

УДК 625.1

А.А. Ветрогон, канд. техн. наук,**В.Н. Торлин, профессор, д-р техн. наук***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: auto@sevntu.com.ua***АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ
НЕСТАЦИОНАРНОГО ПОЛЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

Предлагается методика построения системы автоматического регулирования технологического процесса, в котором выходными параметрами являются показатели стабильного течения нестационарного поля пластической деформации. Рассматривается возможность построения передаточной функции, связывающей данные выходные параметры со скоростью входного воздействия.

Ключевые слова: система стабилизации, передаточная функция, регулирование по отклонению.

Введение

При разработке систем автоматизированного регулирования (САР) технологическими процессами, связанными с пластическими деформациями протяженных объектов, возникают трудности описания объекта регулирования. Особенно задача усложняется, если объект имеет сложную конфигурацию, такую как кузов легкового автомобиля, поврежденный при дорожно-транспортном происшествии. Регулируемый технологический процесс в этом случае заключается в осуществлении управляемой пластической деформации объекта. Для достижения требуемых показателей геометрической точности продукта и качества материала конструкции требуется обеспечение стабильности протекания технологического процесса.

Анализ публикаций

Широкое распространение САР ходом пластического течения материала получили в машинах растяжения одномерных образцов [1], в которых контролируется скорость деформации и усилие растяжения. Управляемое воздействие на двумерные поля пластической деформации рассмотрены в [2], где приводятся упрощенные аналитические модели объектов простой геометрической формы, описываемой известными кривыми второго порядка. Регулируемой величиной в данном случае является структура материала, подверженного пластической деформации. Известны также САР [3], в которых для описания объектов сложной конфигурации применяются численные методы.

Цель и постановка задачи

Целью настоящей работы является создание САР, позволяющей регулировать параметры технологического процесса пластического деформирования объекта сложной конфигурации, для чего предлагается модель объекта регулирования представить численными методами и показать возможность регулирования такой системы.

Разработка математической модели объекта регулирования

В качестве объекта регулирования (ОР) в данном случае принимаем процесс пластического деформирования конструкции сложной конфигурации, представляющей собой несущую платформу кузова легкового автомобиля (рисунок 1).

Все переменные процесса связывает уравнение Надаи [1]

$$d\sigma = \frac{\partial \sigma}{\partial \epsilon} d\epsilon + \frac{\partial \sigma}{\partial t} dt + \frac{\partial \sigma}{\partial \dot{\epsilon}} d\dot{\epsilon}, \quad (1)$$

где σ , ϵ – компоненты тензоров напряжения и деформации; $\dot{\epsilon}$ – скорость деформации; t – время. Для рассматриваемой здесь двумерной платформы, деформируемой в поле $F(x, y)$, представим компоненты скорости деформации $\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt}$, фигурирующей в (1), через компоненты вектора скорости $V_x(x, y, t)$ и $V_y(x, y, t)$

$$\dot{\epsilon}_x = \frac{\partial V_x}{\partial t}, \quad \dot{\epsilon}_y = \frac{\partial V_y}{\partial t}. \quad (2)$$

Так как V_x и V_y – это хорошо измеряемые величины.

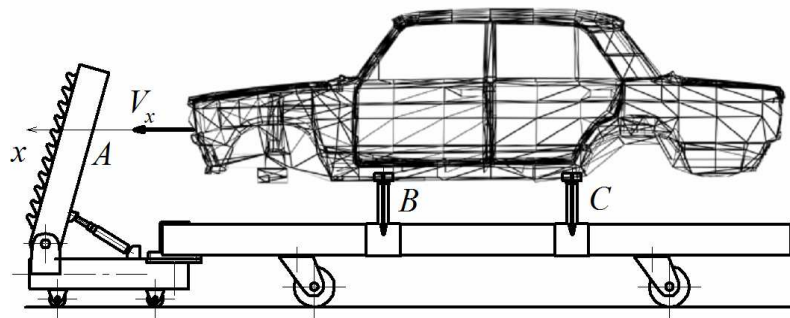


Рисунок 1 – Схема технологической нагрузки конструкции

Скорости V_x и V_y , полученные из (2), связаны с максимальной скоростью пластического течения $V(x, y, t)$, которая имеет место вдоль линий скольжения, расположенных к направлению воздействия под углом φ [1]

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} = -\frac{1}{2}V \sin \varphi, \quad \frac{\partial V_y}{\partial y} = \frac{1}{2}V \sin \varphi, \quad (3)$$

