

© Кондратюк О.Л., Скоркіна В.О., Скоркін А.О.

ОСОБЛИВОСТІ ДИНАМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМОУТВОРЮВАЛЬНИХ РУХІВ ПРИ СВЕРДЛЕННІ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ МАЛОГО ДІАМЕТРУ

1. Постановка проблеми

Одною з найбільш типових і важкоздійснюваних з високою технологічною надійністю операцій в автоматизованому виробництві є операція свердління отворів малого діаметра. Процес свердління отворів малого діаметра стандартними спіральними свердлами характеризується найбільш важливими особливостями: по-перше, недостатня міцність інструменту на вигин; по-друге, в наслідок накопичення стружки в канавках свердла має місце наростання сил та крутильного моменту. При обробці на незмінних режимах різання крутильний момент, достатньо швидко досягає свого критичного значення, а це призводить до поломки інструменту і непоправного браку виробу.

У зв'язку з цим при створенні автоматизованого устаткування виникає необхідність керування траєкторіями виконуючих елементів верстата з періодичними виведеннями інструменту з зони різання.

При цьому мають місце дві проблеми: перша - керування процесом свердління без поломок інструменту (рішенню даної проблеми присвячена більшість досліджень); друга - забезпечення необхідної кількості виведень інструменту з зони різання, що можливе при створенні силових вузлів з новими компоновальними і технологічними характеристиками, які реалізують складні цикли обробки. Рішення другої проблеми, яка об'єднує питання синтезу свердлильної головки, динамічної діагностики і керування циклами обробки має актуальність для науки і практики.

2. Аналіз останніх досліджень

Проведений аналітичний огляд вітчизняних і зарубіжних джерел показав, що основним напрямком розвитку удосконалення способів обробки отворів малого діаметра є створення оригінальних конструкцій обладнання. Із робіт вітчизняних авторів В.В. Бойцова, Л.С. Брона, М.С. Васермана, А.І. Дашенко, А.В. Дрока, Г.І. Меламеда, Є.Г. Нахапетяна, Ю.В. Тимофієва, В.Д. Хицана, В.С. Хомякова, І.С. Веремейчука, Т.К. Крылова, М.А. Минкова, В.Н. Подураєва, М.В. Потягайло, Л.П. Телятнікова, Н.Д. Троицького, С. А. Черничкина і інших, а також зарубіжних дослідників Masuka I.R., Okubo C., Marvin P., Mandel P. та інших відомо, що забезпечення багатопрхідної обробки отворів малого діаметра є актуальною проблемою, оскільки вимагає багатократних виводів інструменту.

Аналіз проблеми обробки отворів малого діаметра показав, що конструкції силових свердлильних головок з електромеханічним або гідравлічним приводом подач не можуть надійно забезпечити свердління отворів малого діаметра. Причиною відмови стандартних свердел при глибокому свердлінні і непоправного браку в оброблюваних деталях є перевантаження інструменту через нестабільні величини вісьового зусилля і крутильного моменту. Щоб уникнути поломки свердла зусилля і напрям подачі інструменту повинні мінятися відповідно до умов, що змінюються в зоні різання залежно від заглиблення свердла в матеріал. Для забезпечення комплексу вимог до силових вузлів (можливість отримувати необхідний закон руху робочого органу, висока швидкість настановних переміщень, простота конструкції і системи керування і т.п.) необхідні принципово нові конструктивні рішення.

Аналіз властивостей електромагнітного приводу подач показав перспективність його застосування в малих силових головках для свердління отворів діаметром до 5 мм: відсутність жорстких кінематичних зв'язків, збіг параметрів функціонування рухового і виконавчого органу без проміжних перетворювачів, можливість регулювання в широких діапазонах вихідних

характеристик за наявністю зворотного зв'язку. Це дозволило створити силовий агрегат (рис.1) з високими техніко-технологічними показниками у вигляді динамічної системи, що складається з двигуна постійного струму, який задає обертання інструменту, лінійного електромагнітного двигуна, що виконує роль приводу подач і адаптивної системи керування, яка погоджує роботу всієї динамічної системи.

