

Висновки. Найбільшої ефективності при рішенні цільових задач досягнуто при використанні подачі з включенням гальмування на ділянці траєкторії руху механізму подачі. Випробування вибраних стратегій управління при прокатці промислових партій деталей різної довжини показало, що для першої постановки завдання коефіцієнт використання металу складає 0.93-0.95 при середній продуктивності 1-1.2дет./с, а для другої – 0.96-0.99 при середній продуктивності 0,6 дет./с. При цьому у першому випадку використовувалося часткове гальмування, а в другому – повне гальмування з безударною зупинкою в кінцевій точці позиціонування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко В.И. Автоматизированный радиальный комплекс поперечно-клиновой прокатки / Бойко В.И., Багрий В.В., Лысенко В.Н. // Кузнечно-штамповочное производство. – 1991. – №5. – С.26-28.
2. Долгов С.Г. Оборудование для холодной поперечно-клиновой прокатки деталей электронной техники / Долгов С.Г., Украинец В.В., Вологодин А.Г. // Электронная техника. – 1986. – Сер7. – Вып. 2 (1350). – С.63-66.
3. Щукин В.Я. Основы поперечно-клиновой прокатки / Щукин В.Я. – Мн.: Наука и техника, 1986. – 223с.
4. Реклейтес Г. Оптимизация в технике / Реклейтес Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. – М.: Мир, 1986. – 352с.

Надійшла до редколегії 27.06.2014.

УДК 621.771.2-52

БАГРІЙ В.В., к. т. н., доцент
ВОЛОШИН Р.В., магістр
ЖАРОВ І.Д., магістр

Дніпродзержинський державний технічний університет

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ПРУТКА В АВТОМАТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСАХ ПОПЕРЕЧНО-ПРОФІЛЬНОЇ ПРОКАТКИ

Вступ. Процес поперечно-профільної прокатки (ППП) використовується для виготовлення деталей типу ступеневих валів та має широкі технологічні можливості. Під час прокатки можливо досягти зменшення діаметра валів в 4 і більше разів. З використанням даного процесу можуть оброблятися практично всі конструкційні сталі, ряд кольорових та жаростійких сплавів. Для умов прокатки на автоматичних комплексах ППП основним фактором, що визначає продуктивність та величину коефіцієнта використання металу, є система управління подачею прутка змінної маси в зону деформації на задану довжину для кожної деталі [1].

Особливістю процесу ППП є зміна довжини прутка в ході прокатки від максимальної початкової величини до нуля по мірі його виробки, а отже змінюється й сумарна маса, яку переміщує механізм подачі. Це призводить до необхідності врахування впливу даного фактора на параметри моделі об'єкта керування під час прокатки.

Постановка задачі. На базі аналітичних моделей технологічного процесу прокатки створити імітаційну модель, необхідну для вибору оптимальних параметрів виконавчих механізмів, розробки стратегій керування, методів та засобів взаємозв'язку підсистем управління агрегатно-модульними комплексами ППП циліндричних деталей.

Результати роботи. Сутність технологічного процесу ППП полягає в локальному впливі на заготовку валкового інструменту, робоча поверхня якого виконана у вигляді клинів з похилими гранями. Профіль розгортки клинів містить ряд характерних ділянок, які й визначають задану циклічну послідовність етапів прокатки. Кількість ділянок та геометрія профілю валкового інструменту на кожному з них в основному залежить від складності профілю готової прокатаної деталі. Проте кожний валковий інструмент має ділянку завантаження, яка характеризується зниженням радіуса нижче нульової робочої поверхні валків і тому не приймає участі в процесі формоутворення деталі, а призначена для забезпечення безперешкодного переміщення пруткової заготовки поперек валкового інструменту на необхідну довжину деталі.

Валковий інструмент безперервно обертається з частотою 0.5-1.5 об/с. За час повного циклу отримання готової деталі відбуваються послідовне суміщення всіх ділянок клинів обох валків в точці, розташованій на осі установки механізму подачі. На початку циклу механізм подачі за допомогою цангового вузла переміщає пруток поперек валкового інструменту та завантажує пруткову заготовку у міжвалковий проміжок, утворений при суміщенні ділянок завантаження. Початкова довжина прутка 2.0-2.5 м, діаметр прутка 1.0-5.0 мм. Довжина подачі дорівнює довжині готової деталі і може складати 10-150 мм. Надалі, обертаючись, валковий інструмент затискає заготовку робочою поверхнею, відрізними клинами відокремлює її від прутка і починається процес формоутворення деталі. Механізм подачі при цьому переміщує цанговий вузол назад вздовж прутка в початкову позицію і підготовлює нову порцію пруткової заготовки для наступної подачі. Формоутворення деталі закінчується при новому суміщенні ділянок завантаження, де чергова подача пруткової заготовки виштовхує готову деталь, і цикл формоутворення повторюється заново.

