где d_F, g_F – значения параметров поверхности F на линии пересечения, d_W,g_W – значения параметров поверхности W на линии пересечения. Здесь на четыре параметра поверхностей наложено три ограничения, поэтому, когда поверхности пересекаются, все четыре параметра могут быть представлены зависящими от некоторого одного параметра ς, которым может быть один из этих параметров. Подстановка этих зависимостей параметров в параметрическое выражение для поверхности даст линию пересечения. Пусть получены зависимости какой-либо пары, для определенности d_F, g_F от одного параметра ς, тогда линией пересечения является:

$$\begin{aligned} &\{x_c, y_c, z_c\} = \\ &= \{F_x(d_F(\xi), g_F(\xi)), F_y(d_F(\xi), g_F(\xi)), \\ &F_z(d_F(\xi), g_F(\xi))\} = \\ &= \{C_x(\xi), C_y(\xi), C_z(\xi)\}; \end{aligned}$$

Линия пересечения чаще всего является осевой линией, определяющей положение основных сварочных элементов, к которым относятся канавка шва, сам шов, сварочная площадка и т.п. Линия пересечения является основой для построения подвижного трехгранника, определяющего положение системы координат в текущей точке сварки. Подвижной трехгранник для текущей точки на линии пересечения определяется следующим образом.

Начало системы координат O_c совпадает с координатами текущей точки $\{x_c, y_c, z_c\}$.

Ось $O_c x$ направлена по касательной к линии пересечения:

$$\frac{x-x_c}{l_\tau}=\frac{y-y_c}{m_\tau}=\frac{z-z_c}{n_\tau},$$

где $\{l_\tau, m_\tau, n_\tau\}$ – касательный орт, определяемый как:

при неявном задании поверхностей:

$$\{l,m,n\}=\{\begin{vmatrix}\frac{\partial F}{\partial y} & \frac{\partial F}{\partial z}\\ \frac{\partial W}{\partial y} & \frac{\partial W}{\partial z}\end{vmatrix},\begin{vmatrix}\frac{\partial F}{\partial z} & \frac{\partial F}{\partial x}\\ \frac{\partial W}{\partial z} & \frac{\partial W}{\partial x}\end{vmatrix},\begin{vmatrix}\frac{\partial F}{\partial x} & \frac{\partial F}{\partial y}\\ \frac{\partial W}{\partial x} & \frac{\partial W}{\partial y}\end{vmatrix}\},$$

при задании поверхностей в параметрической форме:

$$\{l,m,n\}=\{\frac{dC_x}{d\varsigma},\frac{dC_y}{d\varsigma},\frac{dC_z}{d\varsigma}\}.$$

Параметры орта одинаково нормируются

$$\{l_c,m_c,n_c\}=\{l,m,n\}/\sqrt{l^2+m^2+n^2}, \qquad (2)$$

где $[l_c, m_c, n_c]$ – искомый касательный орт, который используется как ось *ox* сопутствующего трехгранника.

Способы нахождения остальных координатных осей подвижного трехгранника определяют два его типа: сопровождающий и сопутствующий трехгранники.

Сопровождающий трехгранник в качестве второй оси использует бинормаль к линии пересечения. Пара осей – касательная и бинормаль – дополняются третьей осью, называемой главной нормалью, до правой системы координат.

Сопутствующий трехгранник в качестве второй оси использует комбинацию нормалей к свариваемым поверхностям, первая и вторая оси, как и в предыдущем случае, дополняются третьей осью до правой системы координат.

Для сопутствующего трехгранника вторая ось находится по-разному для первого и второго случаев сваривания.

В первом случае, когда траектория сварки находится на основном теле при пересечении его поверхностью сварки, вторая ось направлена по нормали к основной поверхности F в текущей точке:

$$l_F(x-x_W)+m_F(y-y_W)+n_F(z-z_W)=0;$$

параметры уравнения l_F, m_F, n_F находятся следующим образом. Сперва определяются их ненормированные значения:

− при неявном задании поверхности:

$$\{l,m,n\}=\{\frac{\partial F}{\partial x},\frac{\partial F}{\partial y},\frac{\partial F}{\partial z}\}, \qquad (1n)$$

