

УДК 678.027.37

*Т. В. Лазарев, канд. техн. наук, А. Я. Карвацький, д-р техн. наук,  
С. В. Лелека, канд. техн. наук, А. Ю. Педченко*

### **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ ВИРОБІВ МЕТОДОМ ПРЕСУВАННЯ НА ПРОМИСЛОВОМУ ОБЛАДНАННІ**

Проведені експериментальні дослідження процесу формування великогабаритної вуглецевої продукції методом екструзії на промисловому пресовому інструменті. Визначені основні технологічні параметри та показники процесу екструзії (тиск, електрична потужність нагрівників, температури в різних зонах пресового інструменту) та досліджено їх циклічну зміну під час кампанії пресування. На основі експериментальних даних отримано осереднений регламент пресування вуглецевої маси в безрозмірній формі за часом.

*Ключові слова:* вуглецева маса, електродні заготовки, екструзія, формування, пресування, експериментальні дослідження.

**Вступ.** Вуглецеві матеріали різняться за своїми фізичними властивостями та сферами застосування. В агрегатах чорної та кольорової металургії, а також хімічної промисловості використовуються ефективні та вуглецеві вироби. До них висуваються високі вимоги щодо механічної та термічної міцності, електропровідності й хімічної інертності. Зазвичай промисловість потребує великогабаритних виробів, які дають змогу підвищувати потужність та відповідно продуктивність обладнання.

Один із основних способів формування великогабаритної вуглецевої продукції – це пресування через формуючу матрицю (мундштук) або екструзія. Вуглецева маса (суміш вуглецевмісних наповнювача та зв'язувального) подається в масний циліндр, де ущільнюється плунжером преса, а потім зусиллям біля 60 МН проштовхується через мундштук, тим самим заготовці надається відповідні геометрична форма й розміри. В залежності від типу пресувального обладнання відрізання окремих заготовок може здійснюватися періодично або неперервно. Одержані заготовки є напівфабрикатом, що потребує подальшого високотемпературного оброблення в спеціалізованих печах [8, 10, 11]. Проте, майбутні властивості кінцевого продукту закладаються ще на етапі формування, тому загально науковою проблемою є вдосконалення процесів та обладнання для формування вуглецевих виробів. Невирішеною частиною наукової проблеми є експериментальне вивчення теплового стану промислових пресів під час технологічного процесу екструзії.

Метою даної статті є представлення результатів експериментальних досліджень параметрів та характеристик, а також теплового стану промислового пресового інструменту під час кампанії формування вуглецевих заготовок.

**Виклад основного матеріалу.** Пресовий інструмент, що є об'єктом дослідження, схематично представлений на рис. 1. Основними конструктивними елементами пресу є масний циліндр, який заповнюється масою; плунжер; мундштук, в якому відбувається процес формування.

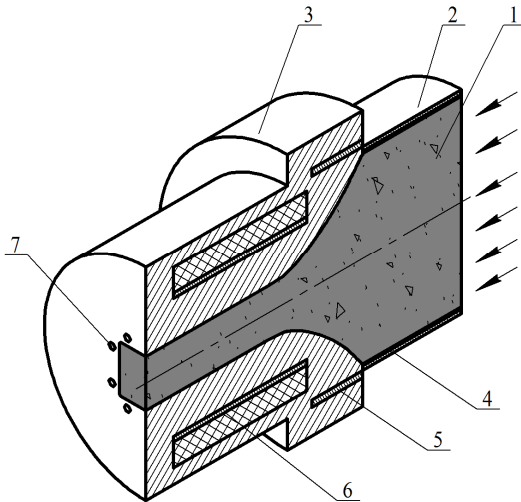


Рис. 1 – Схема пресового інструменту для формування вуглецевої маси методом екструзії: 1 – вуглецева маса; 2 – масний циліндр; 3 – мундштук; 4 – нагрівник масного циліндра, 5 – нагрівник західної частини мундштука; 6 – нагрівник калібрувальної частини мундштука; 7 – додаткові нагрівники

Масний циліндр є теплоізолюваною циліндричною камерою з електричним нагрівником, розташованим по всій його поверхні. Він є нерухомою частиною пресового інструменту, тому має допоміжні системи, які дають змогу заповнювати його масою [4].

Конструкція мундштука передбачає можливість його заміни і реалізує дві зони деформування: західну та калібрувальну. В західній частині відбувається значне деформування маси та перехід від круглого профілю до прямокутного, що відповідає геометрії заготовки, а в калібрувальній частині формується кінцевий профіль виробу. Для створення необхідного рівня температури поверхні мундштука та маси використовуються два основних нагрівники: в західній та калібрувальній частинах, а також чотири допоміжні, які розташовані на кутах прямокутного отвору калібрувальної частини.

Гідравлічна система преса розвиває зусилля біля 60 МН, яке передається плунжером до маси. Підпресовка проводиться при  $20 \pm 2$  МПа, а рекомендований діапазон пресування складає 2–6 МПа.