Час суміщення завантажувальних ділянок валкового інструменту задає обмеження на час виконання операції завантаження, що складає 0.02-0.05 с.

Крім того, експериментально встановлено, що величина помилки подачі залежить від величини кінетичної енергії, яку має пруток в кінцевій точці позиціонування при виконанні завантаження. У момент зупинки динамічне зусилля, прикладене до прутка, перевищує силу зчеплення його з цангою, і спостерігається прослизання прутка відносно цанги. Надлишок довжини подачі на кожній деталі віддаляється ножами валкового інструменту як відрізний відхід. Оцінку відносної похибки подачі $\varepsilon_{i\text{відн}}$ для кожної i -деталі з прутка можна оцінити наступним чином:

$$\varepsilon_{i\text{відн}} = \frac{\Delta l_i}{l_{\text{дет}}} = \frac{m_{i\text{пр}} \cdot v_i^2}{2 \cdot F_{\text{ци}}}, \quad (1)$$

де Δl_i – помилка подачі при прокатці i -деталі з прутка;

$l_{\text{дет}}$ – довжина готової деталі;

$m_{i\text{пр}}$ – маса прутка перед прокаткою i -деталі;

v_i – швидкість в кінцевій точці позиціонування при завантаженні прутка для прокатки i -деталі;

$F_{\text{ци}}$ – сила зчеплення цанги з прутком.

В ході прокатки маса прутка зменшується у міру його вироблення, що призводить і до зменшення величини помилки подачі.

Аналіз процесу показує, що найбільш жорсткі вимоги до швидкодії пред'являються до привода механізму подачі при виконанні операції завантаження. Крім того, так як завантажувальна ділянка не задіяна в процесі деформації та формоутворенні готової деталі при проектуванні валкового інструменту, її прагнуть зменшувати.

В якості виконавчого привода механізму подачі прутка використовується пневмоциліндр з прямолінійним рухом поршня двосторонньої дії. Цей привод повинен мати універсальність з точки зору забезпечення технології отримання деталей досить широкої номенклатури, а відповідно різної довжини готової деталі та вихідної маси прутка. Підвищення продуктивності комплексу ППП пов'язане з підвищенням швидкодії операції завантаження при прокатці кожної деталі. З іншої сторони підвищення коефіцієнта використання металу пов'язане із забезпеченням такого закону руху, який має безударну зупинку привода в кінцевій точці позиціонування, що потребує режиму гальмування при подачі прутка.

При проектуванні привода необхідно вирішити задачу динамічного синтезу, тобто для відтворення заданого закону руху робочих органів виконавчих пристроїв, заданого часу спрацювання вибрати параметри виконавчих, розподільних пристроїв, а також ліній зв'язку.

Вирішення питань автоматизації технологічного процесу в комплексах ППП наперед пов'язане з питаннями синхронізації роботи профіленкатного автомата з модулем подачі прутка та наданням більш широких можливостей для досягнення необхідних параметрів прокатки деталей. Це потребує виконувати стабілізацію окремих параметрів технологічного процесу або їх зміну в часі за заданим законом.

Зважаючи на складність задачі і її багатоваріантність, доцільно використати в даному випадку імітаційне моделювання. Імітація поведінки об'єкта надає уявлення про те, які змінні найбільш суттєві та як вони взаємодіють практично ще до створення самого об'єкта. Крім того, на імітаційній моделі можна провести експерименти, які на реальному об'єкті з ряду причин провести неможливо, та стиснути час на їх виконання.

При розробці імітаційної моделі системи подачі використано додаток Simulink інтегрованої середовища інженерних розрахунків MatLab компанії TheMathWorks [2].