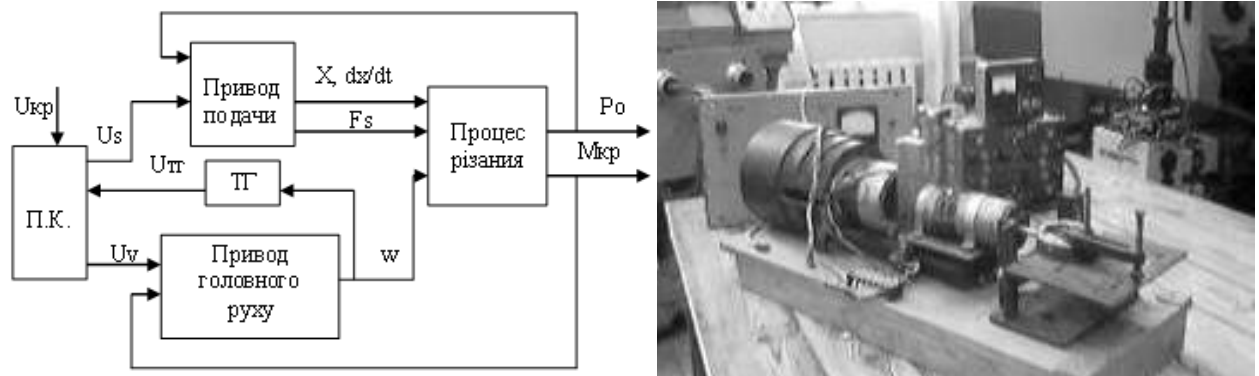


Рис.1 - Силова головка з електромагнітним приводом подач.

Динамічна система включає: підсистему інструменту, демпферні пристрої, регульовані приводи (обертання шпинделя і швидкості подачі пінолі). „Входом” в привод подачі (рис.1) є напруга U_s , підведена на якір лінійного двигуна, яка перетвориться в F_s - силу подачі. Вихідними координатами приводу подачі є осьові переміщення свердла X , швидкість цього переміщення з силою подачі F_s . Вхідною координатою приводу головного руху є напруга U_v , що подається на якір двигуна. Вихідною координатою є кутова швидкість w ротора двигуна.

Вихідні координати приводів перетворюються процесом свердління в осьову силу різання P_0 і момент різання M_r . Вихідні координати процесу різання здійснюють зворотні дії на приводи.

Зміна моменту різання веде до зміни кутової швидкості ротора, а зміна осьової сили різання веде до зміни швидкості dx/dt подачі. Напруга U_s і U_v задається в пристрої керування ПК, там же відбувається порівняння напруги на виході тахогенератора $U_{тг}$ з $U_{кр}$, яка також задана в ПК. При $U_{тг} > U_{кр}$ привод подачі продовжує працювати: пересуває каретку в позитивному

Модель тахогенератора (зміна ω двигуна)

$$U_t = C \cdot \omega$$

Якщо $M_p \geq M_{кр}$ ($M_{кр}$ – критичний крутильний момент з умов міцності свердла), то кутова швидкість $\omega \leq \omega_{кр}$ і $U_t \leq U_{кр}$, напруга на вході двигуна подачі змінює знак ($1 - U_s$) і відбувається відведення свердла. Двигун обертання свердла знижує кутову швидкість ω до номінальної ω_n та знову вмикає лінійний двигун на подачу. На рис.3. приведена аналогова модель роботи силової головки, яка реалізована блок-схемою моделювання за допомогою пакета програм “VisSim -5”.

