

Дослідження використання алгоритму нечіткого виводу в системі управління комплексом поперечно-клинової прокатки

В. І. БОЙКО, В. В. БАГРІЙ, О. С. КРАСНІКОВ

Дніпродзержинський державний технічний університет

Представлені результати математичного та комп'ютерного моделювання алгоритму нечіткого виводу в системі управління комплексом поперечно-клинової прокатки. Використання отриманих результатів дозволяє зменшити сумарні втрати та підвищити коефіцієнт використання металу.

Представленные результаты математического и компьютерного моделирования алгоритма нечеткого вывода в системе управления комплексом поперечно-клиновой прокатки. Использование полученных результатов позволяет уменьшить суммарные потери и повысить коэффициент использования металла.

The presented results of mathematical and computer design of algorithm of unclear conclusion are in control system by the complex of the transversal-wedge rolling. The use the got results allows to decrease total losses and promote the coefficient of the use of metal.

Вступ. Поперечно-клинова прокатка належить до прогресивних енергозберігаючих технологій де технологічні процеси засновані на різанні металу замінюються економічними процесами пластичного формоутворення деталей. Для отримання деталей типу ступінчастих валів, осей, штифтів, шпильок, роликів підшипників і так далі розроблені і застосовуються автоматизовані комплекси поперечно-клинової прокатки (ПКП), які об'єднують усі операції технологічного процесу в єдиний керований ланцюг [1].

Номенклатура освоєних на комплексах деталей досить широка. Так довжина готових деталей складає 10÷150 мм при діаметрі початкового прутка 1.5÷6.0 мм і мірній довжині 2÷3 м. Обробляються практично усі конструкційні сталі, ряд кольорових та жароміцних сплавів.

Постановка задачі. Конкурентоспроможність технології ПКП в порівнянні з обробкою різанням залежить від підвищення коефіцієнта використання металу та продуктивності. Проведений аналіз показав, що між продуктивністю комплексу і коефіцієнтом використання металу існує взаємна залежність. В результаті, збільшення однієї з характеристик, як правило, спричиняє за собою зменшення іншої, чисельне значення якої бажано також збільшувати. Таким чином потрібний обґрунтований компроміс між цими величинами критеріїв, оскільки кожна з них в тій чи іншій мірі є деякою цільовою функцією.

Мета роботи. Підвищення коефіцієнта використання металу та продуктивності автоматизованих комплексів на основі розроблених стратегій управління та методів взаємозв'язку підсистем управління.

Основна частина. Встановити взаємозалежність між цими критеріями в аналітичній формі складно, тому шляхом їх формального об'єднання на основі формування функції корисності пропонується складений узагальнений мультипликативний критерій:

$$L = V \cdot K = \frac{L - L_{вт} \pm L_{под}}{t_{обр} \cdot L_{дет}}, \frac{L - L_{вт} \pm L_{под}}{L}$$

де V - відносна швидкість виходу придатного прокату із початкового матеріалу; K - коефіцієнт використання металу; L - довжина дроту в початковому бунті, м; $L_{вт}$ - сумарні втрати металу, м; $L_{дет}$ - довжина деталі,

м; $L_{под}$ - сумарне подовження прутка, внаслідок пластичної деформації, м; $t_{обр}$ - сумарні витрати часу на обробку, с.

Сумарні втрати матеріалу в процесі прокатки можна оцінити виразом:

$$L_{вт} = \sum_{i=1}^n \Delta l_i + \sum_{j=1}^N \Delta l_{обрj} + \sum l_{бр}$$

де: Δl_i - довжина відрізного відходу при прокатці i -тої деталі ($i=1 \dots n$), м; n - кількість прокатаних деталей; $\Delta l_{обрj}$ - довжина обрізи на кожному j -тому мірному прутку ($j=1 \dots N$), м; N - кількість мірних прутків в бухті, $\sum l_{бр}$ - сумарний брак пов'язаний з перевищенням допуску на розміри готових деталей.

$$t_{обр} = \sum_{i=1}^n t_{oi} + \sum_{j=1}^N t_{nzj}$$

де t_{oi} - час повного циклу прокатки i -тої деталі у валковому інструменті; t_{nzj} - час перезавантаження механізму подачі j -тим мірним прутком.