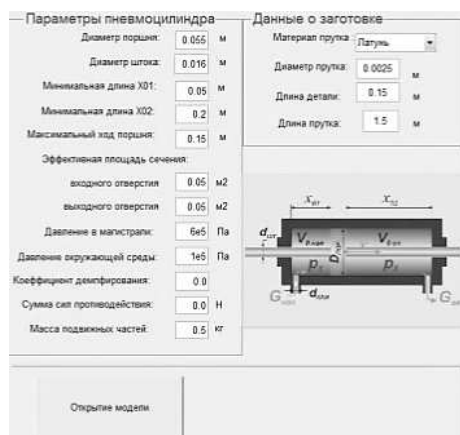


Рисунок 1 – Графічний інтерфейс користувача

Пневматичний привод складається з пневмодвигуна, повітропроводів і пневматичної апаратури різного призначення. Енергоносієм тут є стисле повітря з тиском 0,4-0,6 МПа.

Так динаміка вихідної ланки двостороннього типового пневматичного привода, зображена на рис.3, описується рівнянням

$$s_1 \cdot p_1 - s_2 \cdot p_2 = m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + \alpha \cdot \frac{dx}{dt} + \sum_{i=1}^n P_i, \quad (2)$$

де m – маса рухомих частин поршня та прутка; 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;

α – величина, що враховує демпфування поршня при русі за рахунок витоків газу через ущільнення поршня. У приводах з хорошою якістю зборки і малим ресурсом напрацювання можна прийняти $\alpha = 0$.

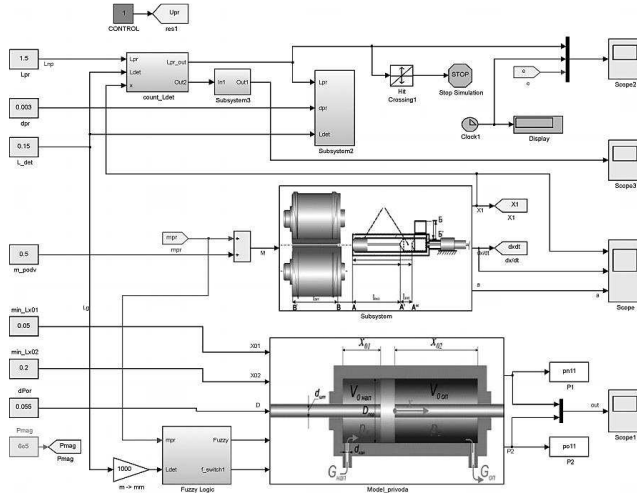


Рисунок 2 – Структурна схема імітаційної моделі системи подачі прутка

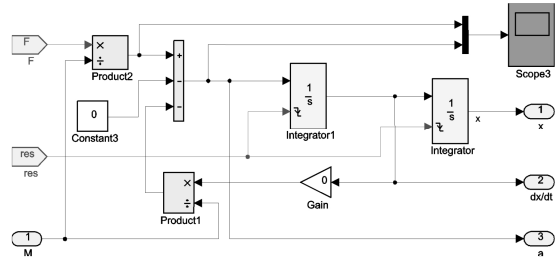


Рисунок 3 – Динаміка вихідної ланки двостороннього пневматичного привода

Площі торців поршня

$$S = \frac{\pi(D_{nop}^2 - d_{um}^2)}{4}, \quad (3)$$

де D_{nop}, d_{um} – відповідно діаметри поршня та штоку.

Наведене рівняння розраховується разом з рівняннями стану привода, що характеризуються зміною тиску в обох площях робочого циліндру (рис.4). Загальне рівняння стану привода має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{RT}{S_1} G_{nan} = \frac{dp_1}{dt} \left(\frac{V_{0nan}}{S_1} + x \right) + p_1 \frac{dx}{dt} \\ -\frac{RT}{S_2} G_{on} = \frac{dp_2}{dt} \left(\frac{V_{0on}}{S_2} - x \right) - p_2 \frac{dx}{dt} \end{cases}, \quad (4)$$

де $R = 287,14$ Дж/(кг·К) – газова стала; T – температура, К;

G_{nan}, G_{on} – витрати повітря в порожнинах наповнення та спорожнення;