Режим пресування та температурний режим процесу контролюється сучасною електронно-вимірювальною апаратурою, а регулювання здійснюється автоматично та оператором.

Формування вуглецевих виробів методом екструзії через мундштук складається з таких основних операцій:

- заповнення масного циліндра охолодженою масою;
- розігрів маси до визначених температур;
- підпресовка;
- пресування та маркування виробів;
- відрізання заготовки певної довжини;
- охолодження водою та огляд заготовки;
- транспортування заготовки на рольганг для охолодження;
- виробничий контроль якості виробу.

Підпресовка – це операція ущільнення маси при замкненому вихідному отворі мундштука преса. Під час підпресовки досягається високий ступінь ущільнення маси, що впливає на характер її руху через мундштук, це дає можливість отримувати заготовки з високою щільністю та однорідністю.

Під час пресування маса витискається через мундштук під дією плунжера. Її рух характеризується шаровою структурою: в масному циліндрі шари рухаються паралельно один одному, а в мундштуці – центральні дещо випереджують периферійні. Таке розшарування виникає за рахунок того, що матеріал у центрі проходить менший шлях, ніж периферійний, а також через взаємодію стінок мундштука з масою. Крім того, під час руху твердий наповнювач, що має загалом неправильну форму гранул, переорієнтовується таким чином, щоб найбільший розмір частинок був направлений за напрямком пресування матеріалу. Зазначені особливості утворюють характерну для пресування через мундштук структуру заготовки, що має виражену анізотропію властивостей у перпендикулярному до осі виробу напрямі [6 – 8].

Для одержання високоякісних вуглецевих виробів без браку вирішальним чинником є витримка технологічного регламенту, що включає визначені діапазони температури різних частин пресового інструменту, величини тиску й швидкості пресування. Зазвичай регламент пресування визначається експериментальним шляхом на підставі аналізу кількості бракованих виробів.

Найчастіше брак виробництва проявляється в тріщинах та задирах у заготовках. За наявності зазначених дефектів у виробі він відбраковується та не йде на подальшу термічну обробку, а подрібнюється і використовується як складова наповнювача іншої продукції, що викликає додаткові витрати ресурсів та енергії.

Причини, що призводять до утворення дефектів у заготовках, пов'язані зі складом вуглецевої маси, а саме із вмістом зв'язувального та крупнішої частинки наповнювача та з температурним режимом пресового інструменту. Зазначені фактори тісно пов'язані між собою та впливають один на одного [7, 8]. Так, за більшого вмісту зв'язувального в масі для ефективного формування необхідні дещо нижчі температури пресового інструменту, через підвищену пластичність та ймовірність деформування й викривлення форми виробу. З іншого боку, перегрів чи недогрів поверхні мундштука призводить до градієнту швидкості в зонах

контакту з масою та утворенню тріщин, як у повздожньому, так і поперечному напрямках. Тому ефективно та бездефектно пресування ґрунтується на балансі між реологічними властивостями наявної вуглецевої маси та тепловим режимом пресового інструменту, який досягається завдяки досвіду технолога та оператора виробництва.

Для формування заготовок використовують різні за своєю рецептурою вуглецеві маси. Вони складаються зі зв'язувального (пеки різного походження) та наповнювача (вуглецевий сипучий матеріал – антрацит, кокс, термооброблена вуглецева сировина тощо), що змішуються до високого ступеня однорідності. Рецептура, а саме вміст зв'язувального та гранулометричний склад наповнювача, визначає технологічний режим пресування [5].

Дослідження фізичних процесів на промисловому обладнанні та в реальних умовах виробництва потребує розробки спеціальної програми експерименту та відповідного вимірювального обладнання. Складнощі під час проведення експериментальних досліджень полягають у необхідності виконувати вимірювання таким чином, щоб мінімізувати вплив на робочий процес та отримати максимально повну та різнобічну картину явищ, що відбуваються [2].

Для проведення експериментальних досліджень обрано кампанію пресування вуглецевої маси, характеристики якої представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Склад досліджуваних зразків вуглецевої маси

Вміст зв'язувального, %	Наповнювач	
	Складова наповнювача	Вміст, %
27,6±2	Графітована вуглецева сировина, фракція (0–10) мм	70
	Графітована вуглецева сировина, фракція (0–0,05) мм	30

Для зазначеної вуглецевої маси технологічний процес проводиться за певного технологічного регламенту, що наведений в табл. 2.

