

## КЕРУВАННЯ З ІТЕРАТИВНИМ НАВЧАННЯМ У ПРОЦЕСІ ФОРМУВАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ ВИРОБІВ

Барановська Ю. В., Жученко А. І., Пахомов О. А.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, yulka040698@gmail.com

У зв'язку з рідкісним набором фізичних і хімічних властивостей вуглецеві матеріали є незамінними в металургії, електроенергетиці, хімії, машинобудуванні, ракетно-космічній техніці, атомній енергетиці та інших галузях промисловості. У виробництві вуглецевих виробів важливу роль відіграє процес формування, оскільки на цій стадії формуються майже всі спадкові ознаки, які в подальшому зумовлюють якість заготовок [1].

Для формування вуглецевих виробів найбільшого поширення набув спосіб гідравлічного пресування. Зазначений спосіб дозволяє отримати заготовки з поперечним розміром 30...1200 мм та забезпечує найбільшу продуктивність процесу за досить рівномірних фізико-хімічних властивостях готових виробів.

Умовно прес поділяється на три зони (рис. 1.). У зоні ущільнення I маса набуває форму круглої заготовки. У формувальній зоні II відбувається зміна форми до заданого поперечного розміру. Остаточне формування розмірів заготовки відбувається в калібрувальній зоні III. Поверхня формувальної та калібрувальної зон мундштука підігрівається відповідними індукторами, а краї калібрувальної зони додатково підігріваються свічками.

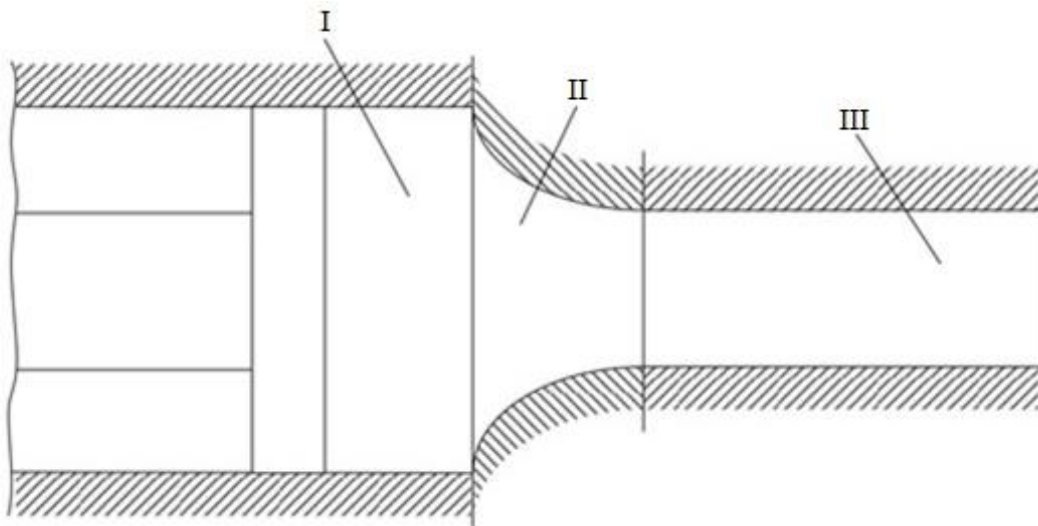


Рис. 1. Структурна схема преса

Процес формування відбувається в межах мундштука та масного циліндра. Охолоджена електродна маса подається в форкамеру преса, звідки плунжером просувається в масний циліндр. У масному циліндрі маса піддається підпресуванню. Після повного заповнення масного циліндру відбувається пресування, яке полягає у видавлюванні маси через отвір мундштука з метою надання заготовці визначеної геометричної форми, розмірів та щільності.

Враховуючи значну енергоємність процесу формування, підвищення його ефективності є актуальною науково-технічною задачею. Одним із шляхів розв'язання цієї задачі є створення сучасної системи керування цим процесом, яка б враховувала такі його особливості, як періодичність, нелінійність та наявність впливу одразу декількох технологічних параметрів на його техніко-економічні та якісні показники.

Для керування циклічними технологічними процесами, до яких належить і процес формування вуглецевих виробів, за останні роки все більшої популярності набуває метод керування з ітеративним навчанням. Згідно з методом точність керування від ітерації до ітерації покращується у межах двох часових вимірностей, перша з яких характеризує перехід від одного циклу роботи до наступного, а друга визначає поточний час на протязі кожного окремо взятого циклу роботи –  $2D$ -вимірне керування.

Як свідчать проведені дослідження [2], якість керування з ітеративним навчанням, яка покращується від однієї ітерації до наступної, значно підвищує ефективність процесу в умовах початкових невизначеностей. Також такий тип систем дозволяє керувати об'єктами з багатьма входами-виходами.

Оскільки процес формування періодичний та розподілений у просторі, то доцільно використовувати зазначену систему керування для забезпечення потрібного температурного режиму в пресі, який визначає якісні показники заготовок. Така система керування на кожній ітерації пресування в залежності від відхилень  $e_i$  температур в контрольних точках  $T_i$  (рис. 2.) від їх заданих значень  $T_i^z$  розраховує значення потужностей нагрівачів  $P_i$  та швидкості пресування  $V_p$ . Також зазначена система має враховувати вимірюване збурення у вигляді температури завантаженої електродної маси.