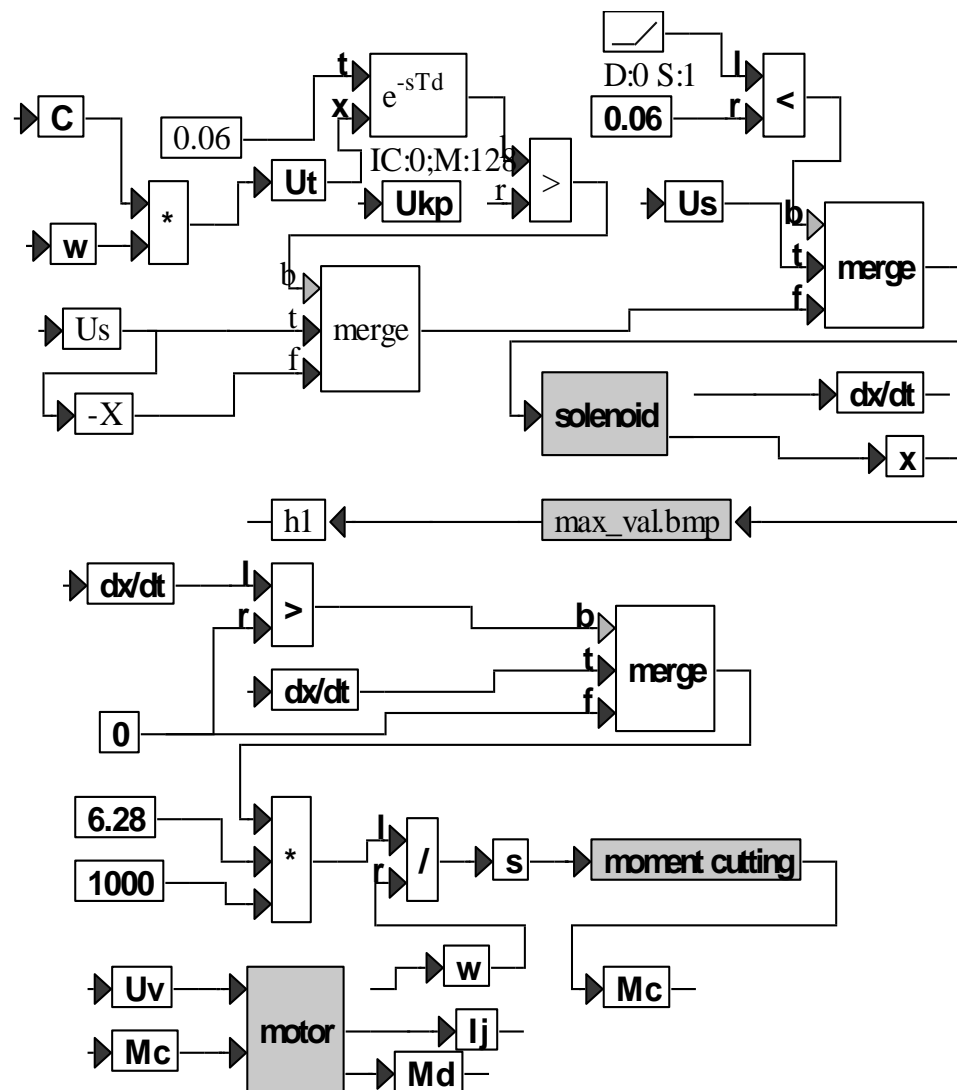


Рис. 3 - Аналогова модель роботи силової головки.

Модель приводу подачі об'єднана в “Compound block” (складений блок) під назвою “solenoid”, що моделює роботу приводу подачі в якому

знаходиться блок “*Cutting forse*” (сила різання), що моделює осьову силу різання P_o . Модель двигуна головного руху зібрана в “compound” блоці під назвою “*motor*”, момент опору M_c обчислюється в окремому “*Compound block*” під назвою “*Moment cutting*”. Окрім всіх перерахованих блоків, модель логіки роботи силової головки (рис.3) містить спеціальний блок “*max_val.bmp*” для обчислювання вхідної координати по максимальному значенню та її фіксації на „виході”. Важливість цього блоку визначена тим, що в кожному циклі (підведення → свердління → відведення) перед відведенням свердла відбувається фіксація максимального значення координати X і визначається момент холостого підведення до початку свердління.

В блоках “*Cutting forse*” і “*Moment cutting*” розрахунок P_o і M_c проводиться тільки у разі, коли $x > h_1$, тобто коли свердло після відведення при підводі до повільного торкання пройшло шлях $x > h_1$. Саме наявність блоку “*max_val.bmp*” дозволяє реалізувати в моделі багатократний цикл (підведення → свердління → відведення) і при цьому визначати величину холостого ходу (підвода).

Аналіз результатів моделювання показав, що свердління, яке здійснюється модельованою головкою, є високочастотним повторенням циклів (підведення → свердління → відведення), і перетворюється майже на безперервний рух подачі.