Процес формоутворення деталі за валковою схемою ПКП здійснюється двома рухомими назустріч один одному клинами валкового інструменту. У загальному випадку валковий інструмент має ділянки: завантаження, формоутворення, відрізки. Пруткова заготовка необхідної довжини, укладається поперек клинового інструменту, який переміщаючись, врізається в неї і викликає її обертання.

Безперервно перекочуючи заготовку уздовж клинів інструменту, послідовно формують необхідний профіль деталі. На заключній стадії прокатки спеціальними ножами, встановленими по обидві сторони інструменту, відрізають надлишки металу від остаточно спрофільованої деталі. Валковий інструмент повертається у вихідне положення завантаження, де подається нова вихідна заготовка, яка виштовхує прокатану деталь.

Час повного циклу прокатки деталі визначається частотою обертання валкового інструменту:

$$t_{oi} = 1/\omega_i$$

де ω_i - частота обертання валкового інструменту.

За час повного циклу відбувається послідовне поєднання усіх ділянок клинів валкового інструменту в

точці розташованій на осі установки цанги механізму подачі.

При поєднанні ділянок завантаження, які характеризуються заниженням радіусу нижче за нульову роботу поверхню валків, механізм подачі забезпечує переміщення прутка уперек валкового інструменту на необхідну довжину за час обмежений умовою:

$$t_{\text{под}} \leq \frac{\varphi}{2\pi n}$$

де φ - центральний кут відповідний ділянці завантаження на валковому інструменті.

Таким чином, підвищення продуктивності комплексу за рахунок збільшення частоти обертання валкового інструменту призводить до необхідності зменшення часу подачі, а од же підвищення швидкості механізму подачі.

Крім того ділянка завантаження не приймає безпосередньо участі в процесі формоутворення деталі і тому для полегшення умов деформації металу при розробці валкового інструмента її прагнуть зменшити, тобто зменшується φ .

Експериментально встановлено, що величина помилки подачі залежить від величини кінетичної енергії, яку має пруток в кінцевій точці позиціонування в момент подачі.

Для моменту зупинки механізму подачі можна записати:

$$\frac{(m_n \cdot v_k^2)}{2} = F_{\text{зч}} \cdot \Delta l$$

де m_n - маса прутка, кг;

v_k - швидкість транспортування прутка у момент зупинки цанги, м/с;

$F_{\text{зч}}$ - сила зчеплення цанги з прутком, Н;

Δl - приріст подачі за рахунок прослизання, м

Таким чином, динамічне зусилля, прикладене до прутка, перевищує силу зчеплення його з цангою у момент зупинки і спостерігається прослизання прутка відносно цанги. Надлишок довжини подачі для кожної деталі віддається ножами валкового інструменту як відрізний відхід.

Для зручності порівняння помилка подачі на кожній деталі визначалася як відносна величина:

$$\varepsilon_i = \Delta l_i / l_{\text{дет}}$$

Маса прутка зменшується у міру його вироблення в ході прокатки, що призводить і до зменшення помилки подачі (рис. 1).

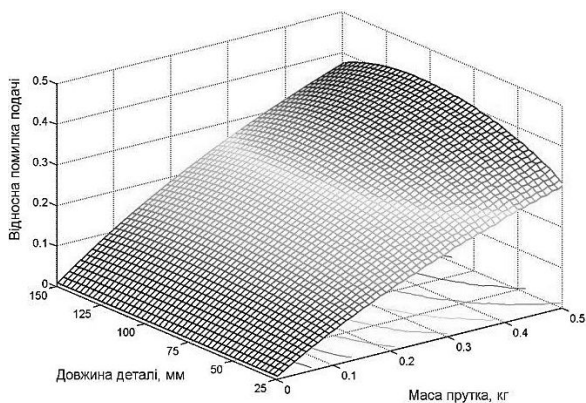


Рис. 1. Залежність відносної помилки подачі ε_i від довжини деталі та маси прутка m_n .

Визначено, що комплекси ПКП дозволяють отримати середній коефіцієнт використання металу 0.8-0.9, однак подальше його збільшення вимагає зниження втрат за рахунок помилок подачі.