Таблиця 2 – Технологічний регламент для експериментальної кампанії пресування

Параметр	Значення
Температура в масному циліндрі, °C	105–120
Температура в західній частині мундштука, °C	115–150
Температура в калібрувальній частині мундштука, °C	115–150
Тиск підпресовки, МПа	20±2
Час підпресовки, хв	3–5
Тиск пресування, МПа	2–6, макс. 9
Швидкість пресування, м/хв	0,7–1,0

Штатне вимірювальне обладнання на пресовому інструменті представлено ватметрами для всіх електричних нагрівників (похибка вимірювання  $\pm 0,1\%$ ); електронний датчик вимірювання тиску (похибка вимірювання  $\pm 0,5\text{--}1\%$ ); хромель-алюмелевими термопарами (похибка вимірювання  $\pm 1,5\text{ }^\circ\text{C}$ ) [3, 9]. Схема розміщення штатних термопар в корпусі мундштука показана на рис. 2.

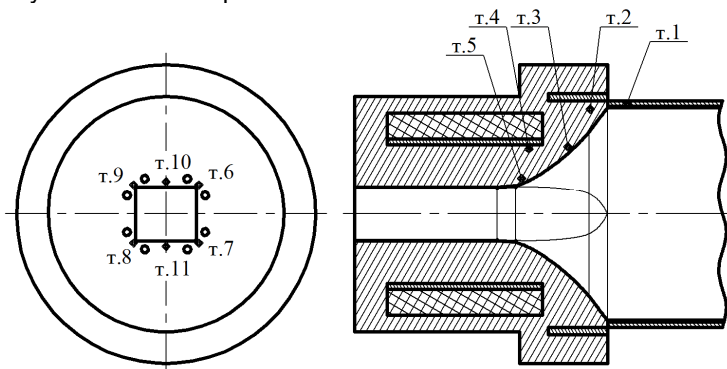


Рис. 2 – Схема пресового інструменту для формування вуглецевої маси методом екструзії: т. 1 – т. 11 – нумерація штатних термометричних датчиків

Тривалість кампанії пресування складає понад 10 діб. Вона починається із завершення змішування необхідної кількості маси, паралельно з цим відбувається розігрів пресового інструменту. Далі, маса завантажується в масний циліндр, підпресовується та формується у заготовки – це один етап пресування. Даний цикл продовжується в залежності від потреб та плану виробництва [1].

Експериментальні дослідження проведені для чотирьох безбракових етапів в середині кампанії пресування, тобто для чотирьох завантажень масного циліндра.

На рис. 3 представлено графік зміни з часом тиску підпресовки та власне пресування. Сірим кольором відділено етап пресування.

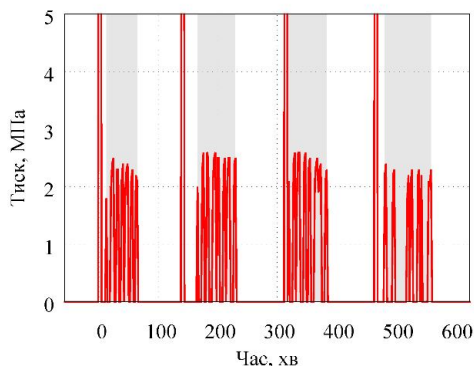


Рис. 3 – Графік зміни тиску впродовж чотирьох етапів пресування

Для дослідної кампанії тиск підпресовки на різних її етапах складає 20,4–20,8 МПа. Перша заготовка (розпар) пресується з тиском 1,4–2,1 МПа, а тиск пресування заготовок – 2,1–2,6 МПа. З представлених даних видно, що етапу пресування передує підпресовка із значним прикладеним зусиллям для ущільнення вуглецевої маси. Власне етап пресування починається з видавлювання першої заготовки (розпар) із меншим, ніж нормальним для процесу зусиллям. Це пов'язано з тим, що розпар є перегрітим матеріалом, а отже має меншу в'язкість та коефіцієнт тертя об мундштук. Крім того, в ньому присутній матеріал з минулого завантаження масного циліндра, що негативно впливає на якість заготовок. Розпар взагалі вважається браком, тому і не йде в подальше виробництво.

Електричний нагрівник масного циліндра має потужність біля 22 кВт та працює в автоматичному режимі, що контролюється датчиком температури 1 з налаштуванням значень у діапазоні 114–116 °С. Графік зміни електричної потужності та температури, що вимірюється в масно-му циліндрі, показано на рис. 4.

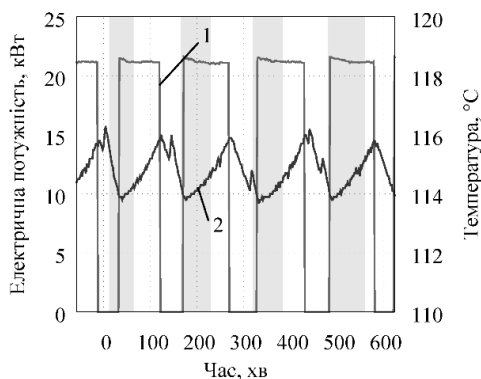


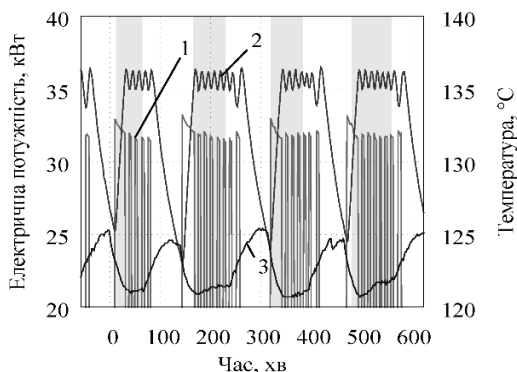
Рис. 4 – Графік зміни електричної потужності та температури для масного циліндра:

1 – електрична потужність; 2 – температура в т. 1

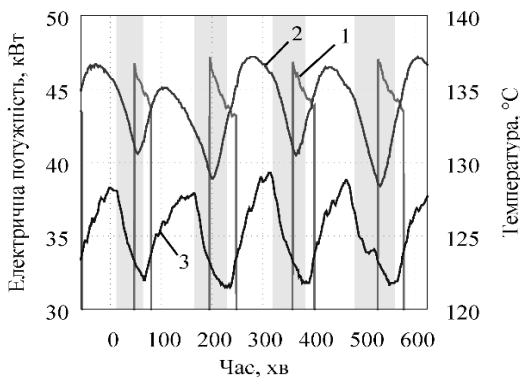
Зміна електричної потужності та температури в контрольованих точках західної частини мундштука показана на рис. 5. Нагрівник західної частини вмикається оператором після завершення підпресовки. Його потужність складає 32–34 кВт. Далі, система автоматика контролює роботу нагрівника на підставі показань термодатчика т. 2, значення якого повинні бути в діапазоні 134–136 °С, тому він вмикається періодично. Через певний час після завершення етапу пресування нагрівник вимикається до наступного циклу.

Температура поверхні західної частини мундштука (т. 3) характеризуються значною інертністю відповідно до температури в т. 2. Тому максимальне значення біля 125 °С спостерігається в проміжках між етапами пресування. Під час формування заготовок температура поверхні західної частини мундштука знаходиться в діапазоні 121–123 °С.

Зміна електричної потужності та температури в контрольованих точках калібрувальної частини мундштука показана на рис. 6. Контроль роботи нагрівника виконується автоматично, виходячи із показань температурних датчиків т. 4 та т. 5, потужність якого складає 44–47 кВт. Система автоматики вмикає нагрівник за умови досягнення температури 123 °С в т. 5, а вимикає при 134 °С за показами датчика т. 4.



**Рис. 5 – Графік зміни електричної потужності та температури в контрольованих точках західної частини мундштука:**  
**1 – електрична потужність; 2 – температура в т. 2; 3 – температура в т. 3**



**Рис. 6 – Графік зміни електричної потужності та температури в контрольованих точках калібрувальної частини мундштука:**  
**1 – електрична потужність; 2 – температура в т. 4; 3 – температура в т. 5**

Такий режим роботи призводить до того, що під час пресування спостерігається зниження температури поверхні калібрувальної частини мундштука через теплообмін із масою, яка рухається. Температура в т. 5 впродовж пресування змінюється від 128 °С до 122 °С, а вже після завершення формування заготовок починається нагрівання поверхні до 128–129 °С.

Додаткові нагрівники, які встановлені по кутах каналу калібрувальної частини мундштука, призначені для зниження впливу теплових кутових

ефектів. Система автоматики підтримує сталий рівень температури в діапазоні 115–120 °С за показами терморпар т. 6–9. Потужність додаткових нагрівників складає 1,8 кВт. На рис. 7 показано зміну температури в т. 6–9 впродовж експериментальної кампанії пресування.

Показання терморпар, розташованих на верхній та нижній поверхнях калібрувальної частини мундштука (т. 10, 11), представлено на рис. 8.

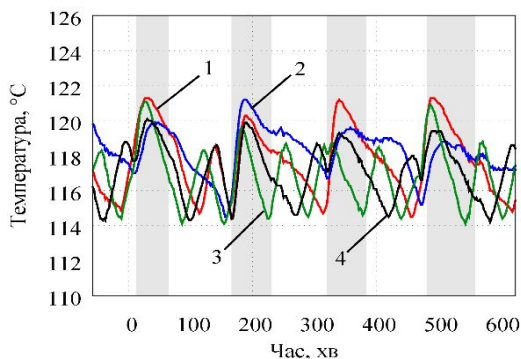


Рис. 7 – Графік зміни температури в точках біля додаткових нагрівників: 1 – т. 6; 2 – т. 7; 3 – т. 8; 4 – т. 9