при параметрическом задании поверхности:

$$\{l,m,n\}=\{\begin{vmatrix}\frac{\partial F_y}{\partial d} & \frac{\partial F_z}{\partial d}\\ \frac{\partial F_y}{\partial g} & \frac{\partial F_z}{\partial g}\end{vmatrix},\begin{vmatrix}\frac{\partial F_z}{\partial d} & \frac{\partial F_x}{\partial d}\\ \frac{\partial F_z}{\partial g} & \frac{\partial F_x}{\partial g}\end{vmatrix},\begin{vmatrix}\frac{\partial F_x}{\partial d} & \frac{\partial F_y}{\partial d}\\ \frac{\partial F_x}{\partial g} & \frac{\partial F_y}{\partial g}\end{vmatrix}\}.$$

Параметры орта нормируются аналогiчно (2):

$$\{l_F,m_F,n_F\}=\{l,m,n\}/\sqrt{l^2+m^2+n^2}, \qquad (3)$$

где $[l_F, m_F, n_F]$ – нормальный орт поверхности F.

Во втором случае, когда свариваются два тела, вторая ось, являющаяся нормалью к сварочной площадке, может занимать любое положение между нормалями к поверхностям F и W в зависимости от того, с каким весом $\lambda\in[0,1]$ их нормали участвуют в формировании нормали сварочной площадки:

$$\{l_n,m_n,n_n\}=\lambda\{l_F,m_F,n_F\}+(1-\lambda)\{l_F,m_F,n_F\};$$

При λ=1 поверхность F считается основной и нормаль к сварочной площадке совпадает с ее нормалью, при λ=0 основной считается поверхность W, а при λ=.5 они обе равноправны и нормаль к сварочной площадке направлена по биссектрисе угла между их нормалями. При промежуточных значениях нормаль к сварочной площадке должна быть пронормирована.

Третья ось сопутствующего трехгранника находится по полученным двум как дополнение к правой системе координат.

Таким образом, сопутствующая однородная матрица для линии шва имеет вид:

$$T_C = \begin{Vmatrix} l_\tau & l_n & m_\tau n_n - m_n n_\tau & x_c \\ m_\tau & m_n & l_\tau n_n - l_n n_\tau & y_c \\ n_\tau & n_n & m_\tau l_n - m_n l_\tau & z_c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Vmatrix}$$

Движение по траектории сварки с заданным модулем скорости ν описывается дифференциальным уравнением:

$$\{\frac{dx_c}{dt}, \frac{dy_c}{dt}, \frac{dz_c}{dt}\} =$$
$$= \nu \cdot \{l_\tau, m_\tau, n_\tau\}, \{x_c(t_0), y_c(t_0), z_c(t_0)\} =$$
$$= \{x_{c0}, y_{c0}, z_{c0}\},$$

где модуль скорости может быть функцией времени ν=ν(t).

Если получено выражение для сварочного шва в параметрической форме, то задача движения по сварочному шву с заданным модулем скорости может быть представлена в виде:

$$\sqrt{\left(\frac{dx_c}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy_c}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz_c}{dt}\right)^2} = \nu,$$

подставив сюда производные по времени от координат, выраженные через производную по времени от параметра ς, получим:

$$\frac{d\varsigma}{dt} = \nu / \sqrt{C_{x\varsigma}^2 + C_{y\varsigma}^2 + C_{z\varsigma}^2}.$$

Таким образом, для задачи с уравнением шва, представленным в параметрической форме, система уравнений, описывающая движение по шву с заданной скоростью, имеет вид:

$$\{x_c, y_c, z_c\} = (C_x(\varsigma), C_y(\varsigma), C_z(\varsigma));$$
$$\frac{d\varsigma}{dt} = \nu / \sqrt{C_{x\varsigma}^2 + C_{y\varsigma}^2 + C_{z\varsigma}^2};$$
$$\varsigma(t_0) = \varsigma_0;$$

Программные реализации предложенных моделей

Приводимые ниже программы реализуются в среде Mathematica® [2] автоматизировано с участием оператора. Поскольку реализация условий связана с символьными преобразованиями, часто система Mathematica® не может выполнить упрощение формул до желаемого вида, в этом случае используется участие оператора.