Задача зводиться до відтворення заданого закону руху виконавчого механізму, тобто до забезпечення максимальної швидкості, плавного розгону та гальмування з можливістю без ударної зупинки в кінці ходу. Найбільша ефективність при рішенні цільових завдань досягається при використанні подачі з включенням гальмування на ділянці траєкторії руху механізму подачі [1].

В якості виконавчого двигуна механізму подачі прутка використовується пневмоциліндр з прямолінійним рухом поршня двосторонньої дії.

Динаміка вихідної ланки двостороннього типового пневматичного приводу, описується рівнянням:

$$S_1 \cdot p_1 - S_2 \cdot p_2 = m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + a \cdot \frac{dx}{dt} + \sum_{i=1}^n P_i$$

де m - маса рухомих частин поршня та навантаження;

x - координата переміщення поршня;

S_1, S_2 - площі торців поршня;

p_1, p_2 - тиск повітря в першій та другій порожнинах;

$\sum_{i=1}^n P_i$ - сума сил діючих на поршень;

a - коефіцієнт в'язкого тертя поршня.

Потрібний режим руху для кожної деталі реалізується підключенням однієї з порожнин пневмоциліндру до пневматичної магістралі та перекриттям іншої з початковим тиском підпору.

Гальмівна сила при цьому створюється за рахунок повітряної подушки, яка утворюється при зменшенні порожнини в процесі просування поршня. Повітряна подушка має властивості, аналогічні властивостям звичайної пружини. Якщо жорсткість пневматичної пружини більша за необхідну, то виникають коливальні режими. При такому процесі гальмування збільшується час подачі та посилюється небезпека підходу поршня до крайнього положення з ударом. Слабка пневматична пружина не може достатньо погасити швидкість поршня.

Таким чином, плавна зупинка поршня забезпечується узгодженим вибором жорсткості пневматичної пружини з врахуванням довжини деталі та маси прутка, яка змінюється в процесі прокатки від максимальної до нуля.

Застосування режиму гальмування призводить до збільшення часу подачі прутка, а отже зменшення частоти обертання валкового інструменту та втрати продуктивності комплексу ПКП. В вибраній схемі гальмування збільшення часу подачі в основному виникає за рахунок затримки початку руху поршня, що визначається часом необхідним на подолання опору в перекритій порожнині пневмоциліндра де встановлено попереднього тиску. Вирішення цієї проблеми можливе введенням упередження до сигналу управління на початок подачі прутка ще до поєднання ділянок завантаження на валковому інструменті, тобто затримку руху поршня буде компенсовано ще на ділянці формоутворення.

Досліджувалась можливість вирішення поставлених задач вводом в структуру системи управління комплексу ПКП блока нечіткого регулювання.

У пакеті Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB адаптивна система нейро-нечіткого виводу ANFIS реалізована на основі гібридних мереж [2].

Основа моделі гібридних мереж, полягає в тому, щоб використовувати існуючу вибірку даних для визначення параметрів функцій приналежності, які краще всього відповідають деякій системі нечіткого виводу. При цьому для знаходження параметрів функцій приналежності використовуються відомі процедури навчання нейронних мереж. ANFIS - редактор дозволяє автоматично синтезувати з експериментальних даних нейро-нечіткі мережі.

Гібридна мережа ANFIS є системою нечіткого виводу FIS типу Сугено нульового або першого порядку, в якій кожне з правил нечітких виводів має постійну вагу, яка дорівнює 1 [3].

Як вхідні змінні використовувалися маса прутка m_n та довжина деталі $l_{дет}$. Регулювання здійснюється по двох алгоритмах: по одному вибирається початковий тиск підпору, а по іншому коригується час упередження сигналу на подачу прутка. У кожному алгоритмі враховуються приведені вище змінні.

Генерування початкової системи проводилось по методу субкластеризації Sub. clustering. ANFIS реалізує систему нечіткого виводу Сугено у вигляді п'ятишарової нейронної мережі прямого поширення сигналу.

Функції приналежності, визначені в результаті фазифікації для вхідних змінних показані на *рис. 2, 3*.