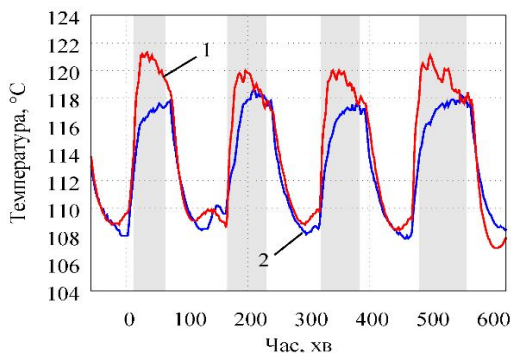


Рис. 8 – Графік зміни температури на верхній та нижній поверхнях калібрувальної частини мундштука: 1 – т. 10; 2 – т. 11

З наведених даних випливає, що температура вихідної поверхні мундштука залежить від роботи додаткових нагрівників та від процесу теплообміну між масою, що рухається, та стінками пресового інструменту. Крім того, істотний вплив на тепловий режим має масивна плита, що закриває вихідний отвір мундштука після закінчення пресування та до кінця підпресовки. Так, інтенсивний ріст та падіння температури у т. 10, 11 в проміжках часу між пресуванням пов'язаний саме із теплообміном між гарячим мундштуком та більш холодною плитою.

Різниця по температурі між симетрично розташованими датчиками може бути пов'язана з різними умовам теплообміну: верхня частина



мундштука (т. 10) охолоджується вільною конвекцією; нижня частина мундштука (т. 11) є більш ізольованою через конструктивні елементи пресового інструменту.

Впродовж досліджуваної кампанії пресування отримано якісні вуглецеві заготовки без дефектів, що свідчить про можливість застосування даного регламенту.

Представлені на рис. 3 – 8 дані вказують на циклічність процесу формування через мундштук, що дає підставу для осереднення та представлення результатів у вигляді регламенту проведення етапу пресування в безрозмірній формі за часом (рис. 9 – 11).

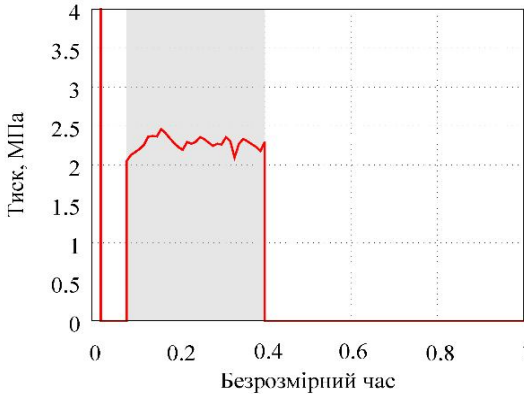


Рис. 9 – Регламент етапу пресування в безрозмірній формі за часом, тиск пресування

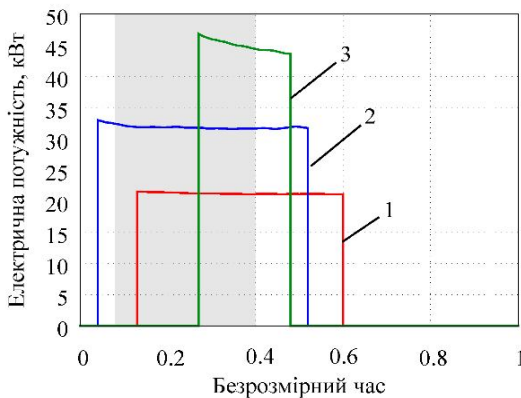


Рис. 10 – Регламент етапу пресування в безрозмірній формі за часом, електрична потужність: 1 – потужність нагрівника масного циліндра; 2 – потужність нагрівника західної частини мундштука; 3 – потужність нагрівника калібрувальної частини мундштука

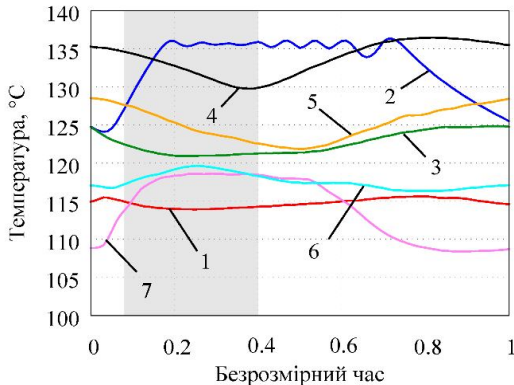


Рис. 11 – Регламент етапу пресування в безрозмірній формі за часом, температура штатних точок вимірювання:  
1 – т. 1; 2 – т. 2; 3 – т. 3; 4 – т. 4; 5 – т. 5; 6 – т. 6–9; 7 – т. 10, 11

**Висновки.** Отримані залежності технологічних параметрів та показників процесу пресування, необхідні для апробації та верифікації числових моделей процесу формування вуглецевих заготовок методом екструзії через мундштук.