На рис. 4 приведена розпечатка сигналів x і h_1 для умов свердління згідно з аналоговою моделлю (рис.3). Перша ступінчаста лінія - це значення врізування h_1 , що періодично змінюється, перед відведенням свердла. Друга лінія - це координата X переміщення свердла уздовж осі.

Коли U_t стає менше $U_{кр}$, координата X досягає значення h_1 - починається швидке підведення головки. Процес свердління продовжується приблизно $0,1с.$, а потім, коли кутова швидкість $\omega \leq \omega_{кр}$ і $U_t \leq U_{кр}$, свердло відходить з зони обробки приблизно на $3мм$. Двигун головного руху при відведенні головки знову розганяється і U_t стає більше $U_{кр}$, вмикається

двигун подачі на прискорення по координаті X до торкання з заготовкою, тобто поки X не стане рівним $h1$. Періодичність циклів свердління добре видно з рис. 5.

У розглянутому прикладі глибина свердління в кожному циклі дорівнює приблизно 1мм, а відведення - 3мм. Цикл (підведення → свердління → відведення) за часом складає приблизно 0,4 с.

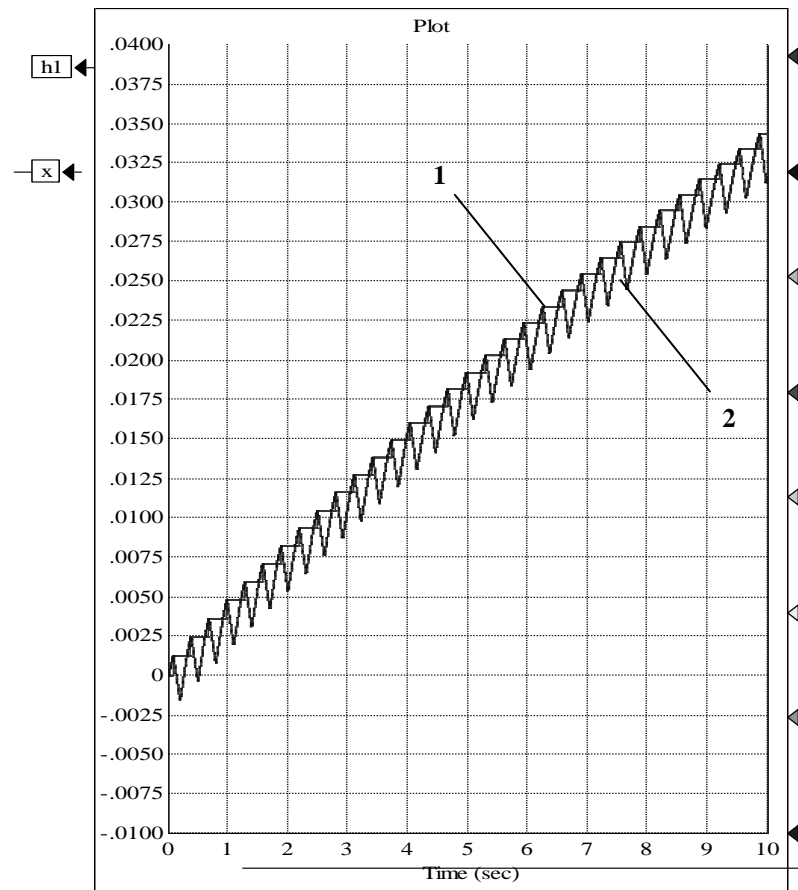


Рис. 4 - Моделювання циклу роботи силової

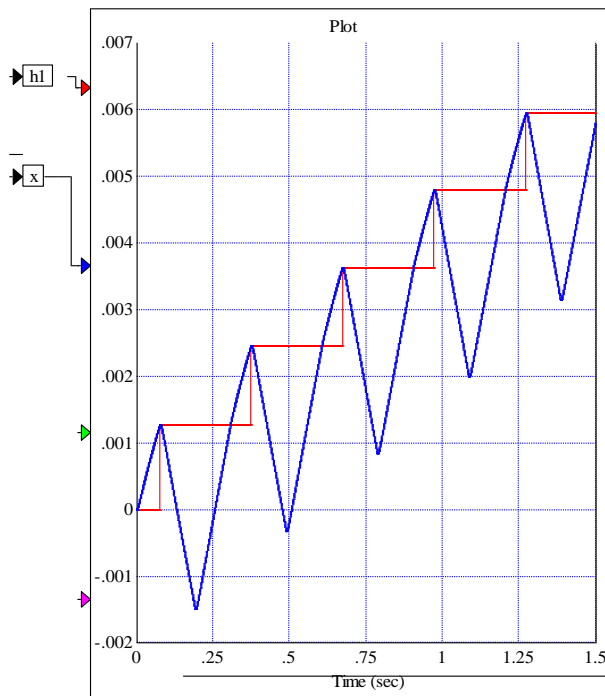


Рис. 5 - Вибірка з п'яти послідовних циклів свердління.