Задание условий задачи состоит в конкретизации вида параметрической формы поверхностей $\{W_X, W_Y, W_Z\}$ и $\{F_X, F_Y, F_Z\}$, которые используются в подпрограмме, имеющей на языке системы Mathematica® следующий вид:

$$\begin{aligned} & Lw = Cross[\partial_{dw}\{W_X, W_Y, W_Z\}, \\ & \partial_{gw}\{W_X, W_Y, W_Z\}]; \\ & Lf = Cross[\partial_{df}\{F_X, F_Y, F_Z\}, \\ & \partial_{gf}\{F_X, F_Y, F_Z\}]; \\ & \quad SOLVE[\{ \\ & \quad \{x_n W, y_n W, z_n W\} == L_w, \\ & \quad \{x_n F, y_n F, z_n F\} == L_f, \\ & \quad \{x_c, y_c, z_c\} == \{F_x, F_y, F_z\}, \\ & \quad \{W_x, W_y, W_z\} == \{F_x, F_y, F_z\}, \\ & \quad \{x_n W, y_n W, z_n W, x_n F, y_n F, \\ & \quad z_n F, x_c, y_c, z_c, d_f, d_w, g_w\}] \end{aligned} \qquad (П1)$$

Эта программа используется для отыскания на линии пересечения зависимостей от параметра d_f:

нормали $\{x_n W, y_n W, z_n W\}$ к поверхности W;

нормали $\{x_n F, y_n F, z_n F\}$ к поверхности F;

координат точки на линии пересечения $\{x_c, y_c, z_c\}$;

параметров d_w, g_w, g_f .

Доработанные оператором результаты в дальнейшем используются для вычисления длины и орта касательной к линии пересечения с помощью других программ. Программа на языке системы Mathematica® для отыскания длины касательного вектора к линии пересечения $L\tau$ и его орта $\{x\tau, y\tau, z\tau\}$ имеет следующий вид:

$$\{x_\tau, y_\tau, z_\tau\} = \partial_{df}\{x_c, y_c, z_c\};$$
$$L_\tau = \sqrt{x_\tau{}^2 + y_\tau{}^2 + z_\tau{}^2};$$
$$\{x_\tau, y_\tau, z_\tau\} = \{x_\tau, y_\tau, z_\tau\} / L_\tau;$$

Программа на языке системы Mathematica® для отыскания нормальных ортов к поверхности W и F имеет следующий вид:

$$\{x_n W, y_n W, z_n W\} = 1 / \sqrt{x_n W^2 + y_n W^2 + z_n W^2} \times$$
$$\times \{x_n W, y_n W, z_n W\};$$
$$\{x_n F, y_n F, z_n F\} = 1 / \sqrt{x_n F^2 + y_n F^2 + z_n F^2} \times$$
$$\times \{x_n F, y_n F, z_n F\};$$

Полученные программой и доработанные оператором результаты вместе с ранее вычисленными составляют основу построения моделей кинематики сварки. Описанная система программ используется для вычислений в модели мониторинга таких составляющих:
– линии пересечения;
– длины и орта касательного вектора;
– элементов сопровождающего трехгранника;
– элементов сопутствующего трехгранника.

Ниже приводится несколько примеров вычислений составляющих модели.

Пример 1. Винтовая линия на цилиндре

Данный пример касается получения трубы из полосы, свернутой в виде геликоида и сваренной по линии стыка краев полосы [3].

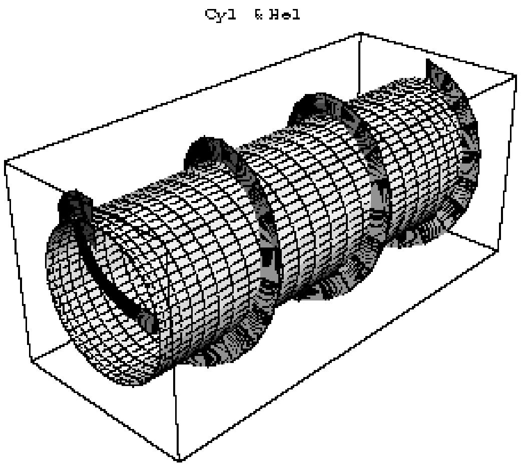

Рисунок 1 – Винтовая линия на цилиндре

Основная труба, являющаяся круговым цилиндром радиуса R, пересекается с прямым геликоидом, имеющим шаг h, оси трубы и геликоида совпадают и направлены по оси Oz. Рассматривается случай задания обеих поверхностей в параметрической форме. Здесь используются обозначения для координат точек на поверхности геликоида $\{x_M, y_M, z_M\}$ и трубы – $\{x_S, y_S, z_S\}$.