В результаті проведених експериментальних досліджень температурного стану пресового інструменту та вуглецевої маси визначено, що процес формування у промисловому пресі має виражений циклічний характер. Досліджено зв'язок між параметрами початку і кінця різних етапів пресування та встановлено, що для проведення безбакового процесу пресування вкрай важливим є моніторинг та контроль технологічних параметрів на всьому періоді виробничого циклу, включаючи час простою пресу на завантаження нової порції вуглецевої маси.

## БІБЛІОГРАФІЧНІ ПОСИЛАННЯ

1. **Карвацький А. Я.** Экспериментальное исследование теплового состояния промышленного пресса для формования углеродной продукции / А. Я. Карвацький, Т. В. Лазарев, А. Ю. Педченко // Вісн. Хмельницького нац. ун-ту, Сер.: Технічні науки. – Хмельницький. – 2016. – № 3(237). – С. 188–194.
2. **Карвацький А. Я.** Теоретичні та експериментальні дослідження теплоелектричного та механічного стану високотемпературних агрегатів / А. Я. Карвацький, Є. М. Панов, С. В. Кутузов та ін. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. — 352 с.
3. **Панов Е.Н.** Комплекс сбора данных для высокотемпературных промышленных агрегатов / Е. Н. Панов, С. В. Лелека, М. В. Коржик // ПиКАД. – 2005. – № 2. – С. 28–30.
4. **Лазарев Т. В.** Математическая модель процесса экструзии вязко-пластичной углеродной массы / Т. В. Лазарев, А. Я. Карвацький, С. В. Лелека, А. Ю. Педченко // Вестник НТУ «ХПИ», Сер.: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12(1184). – С. 31–37.
5. **Уразлина О. Ю.** Исследование физических свойств термоантрацита при высокотемпературной прокатке антрацита / О. Ю. Уразлина, М. М. Гасик, М. И. Гасик // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2004. – № 4. – С. 17–20.
6. **Фиалков А. С.** Процессы и аппараты производства порошковых углеродных материалов / А. С. Фиалков. – М. : Аспект Пресс, 2008. – 687 с.

7. **Bhatia G.** Physical characteristics of extruded carbon mixes / G. Bhatia // Journal of Materials Science. – 1976. – № 11(7). – P. 1375–1377.

8. **Dickinson J. M.** Observations concerning the determination of porosities in graphites / J. M. Dickinson, J. W. Shore // Carbon. – 1968. – Vol. 6, Is. 6. – P. 937–941.

9. Essential Readings in Light Metals: Electrode Technology for Aluminum Production, Volume 4 / ed. by A. Tomsett, J. Johnson. – John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2013. – 1210 p.

10. **Jäger H.** Carbon, 4. Industrial Carbons. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry / H. Jäger, W. Frohs, M. Banek, et. al. – Wiley, 2010. – 40 p.

11. **Sang-Min L.** Bulk graphite: materials and manufacturing process / L. Sang-Min, K. Dong-Su, R. Jea-Seung // Carbon Letters. – 2015. – Vol. 16, № 3. – P. 135–146.

*T. В. Лазарев, канд. техн. наук, А. Я. Карвацкий, д-р техн. наук,  
С. В. Лелека, канд. техн. наук, А. Ю. Педченко*

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ УГЛЕРОДНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ПРЕССОВАНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ**

Проведены экспериментальные исследования процесса формирования крупногабаритной углеродной продукции методом экструзии на промышленном прессовом инструменте. Определены основные технологические параметры и показатели процесса экструзии (давление, электрическая мощность нагревателей, температуры в разных зонах прессового инструмента) и исследовано их циклическое изменение во время кампании прессования. На основе экспериментальных данных получено усредненный регламент прессования углеродистой массы в безразмерной форме по времени.

*Ключевые слова:* углеродистая масса, электродные заготовки, экструзия, формирование, прессование, экспериментальные исследования.

*T. V. Lazarev, PhD (Tech.), A. Ya. Karvatskii, Dr. Sci. (Tech.),  
S. Leleka, PhD (Tech.), A. Yu. Pedchenko*

### **EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE PROCESS OF CARBON MATERIAL FORMING WITH THE USAGE OF PRESSING METHOD IN INDUSTRIAL EQUIPMENT**

Experimental research of the formation process of large size carbon products with the method of extrusion in industrial pressing equipment is held. Basic technological parameters and values of extrusion process (pressure, electrical power of heaters, temperature in different areas of pressing equipment) are defined and their cyclic changes during the process are investigated. Average pressing technological regime of carbon materials was obtained on the basis of experimental data.

*Keywords:* carbon mass, electrode feed, extrusion, forming, pressing, experimental research.

Molding hydraulic system has power around 60 *MH*, which is delivered by the plunger to mass. Premolding is held under  $20 \pm 2$  *MPa* and recommended range of molding is 2–6 *MPa*.

There are some reasons, which lead to defects in workpieces. These reasons are connected with carbon mass composition, particularly, with the presence of binding material, with the size of filler particles and with the

temperature mode of molding instrument. Effective and non-defect molding is based on the balance between rheological properties of the present carbon mass and temperature mode of molding instrument.