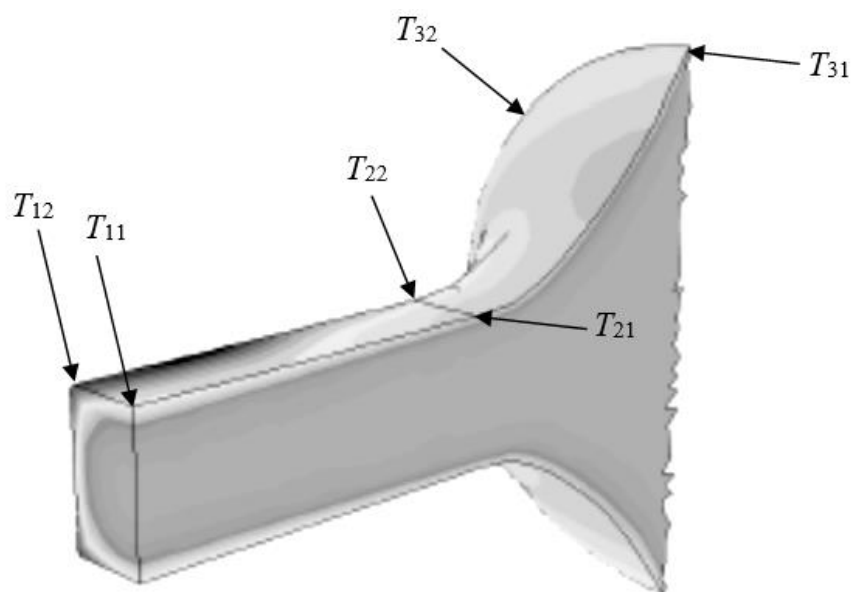


Рис. 2. Розташування контрольних точок

Структурну схему описаної системи керування з ітеративним навчанням наведено на рис. 3.

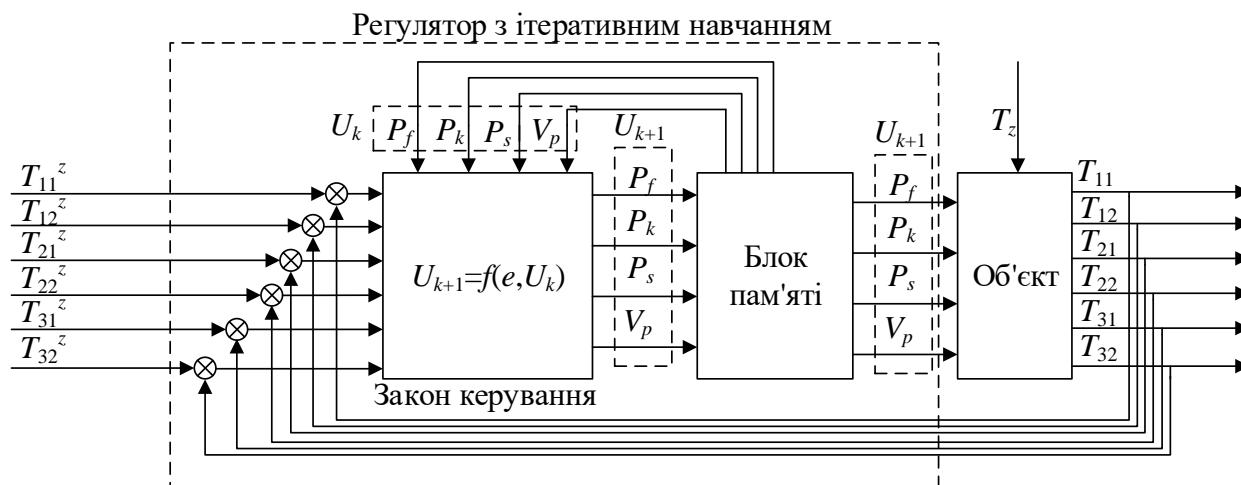


Рис. 3. Структурна схема системи керування з ітеративним навчанням:  
 $T_i^z$  – задані значення температур ( $i = 11 \dots 32$ );  $P_i$  – потужності нагрівачів;  $V_p$  – швидкість пресування;  $T_i$  – температури в контрольних точках ( $i = 11 \dots 32$ );  $U_k$  –  $k$ -ий керувальний сигнал

Основною проблемою синтезу систем керування з ітеративним навчанням є розроблення закону керування, що має мати швидку збіжність та забезпечувати мінімізацію похибки керування з урахуванням всіх основних особливостей поведінки об'єкту керування. Тому в наступних дослідженнях потрібно розробити та дослідити такий ітераційний закон керування у процесі формування, який буде відповідати поставленим вище вимогам.

1. Производство электродной продукции / А. К. Санников и др. Москва: Металлургия, 1985. 129 с.

2. Жученко О. А., Волощук М. Г. Керування циклічними процесами з ітераційним навчанням. Вісник НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження : зб. наук. праць. № 1 (16), 2017. С. 107–114.