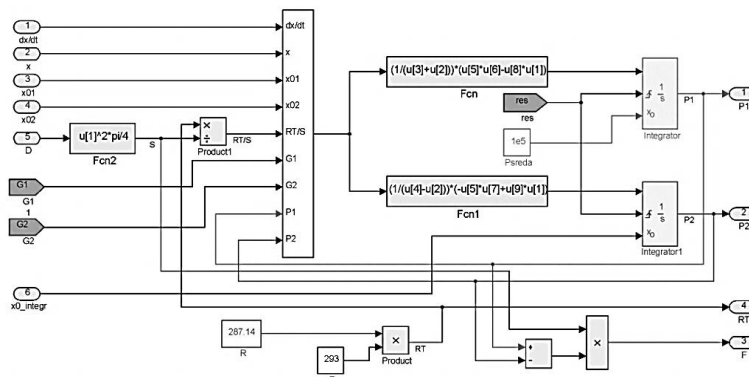


Рисунок 4 – Модель стану пневматичного привода

V_{0nan}, V_{0on} – початкові об'єми порожнин наповнення та спорожнення циліндру.

При витіканні газу з трубопроводу можуть бути два режими [3]:

- надкритичний – при цьому витрата газу не міняється зі зміною тиску довкільля;
- докритичний – при

цьому витрата газу залежить від відносного тиску.

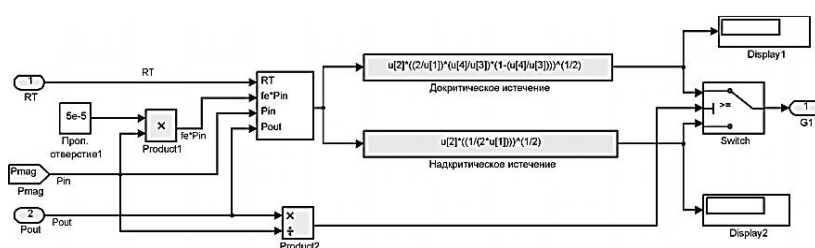
У практичних розрахунках пневматичних пристроїв для визначення витрати через дроселі з турбулентним режимом течії використовують формули (рис.5):

- докритичне витікання ($p_{вих} / p_{ex} > 0.5$):

$$G = \mu \cdot f \cdot p_{ex} \sqrt{\frac{2}{RT} \cdot \left(\frac{p_{вих}}{p_{ex}}\right) \cdot \left(1 - \frac{p_{вих}}{p_{ex}}\right)}; \quad (5)$$

- надкритичне витікання ($p_{вих} / p_{ex} < 0.5$):

$$G = \mu \cdot f \cdot p_{ex} \sqrt{\frac{1}{2RT}}, \quad (6)$$



де μ – коефіцієнт витрати лінії;

f – площа вхідного отвору.

Результат моделювання роботи системи управління подачею прутка дозволив вибрати оптимальні за швидкістю параметри пневматичного привода для

Рисунок 5 – Модель визначення витрат з турбулентним режимом протікання

вказаної номенклатури деталей (рис.6).

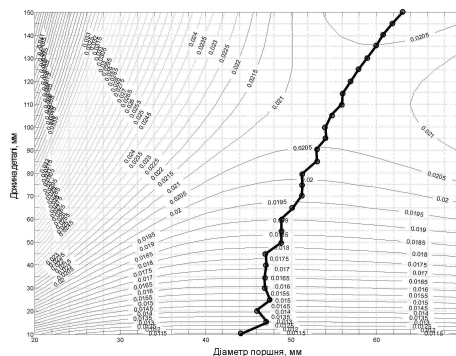
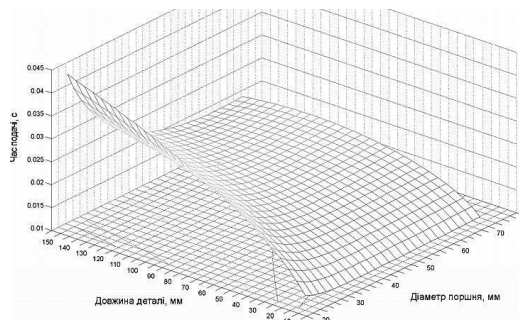


Рисунок 6 – Оцінка швидкодії привода для визначеної номенклатури деталей

Наявність мінімуму в області значень витрат часу руху поршня на необхідну величину ходу та вибір параметрів привода з цих умов означає отримання заданої швидкості поршня при мінімальному перерізі повітровода і встановленої на ньому апаратури.