Molding campaign was chosen for conducting experimental researches. Characteristics of the process are introduced in the Table 1.

Table 1 – **Composition of investigated samples of carbon mass**

The content of binding, %	Filler	
	Filler components	Contents, %
27,6±2	Graphitized carbon materials, grading fraction (0–10) mm	70
	Graphitized carbon materials, grading fraction (0–0,05) mm	30

Technological process for the given carbon mass is held under definite specification, which is described in the Table 2.

Table 2 – **Technological specification for experimental molding campaign**

Parameter	Value
The temperature in the mass extruding cylinder, °C	105–120
The temperature in the incoming part of the die carrier, °C	115–150
The temperature in the calibration part of the die carrier, °C	115–150
Premolding pressure, MPa	20±2
Premolding time, min	3–5
Molding pressure, MPa	2–6, max. 9
Molding speed, m/min	0,7–1,0

The scheme of state thermal elements location in the die carrier case is introduced in the Fig. 1.

The duration of the molding process is more than 10 days. Experimental researches were held for 4 non-defect stages in the middle of the process that is during loading of mass cylinder.

Premolding pressure on the different stages of the process varied from 20,4 to 20,8 MPa. The first workbench underwent molding under 1,4–2,1 MPa. It is clear that premolding is held before molding stage with significant power for carbon mass compression.

Fig. 2 describes the graphic of the pressure change during premolding and molding dependence on time. Molding stage is marked with grey color.

Received experimental data show cyclic character of the process of formation through die carrier. It enables us to perform average result and create specification of premolding stage in dimensionless form depending on time (Fig. 3, 4).

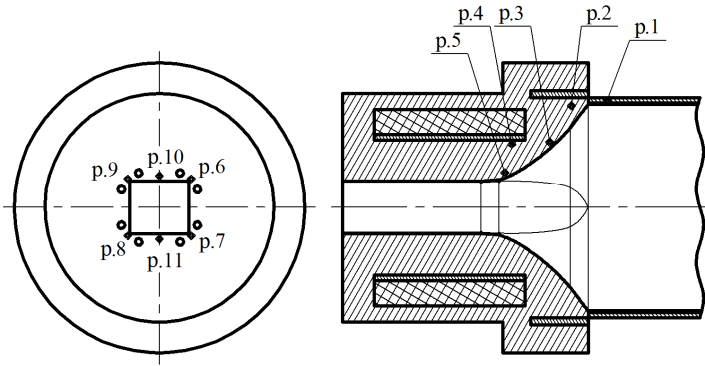


Fig. 1 – The scheme of molding instrument for carbon mass formation using the extrusion method: p. 1 – p. 11 – numeration of thermal sensors

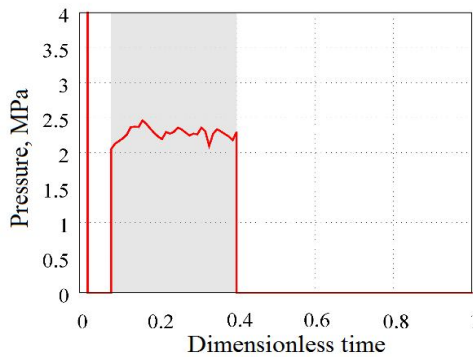


Fig. 2 – Specification of premolding stage in dimensionless form depending on time, molding pressure

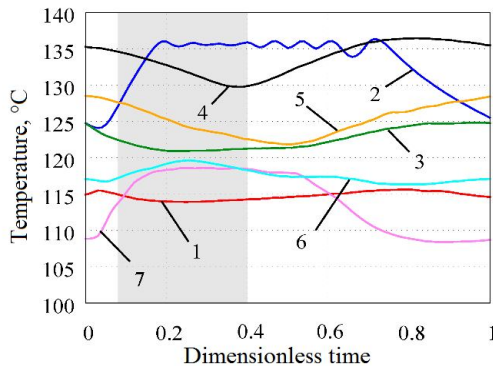


Fig. 3 – Specification of premolding stage in dimensionless form depending on time, temperature measure point:  
 1 – p. 1; 2 – p. 2; 3 – p. 3; 4 – p. 4; 5 – p. 5; 6 – p. 6–9; 7 – p. 10, 11

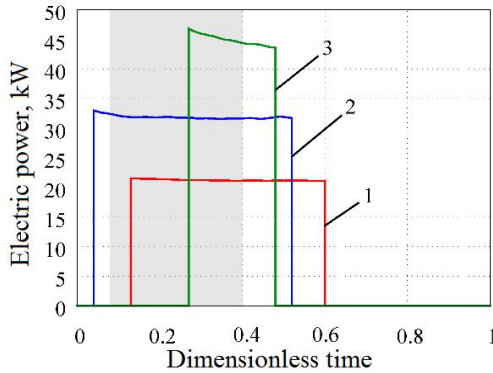


Fig. 4 – Specification of premolding stage in dimensionless form depending on time, electrical power: 1 – heater power of mass cylinder; 2 – heater power of western part of die carrier; 3 – heater power of calibration part of die carrier

The heater of the incoming part is switched on by the operator after premolding is finished. Its power compiles 32–34  $\kappa W$ . Then automation system controls heater performance with the help of thermal sensor p. 2. The values of the sensor must be between 134–136  $^{\circ}C$ . That is the reason why it is switched on regularly.