Поверхности описываются уравнениями:

$$\{x_M, y_M, z_M\} = \{W_X, W_Y, W_Z\} =$$
$$= \{(R + g_w)\cos d_w, (R + g_w)\sin d_w, h \cdot d_w\};$$
$$\{x_S, y_S, z_S\} = \{F_X, F_Y, F_Z\} =$$
$$= \{R\sin d_f, R\cos d_f, g_f\}.$$

Результаты решения, полученные программой (П1) и доработанные оператором, имеют вид:

$$(x_n F, y_n F, z_n F) = \{R\cos(df), R\sin(df), 0\};$$
$$(x_c, y_c, z_c) = \{R\cos(df), R\sin(df), hdf\};$$

Результаты решения, полученные программой (П2) и доработанные оператором, имеют вид:

$$(x_t, y_t, z_t) = \{-\frac{R\sin(dt)}{\sqrt{h^2+R^2}}, \frac{R\cos(dt)}{\sqrt{h^2+R^2}}, \frac{h}{\sqrt{h^2+R^2}}\};$$

Результаты решения, полученные программой (П3) и доработанные оператором, имеют вид:

$$(x_n F, y_n F, z_n F) = \{\cos(df), \sin(df), 0\};$$
$$(x_n F, y_n F, z_n F) = \{-\frac{h\sin(df)}{\sqrt{h^2+R^2}}, \frac{h\cos(df)}{\sqrt{h^2+R^2}},$$
$$-\frac{R}{\sqrt{h^2+R^2}}\};$$

Сопровождающий и сопутствующий трехгранники для этого примера совпадают.

Ориентация системы координат линии пересечения относительно системы координат исходных поверхностей выражается однородной матрицей:

$$P = \begin{Vmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & 0 & p_{33} & p_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Vmatrix},$$

$$p_{11} = -\frac{R\sin dF}{\sqrt{h^2+R^2}};\ p_{12} = \cos dF;$$
$$p_{13} = -\frac{h\sin dF}{\sqrt{h^2+R^2}};\ p_{14} = R\cos dF;$$

$$p_{21} = \frac{R\cos dF}{\sqrt{h^2+R^2}};\ p_{22} = \sin dF;$$
$$p_{23} = \frac{h\cos dF}{\sqrt{h^2+R^2}};\ p_{24} = R\sin dF;$$
$$p_{31} = \frac{h}{\sqrt{h^2+R^2}};\ p_{33} = -\frac{R}{\sqrt{h^2+R^2}};$$
$$p_{34} = h \cdot dF;$$

Параметр *dF* при движении по линии пересечения со скоростью *v* станет изменяться по закону:

$$\frac{ddF}{dt} = \frac{v}{\sqrt{h^2+R^2}}, dF(t_0) = dF_0.$$

Пример 2. Колено

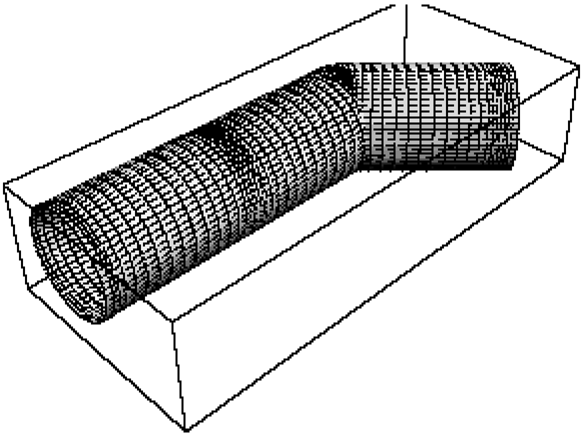

Рисунок 2 – Схема коленного соединения двух поверхностей

Обе трубы являются круговыми цилиндрами радиуса R. Ось первой трубы совпадает с осью Oz, а ось второй трубы совпадает с осью Oz, повернутой вокруг оси Oy на угол ψ. Рассматривается задача в двух постановках: поверхности обоих цилиндров заданы сперва в неявной, а затем в параметрической формах. Здесь используются обозначения для координат точек на поверхности первой трубы $\{x_M, y_M, z_M\}$, а второй - $\{x_S, y_S, z_S\}$.