Так, наприклад, тривалість свердління отвору довжиною 30 мм і діаметром 2мм стандартним сверлом Р6М5 складе 30 циклів, або $30 \cdot 0,4 = 12$ с., що є ефективнішим в порівнянні з іншими силовими головками, де тривалість циклу при тих же умовах на 25% більше.

Висновки

1. На основі моделювання вирішено завдання вибору силових параметрів приводу. Оскільки привід головного руху повинен мати безступінчате регулювання частоти обертання, слід вибрати двигун постійного струму з регульованою величиною напругу, що подається на якір, для забезпечення необхідної частоти обертання і моменту, що крутить. При цьому потужність двигуна не повинна бути надмірною, оскільки регулювання циклом глибокого свердлення передбачається по частоті обертання двигуна, а при високій потужності двигун практично не реагуватиме на зміни кутовій швидкості при невеликих моментах різання. У разі свердлення отворів діаметром 2мм граничний момент, що крутить, 0,1 Н/м.

2. Аналіз результатів моделювання показав, що свердлення, здійснюване модельованою головкою, є високочастотним повторенням циклів (підведення→ свердлення → відведення) і перетворюється майже на безперервний рух подачі. Для забезпечення надійного відведення стружки із зони різання необхідно збільшити фазу відведення свердла за рахунок введення затримки в часі сигналу, що управляє. Встановлено, що затримка повинна бути не менше 0,1с. Це досить для того, щоб силова головка відійшла приблизно на 3мм. Розрахунки показали, що при свердленні отвору діаметром 2мм в конструкційній вуглецевій сталі 45 одиничний цикл за часом складає приблизно 0,4 з, забезпечуючи загальну хвилинну подачу свердла близько 150 мм/хв.

Список використаних джерел

1. Мельниченко О. А. Мехатронна силова головка для свердління глибоких отворів малого діаметра з адаптивною системою керування / О. А. Мельниченко, О. Л. Кондратюк // Вісн. Нац. аграр. ун-ту. – Суми : СНАУ, 2005. – № 13. – С. 106–111.
2. Принципиальная схема силовой головки с электромагнитным приводом для обработки отверстий малого диаметра / А. А. Мельниченко, Ю. В. Тимофеев, О. В. Корж, О. Л. Кондратюк // Вісн. Інж. акад. України : теорет. і наук.-практ. журн. – 2001. – №3. – С. 540–543.

Кондратюк О.Л., Скоркина В.А., Скоркин А.О. «Особенности динамического моделирования формообразующих движений при сверлении глубоких отверстий малого диаметра»

При изучении процессов сверления наиболее важным этапом является построение динамических моделей. В данной работе рассматривается анализ разработанных алгоритмов математического моделирования, показаны их преимущества и недостатки. Приведены результаты моделирования и сделаны выводы об устойчивости системы.

Кондратюк О.Л, Скоркіна В.О., Скоркін А.О. «Особливості динамічного моделювання формоутворювальних рухів при свердленні глибоких отворів малого діаметру»

При вивченні процесів свердлення найбільш важливим етапом є побудова динамічних моделей. У даній роботі розглядається аналіз розроблених алгоритмів математичного моделювання, показані їх переваги і недоліки. Приведені результати моделювання і зроблені висновки про стійкість системи.

Kondratyuk O.L, Skorkina V.A., Skorkin A.O. «Features of dynamic design of receipt of necessary surface motions at boring of the deep openings of small diameter»

There is a construction of dynamic models at the study of processes of boring the most essential stage. The analysis of the developed algorithms of mathematical design is examined in this work, their advantages and failings are shown. Design results are resulted and conclusions are done about stability of the system.