Covering temperature of the incoming part of the die carrier (p. 3) is characterized by significant inertia depending on the temperature according to sensors values p. 2. That is why the maximum value around 125  $^{\circ}C$  is observed between stages of premolding. During the process of workpieces formation the temperature in the incoming part of die carrier varies from 121 to 123  $^{\circ}C$ .

Heater control of calibration part of die carrier, the power of which is 44–47  $\kappa W$ , is done automatically on the basis of thermal sensors p. 4 and p. 5. The system switches the heater on if temperature reaches 123  $^{\circ}C$  and switches it off if it reaches 134  $^{\circ}C$ . Such working mode leads to temperature drop during molding as a result of mass heat exchange.

Additional heaters, equipped in the corners of calibration part of die carrier, are used to decrease the influence of thermal corner effects. The system maintains stable temperature level 115–120  $^{\circ}C$  according to thermocouples values of p. 5, 6. The power of additional heaters is 1,8  $\kappa W$ .

Solid tile, which covers outlet of die carrier after molding is finished, has a significant influence on thermal mode. Intensive increase and sudden drop of the temperature (according to sensors values of p. 10, 11) was connected with thermal exchange between die carrier and cooler solid tile.

**Conclusions.** As a result of the held researches of temperature state of molding instrument and carbon mass it was found out that the formation process in molding had cyclic character. The connection between parameters of the start and end of different molding stages was investigated. It was found out that monitoring and control of technical parameters during the whole industrial cycle were highly important in order to achieve non-defect molding process.

## REFERENCES

1. **Karvatskii A. Ya.** Experimental study of the thermal state of the industrial press molding carbon products / A. Ya. Karvatskii, T. V. Лазарев, A. Yu. Pedchenko // Bulletin of Khmelnytsky National University, Series: Engineering. – Khmelnytsky. – 2016. – № 3(237). – P. 188–194. (in Ukrainian).
2. **Karvatskii A. Ya.** Theoretical and experimental research of thermoelectrical and mechanical condition of high temperature aggregates / A. Ya. Karvatskii, Ye. M. Panov, S. V. Kutuzov et. all. — K. : NTUU «KPI», 2012. — 352 p. (in Ukrainian).
3. **Panov Ye. M.** Complex data collection for high-temperature industrial aggregates / Ye. M. Panov, S. V. Leleka, M. V. Korzhik // PiKAD. – 2005. – № 2. – P. 28–30. (in Russian).
4. **Lazariev T. V.** A mathematical model of the extrusion process of viscous-plastic carbon masses / T. V. Lazariev, A. Ya. Karvatskii, S. V. Leleka, A. Yu. Pedchenko // Bulletin of NTU «HPI», Series: New solutions in modern technologies. – Kharkiv : NTU «HPI». – 2016. – № 12(1184). – P. 31–37. (in Russian).
5. **Urazlina O. Yu.** Investigation of the physical properties of thermal anthracite at high-temperature anthracite calcination / O. Yu. Urazlina, M. M. Gasik, M. I. Gasik // Metallurgical and Mining Industry. – 2004. – № 4. – P. 17–20. (in Russian).
6. **Fialkov A. S.** Processes and devices of production of powdered carbon materials / A. S. Fialkov. – M. : Aspekt Press, 2008. – 687 p. (in Russian).
7. **Bhatia G.** Physical characteristics of extruded carbon mixes / G. Bhatia // Journal of Materials Science. – 1976. – № 11(7). – P. 1375–1377.
8. **Dickinson J. M.** Observations concerning the determination of porosities in graphite / J. M. Dickinson, J. W. Shore // Carbon. – 1968. – Vol. 6, Is. 6. – P. 937–941.
9. Essential Readings in Light Metals: Electrode Technology for Aluminum Production, Volume 4 / ed. by A. Tomsett, J. Johnson. – John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2013. – 1210 p.
10. **Jäger H.** Carbon, 4. Industrial Carbons. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry / H. Jäger, W. Frohs, M. Banek, et. all. – Wiley, 2010. – 40 p.
11. **Sang-Min L.** Bulk graphite: materials and manufacturing process / L. Sang-Min, K. Dong-Su, R. Jea-Seung // Carbon Letters. – 2015. – Vol. 16, № 3. – P. 135–146.

*Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»,  
Київ, Україна*

*Надійшла до редколегії 14.07.2016*