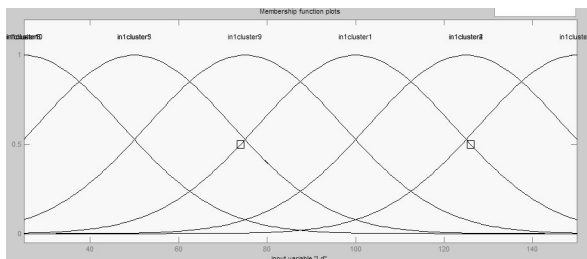


Рис. 2. Функції приналежності змінної $l_{дет}$ (довжина деталі).

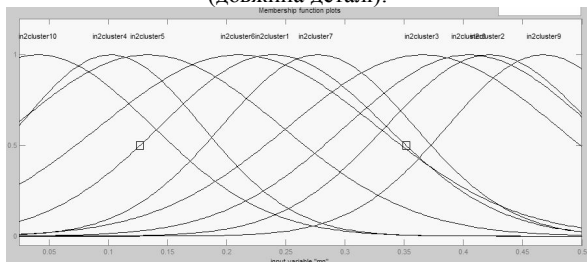


Рис. 3. Функції приналежності змінної m_n (маса прутка).

На *рис. 4–5* приведені візуалізації поверхні "входи-вихід", відповідні синтезованій нечіткій системі. Ці поверхні нечіткого виводу дозволяють встановити залежність значень вихідної змінної від значень вхідних змінних нечіткої моделі системи управління. Ця залежність може послужити основою для програмування контролера або апаратної реалізації відповідного нечіткого алгоритму управління у формі відповідної таблиці рішень.

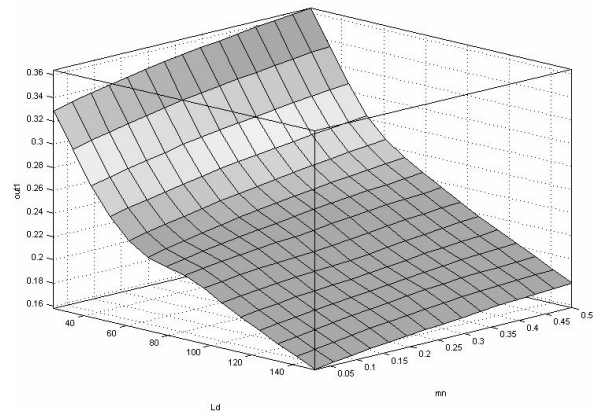


Рис. 4. Візуалізація поверхні "входи-вихід" для визначення початкового тиску підпору

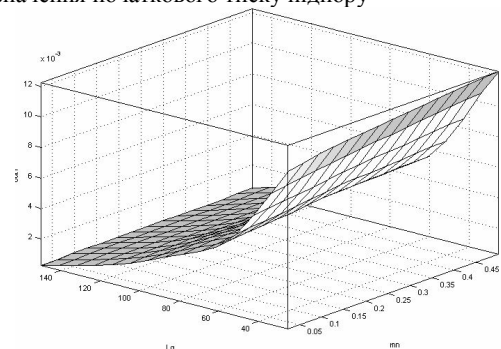


Рис. 5. Візуалізація поверхні "входи-вихід" для визначення часу упередження

У поставленій задачі система нечіткого виводу містить 10 правил нечітких виводів наступного виду :

If (in1 is in1cluster1) and (in2 is in2cluster1) then (out1 is out1cluster1).

If (in1 is in1cluster2) and (in2 is in2cluster2) then (out1 is out1cluster2)...

Результати моделювання показали адекватність застосування принципів нечіткої логіки для управління подачею прутка в комплексі ПКП.

Висновки

На основі вивчення технології та особливостей процесу ПКП, розроблений алгоритм системи нечіткого управління процесом подачі прутка. Використання одержаних результатів дозволяє зменшити сумарні втрати та підвищити коефіцієнт використання металу до 0.96-0.98.

Отримані результати можуть бути використані для подальшого вдосконалення моделі і алгоритму управління з метою створення системи автоматизованого управління процесом прокатки на комплексах ПКП.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко В. И., Багрій В. В. Альтернативные стратегии управления агрегатно-модульными комплексами. — К : ИСМО, 1999. — 202 с.
- 2.... Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб. : БХВ-Петербург, 2005. — 736 с.
3. Тэрано Т., Асаи К., Сугено М. Прикладные нечеткие системы. М. ; «Мир», 1993. — 363 с.

пост.09.09.13