где угол φ определяется выражением

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\frac{\partial V_y}{\partial y} - \frac{\partial V_x}{\partial x}}{\frac{\partial V_y}{\partial x} + \frac{\partial V_x}{\partial y}}, \quad (4)$$

а скорость $V(x, y, t)$ как

$$V(x, y, t) = \sqrt{\left(\frac{\partial V_y}{\partial x} + \frac{\partial V_x}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_y}{\partial y} - \frac{\partial V_x}{\partial x}\right)^2}. \quad (5)$$

Для определения V_x и V_y вводят функцию тока

$$V_x = -\frac{\partial \Phi}{\partial y}, \quad V_y = \frac{\partial \Phi}{\partial x}, \quad (6)$$

которая удовлетворяет уравнению

$$\left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2}\right)^2 + 4\left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y}\right)^2 = \mu V(x, y, t) + k^2, \quad (7)$$

где μ и k – параметры вязкопластического течения.

Ввиду сложности конфигурации рассматриваемого объекта анализ ведется с помощью конечноэлементной модели, (рисунок 1). Для того, чтобы удовлетворить (3) – (7) в пределах одного элемента скорости деформации интерполировались линейными зависимостями:

$$\begin{aligned} V_x &= (a_0 + a_1 x + a_2 y) e^{k_1 t}, \\ V_y &= (b_0 + b_1 x + b_2 y) e^{k_2 t}. \end{aligned} \quad (8)$$

Качество процесса будет стабилизировано, если он станет протекать монотонно. Критерием монотонности является

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{const}, \quad (9)$$

что обеспечивает постоянство скорости течения.

Подставляя (8) в (4), получаем

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{b_2 e^{k_2 t} - a_1 e^{k_1 t}}{b_1 e^{k_2 t} - a_2 e^{k_1 t}}. \quad (10)$$

Величину (10) принимаем в качестве выходной, а на входе, согласно рисунку 1, задана скорость V_x .

Тогда передаточная функция одномерного процесса имеет вид

$$W_0(x, p) = \frac{tg\phi(x, p)}{V_x(x, p)}. \quad (11)$$

Подставляя в (11) изображения числителя и знаменателя, получаем передаточную функцию для запаздывающего аргумента

$$W_0(x, p) = R_0 Z(x) \left(\frac{k_6}{(1 - T_1 p)^2} + k_7 \right) e^{-\tau p}, \quad (12)$$

где $R_0 = [\ln(1 + d_3)/k_5 + e^{k_6}] b_2 - [\ln(1 + d_3 e^{k_5}) + 1/k_6] a_1$; $k_6 = k_2 - k_3$; $k_5 = k_4 - k_3$; $k_3 = k_1 + k_2$; $k_4 = 2k_1$; $d_1 = b_1 c_1$, $d_2 = a_2 c_1$; $d_3 = d_2 / d_1$; $k_7 = 1/k_5$; T_1 – постоянная времени; $c_1 = a_0 + a_1 x + a_2 y$; $Z(x) = (a_0 + a_1 x) e^{k_1 t}$ – линейная зависимость в пределах одного элемента; τ – время запаздывания.

Разработка алгоритма и схемы регулирования

Основной задачей рассматриваемой системы регулирования является стабилизация регулируемой величины $y = tg\phi$, обеспечивающей монотонность характера пластического течения во всех точках объекта. Для того, чтобы следить за состоянием всего поля деформации, достаточно знать скорость V_x в одной точке поля, а затем с помощью математической модели восстановить всю картину течения. Для этого в одной контрольной точке необходимо установить датчик скорости V_x или датчик перемещения U_x , результат измерения которого легко пересчитать в $V_x = U_x \cdot t_i$, где t_i – единица дискретного времени. Структурная схема, реализующая данный алгоритм, показана на рисунке 2. Система работает следующим образом. На входе устанавливается начальная величина скорости растяжения V_x^0 . Затем сигнал V_x^0 в блоке $W_1(p)$ пересчитывается в сигнал $P_x(t)$ – давление в гидроцилиндре механизма нагружения $W_2(p)$, который создает перемещение U_x захватов гидроцилиндра. Процесс деформации $W_0(x, p)$ контролируется в контрольной точке датчиком скорости $W_3(p)$, сигнал от которого поступает в блок расчета поля скоростей, где рассчитываются скорости V_{xi} и V_{yi} в узлах сетки конечных элементов и критерий $tg\phi_i$. Далее в сравнивающем устройстве 1 значение $tg\phi_i$ сравнивается с допустимым значением $[tg\phi]$ и отклонение $\Delta tg\phi$ направляется в блок $W_5(p)$. Если $tg\phi_i$ в какой-то точке меньше допустимого значения $[tg\phi]$, то величина $\Delta tg\phi = [tg\phi] - tg\phi_i$ с положительными знаками в блоке $W_5(p)$ пересчитывается в приращение скорости ΔV_x со знаком плюс, в обратном случае ΔV_x выходит из блока $W_5(p)$ со знаком минус, после чего в сумматоре 2 эти величины суммируются с V_x^0 и цикл повторяется до тех пор, пока во всех точках объекта не будет установлено монотонное поле пластической деформации.