Постановка задачи в неявной форме

Первая и вторая трубы описываются уравнениями:

$$x_M^{\ 2} + y_M^{\ 2} = R^2;$$

$$(x_s \cos\psi + z_s \sin\psi)^2 + y_s^{\ 2} = R^2;$$

Линия их пересечения находится из совместного решения:

$$x_c^{\ 2} + y_c^{\ 2} = R^2;$$

$$(x_c \cos\psi + z_c \sin\psi)^2 + y_c^{\ 2} = R^2;$$

Удобно для отыскания линии пересечения сделать замену $\{x_c, y_c\} = \{R\sin\varsigma, R\cos\varsigma\}$, тогда:

$$z_c = R\cos\varsigma(\cos\psi \pm 1)/\sin\psi;$$

и уравнение для линии пересечения с координатами текущей точки $\{x_c, y_c, z_c\}$ в зависимости от параметра ς представится как:

$$\{x_c, y_c, z_c\} = \{R\sin\varsigma, R\cos\varsigma,$$
$$R\cos\varsigma(\cos\psi \pm 1)/\sin\psi\}.$$

Постановка задачи в параметрической форме

Первая и вторая трубы описываются уравнениями:

$$\{x_M, y_M, z_M\} = \{W_x, W_y, W_z\} =$$
$$= \{R\cos d_w \cos\psi + g_w \sin\psi, R\sin d_w,$$
$$-R\cos d_w \sin\psi + g_w \cos\psi\}.$$
$$\{x_s, y_s, z_s\} = \{F_x, F_y, F_z\} =$$
$$= \{g_F, R\sin d_f, R\cos d_f\}.$$

Результаты решения, полученные программой и доработанные оператором, имеют вид:

первое решение:

$$\{\{x_nW, y_nW, z_nW\}, \{x_nF, y_nF, z_nF\},$$
$$\{x_c, y_c, z_c\}\} =$$
$$\{\{R\cos(df)\sin(\psi), R\sin(df),$$
$$R\cos(df)\cos(\psi)\},$$
$$\{0, R\sin(df), R\cos(df)\},$$
$$\{R\cos(df)Tan(\psi/2), R\sin(df),$$
$$R\cos(df)\}\};$$

второе решение:

$$\{\{x_nW, y_nW, z_nW\},$$
$$\{x_nF, y_nF, z_nF\},$$
$$\{-R\cos(df)\cos(\psi/2)\},$$
$$R\sin(df), R\cos(df)\}\};$$

.

$$\{x_c, y_c, z_c\}\} =$$
$$\{\{R\cos(df)\sin(\psi), -R\sin(df),$$
$$R\cos(df)\cos(\psi)\},$$
$$\{0, R\sin(df), R\cos(df)\},$$
$$\{-R\cos(df)\cos(\psi/2)\},$$
$$R\sin(df), R\cos(df)\}\};$$

Поскольку полученное здесь выражение для линии пересечения совпадает с таковым для неявного задания, дальнейшие вычисления будут пригодны для обоих способов.

Результаты решения, полученные программами (П2) и (П3) и доработанные оператором, имеют следующий вид.

Первое решение:

$$L_z = R\sqrt{1+Tan^2(\psi/2)\sin^2(df)};$$
$$(x_\varsigma, y_\varsigma, z_\varsigma) = \frac{R}{L_z}\{-Tan(\psi/2)\sin(df),$$
$$\cos(df), -\sin(df)\};$$
$$(x_n, y_n, z_n) = \{\cos(df)\sin(\psi), 2\sin(df),$$
$$\cos(df)(1+\frac{\cos(\psi)}{2\sqrt{1-\cos^2(df)\sin^2(\psi/2)}})\};$$
$$(x_b, y_b, z_b) = \{-\cos(\psi/2), 0, \sin(\psi/2)\};$$

Ориентация системы координат линии пересечения относительно системы координат исходных поверхностей выражается однородной матрицей:

$$P = \begin{Vmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & 0 & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Vmatrix},$$

$$p_{11} = -tg(\psi/2)\sin df / R\tau;$$
$$p_{12} = \cos df \sin\psi / Rn;$$
$$p_{13} = -\cos(\psi/2);$$
$$p_{14} = R\cos df \cdot tg(\psi/2);$$
$$p_{21} = \cos df / R\tau;$$
$$p_{22} = 2\sin df / Rn;$$
$$p_{24} = R\sin df;$$
$$p_{31} = -\sin df / R\tau;$$
$$p_{32} = \cos df(1+\cos\psi)/Rn;$$
$$p_{33} = \sin(\psi/2);$$
.

$$p_{34} = R\cos df;$$
$$R_\tau = \sqrt{1+tg^2(\psi/2)\sin^2 df};$$
$$R_n = 2\sqrt{1-\sin^2(\psi/2)\cos^2 df}.$$

Сопровождающий триэдр совпадает с сопутствующим триэдром на основе биссектрисы угла между нормалями к поверхностям.