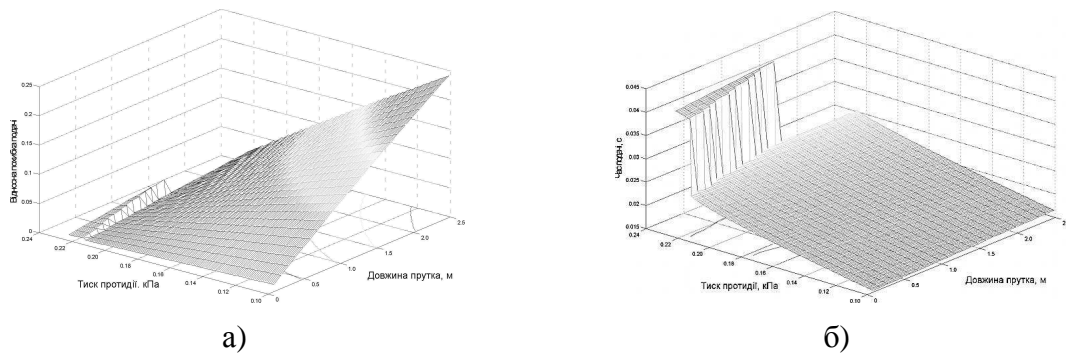
Відхилення від точки мінімуму в будь-яку сторону призводить зрештою до того, що час подачі прагне до нескінченності. Так зменшення площі поршня за умови, що сила опору передбачається постійною, тягне зменшення зусилля, що розвивається поршнем, і привод не в змозі здолати силу опору. Ця область параметрів відповідає області переобтяжених приводів.

Область параметрів, в якій площа поршня перевищує оптимальне значення, відповідає області малонавантажених приводів. Для неї необхідно аналізувати потребу в стислому повітрі, яке повинне заповнювати робочу порожнину. При цьому абсолютний тиск прагне до тиску довкілля і при досить великих площах поршня практично перестає змінюватися, а швидкість витікання повітря, сягнувши критичної величини, перестає

зростати.

При виборі робочих параметрів привода слід враховувати деякий запас по рушійній силі, щоб уникнути зупинки привода при збільшенні сили опору, що часто має місце в реальних умовах. Тому рекомендується вибирати площу поршня в області значень, близьких до оптимальних, але що лежать праворуч від них, тобто відповідних малонавантаженим приводам.

Моделювання дає можливість порівняти різні способи керування подачею з використанням режиму гальмування. Приклад одержаних результатів зображено на (рис.7).



Рисуюнок 7 – Залежність відносної похибки подачі (а) та часу подачі (б) від змінної довжини прутка та початкового тиску гальмування ($L_{dem}=50\text{мм}$)

Режим гальмування при подачі прутка дозволяє зменшити похибку подачі заготовки на необхідну довжину для прокатки деталі, але при цьому збільшується час подачі, що впливає на продуктивність комплексу ППП. Вибір протидії при гальмуванні потребує введення обмеження, так як в іншому випадку може виникнути перевантаження привода та коливальний процес, для отримання компромісу між показниками продуктивності та коефіцієнтом використання металу, що потребує режиму гальмування.

Висновки. Імітаційне моделювання комплексу поперечно-клинової прокатки значно збільшує можливості інженерно-технічних робітників при проектуванні та виборі параметрів обладнання, дослідженні стратегій, методів та засобів керування агрегатно-модульними комплексами ППП.

Аналіз отриманих результатів моделювання дозволяє зробити висновок, що зміна стратегій керування подачею впливає на вибір компромісного рішення між показниками продуктивності комплексу та підвищенням коефіцієнта використання металу. В загальному випадку прагнення до підвищення коефіцієнта призводить до зменшення відносної швидкості виходу та навпаки. Найбільша ефективність при рішенні цільових задач досягається при використанні подачі з включенням гальмування на ділянці траєкторії руху механізму подачі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко В.И. Альтернативные стратегии управления агрегатно-модульными комплексами / Бойко В.И., Багрий В.В. – К.: ИСМО, 1999. – 202с.
2. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink5/6 в математике и моделировании / Дьяконов В.П. – Серия «Библиотека профессионала». – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 576с.
3. Герц Е.В. Пневматические приводы / Герц Е.В. – М.: «Машиностроение», 1968. – 360с.

Надійшла до редколегії 29.06.2014.