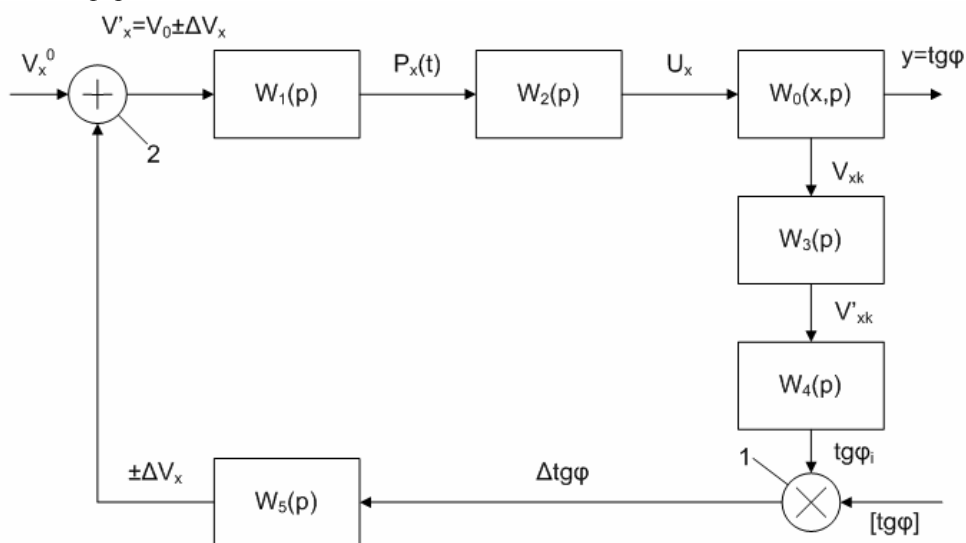


Рисунок 2 – Структурная схема системы стабилизации

Передаточная функция системы примет вид

$$W(x, p) = W_1(p)W_2(p)W_0(x, p)W_3(p)W_4(p)W_5(p), \quad (13)$$

где $W_1(p) = k_1$; $W_2(p) = k_2$; $W_4(p) = k_4$; $W_5(p) = k_5$ – передаточные функции вычислительных блоков;

$W_3(p) = \frac{k_3}{1+T_0 \cdot p}$ – передаточная функция датчика; T_0 – постоянная времени датчика.

После подстановки (12) в (13), передаточная функция системы запишется как

$$W(x, p) = R_0 Z(x) \left(\frac{k_6}{(1-T_1 p)^2} + k_7 \right) \frac{K_\Sigma}{1+T_0 \cdot p} e^{-\tau p}, \quad (14)$$

где $K_\Sigma = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5$.

Выводы

1. Регулирование скорости процесса пластического течения объекта сложной конфигурации возможно при условии использования численной модели управления.

2. Реализация разработанного алгоритма стабилизации позволяет повысить производительность процесса и избежать брака по трещинообразованию.

Задачи дальнейших исследований

1. Исследование динамических процессов в системе с помощью полученной передаточной функции.

2. Исследование устойчивости разработанной системы стабилизации параметров при действии возмущений различного типа.

Библиографический список

1. Полухин П.И. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов / П.И. Полухин, Г.Я. Гун, А.М. Галкин. — М.: Машиностроение, 1976. — 488 с.
2. Сегал В.М. Технологические задачи теории пластичности / В.М. Сегал. — М.: Наука и техника, 1997. — 256 с.
3. Теоретические основы обработки металлов давлением: монография. В 2 т. Т. 2 / Б.М. Илюкович, А.П. Огурцов, Н.Е. Нехаев, С.В. Ершов. — Днепропетровск: Днипро-ВАЛ, 2002. — 486 с.

Поступила в редакцию 19.05.2010 г.