Параметр dF при движении по линии пересечения со скоростью v станет изменяться по закону:

$$\frac{ddF}{dt} = \frac{v}{R\sqrt{1+tg^2(\psi/2)\sin^2 df}},$$
$$dF(t_0) = dF_0.$$

Второе решение:

$$L_\varsigma = R\sqrt{1+\cot^2(\psi/2)\sin^2(df)};$$
$$(x_\varsigma, y_\varsigma, z_\varsigma) = \frac{R}{L_\varsigma}\{\cot(\psi/2)\sin(df),$$
$$\cos(df), -\sin(df)\};$$
$$(x_b, y_b, z_b) = \{-\sin(\psi/2), 0, -\cos(\psi/2)\};$$

Ориентация системы координат линии пересечения относительно системы координат исходных поверхностей выражается однородной матрицей:

$$P = \begin{Vmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & 0 & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Vmatrix};$$

$$p_{11=} -ctg(\psi/2)\sin df / R\tau;$$
$$p_{12} = -\cos df \sin\psi / Rn;$$
$$p_{13} = -\sin(\psi/2);$$
$$p_{14} = -R\cos df \cdot ctg(\psi/2);$$
$$p_{21} = \cos df / R\tau;$$
$$p_{22} = 2\sin df / Rn;$$
$$p_{24} = R\sin df;$$
$$p_{31} = -\sin df / R\tau;$$
$$p_{32} = \cos df(1+\cos\psi)/Rn;$$
$$p_{33} = -\cos(\psi/2);$$
$$p_{34} = R\cos df;$$
$$R_\tau = \sqrt{1+ctg^2(\psi/2)\sin^2 df};$$
$$R_n = 2\sqrt{1-\cos^2(\psi/2)\cos^2 df}.$$

Сопровождающий триэдр совпадает с сопутствующим триэдром на основе биссектрисы угла между нормалями к поверхностям.

Параметр dF при движении по линии пересечения со скоростью v станет изменяться по закону:

$$\frac{ddF}{dt} = \frac{v}{R\sqrt{1+ctg^2(\psi/2)\sin^2 df}},$$
$$dF(t_0) = dF_0.$$

Заключение

В результате исследования установлено, что строить траекторию сварки произвольных поверхностей можно различными способами. Предложен алгоритм для построения траектории сварки поверхностей тел, представленных как в неявной, так и в параметрической форме. Рассмотрены программные реализации предложенных моделей.

Список использованной литературы

1. Корн Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1974. – 832 с.

2. Wolfram S. Mathematica: A System for Doing Mathematics by Computer / S. Wolfram. – Addison-Wesley, 1991. – 962 p.

3. Грездов Г.И. Численное вычисление сеточной модели линии пересечения поверхностей / Г.И. Грездов, Т.К. Филиппенко // Наукові праці ДонНТУ Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». – 2011. – Вип. 13 (185). – С. 141-147.

Надійшла до редколегії 28.02.2012

Г.І. ГРЄЗДОВ, Т.К. ФІЛІПЕНКО
Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова НАН України

АНАЛІТИЧНІ СПОСОБИ ПОБУДОВИ ТРАЄКТОРІЇ ЗВАРЮВАННЯ РІЗНИХ ПОВЕРХОНЬ

Розглядаються способи побудови траєкторії зварювання різних поверхонь. Запропоновано алгоритм побудови траєкторій зварювання поверхонь тіл, які представлено в неявному або параметричному вигляді.

Ключові слова: траєкторія зварювання, лінії перетину, сіткова модель.

G.I. GHREZDOV, T.K. FILIPPENKO
Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering

ANALYTICAL WAYS OF CONSTRUCTION OF A TRAJECTORY OF WELDING OF VARIOUS SURFACES

Ways of construction of a trajectory of welding of various surfaces are considered. The algorithm for surfaces of the bodies presented in the implicit or parametrical form is offered.

Keywords: trajectory of welding, line of crossings, net model.