

**Гнилиця І.Д.,  
Криль Я.А.,  
Цап І.В.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
м. Івано-Франківськ, Україна

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ  
ОДЕРЖАННЯ СИЛІЦІЙОВАНИХ ГРАФІТІВ  
ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КІЛЕЦЬ  
ТОРЦЬОВИХ УЩІЛЬНЕНЬ ВІДЦЕНТРОВИХ  
НАСОСІВ НА ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ  
ВЛАСТИВОСТІ**

### Вступ

В магістральних відцентрових насосах типу НМ отримали розповсюдження одинарні торцеві ущільнення типу ТМ. У залежності від діаметру ущільнюючого вала виготовляються торцеві ущільнення ТМ-85, ТМ-105, ТМ-120, ТМ-140 (цифра вказує діаметр вала). Торцеві ущільнення ТМ відносять до типу ущільнень з не обертовим пружним елементом. Дане ущільнення гідравлічно розвантажене. Контактні кільця ущільнення виготовляються з карбіду кремнію або силіційованого графіту.

Торцеві ущільнення ТМ згідно технічним умовам мають протікання не більше 300 см<sup>3</sup>/год. та середнє напрацювання до відмови 5 тис. год. при середньому ресурсі 8 тис. год. Ці дані гарантуються, якщо тиск в камері не більше 2,5 МПа, а в перекачуваному середовищі вміст включень не більше 0,2 % при розмірі частинок не більше 0,2 мм., при швидкості ковзання пар тертя 20 м/с. Сила тиску пружин торцевого ущільнення знаходиться в межах 250 - 300 Н.

Робота торцевого ущільнення залежить від контактного тиску, швидкості ковзання, температури, режиму тертя, умов гідро абразивного зношування.

Робота торцевих ущільнень сильно залежить від тиску середовища. З підвищенням тиску знижується напрацювання до відмови, підвищуються вимоги до якості деталей, вибору їх матеріалів. В більш важких умовах працюють насоси при послідовних з'єднаннях. В цих умовах робочий тиск становить до 4 МПа і при цьому ресурс роботи торцевих ущільнень необхідно підвищувати до 10 - 15 тис. год.

### Постановка задачі

У промисловості використовують силіційований графіт марок: СГ-М, СГ-Т, СГ-П, ГАКК 30/63, ГАКК 55/40 (табл. 1).

Таблиця 1

**Хімічний склад силіційованих графітів**

Хімічний склад, %	СГ-М	СГ-Т	СГ-П	ГАКК 30/63	ГАКК 55/40
SiC	27	55-70	50-70	45	44
C	58	5-33	25-47	35	55
Si+SiO <sub>2</sub>	15	12-25	3-5	20	1

Силіційовані графіти отримують насиченням вихідного графіту по всьому об'єму рідким кремнієм при температурі вище 2000 °С, при цьому проходить реакція з утворенням карбіду кремнію [1]. Однак не весь кремній реагує з вуглецем, а тому вільний кремній обмежує хімічну стійкість цих матеріалів (марки СГ-Т, СГ-П не стійкі при роботі в лужних середовищах).

Порівнюючи кільця пари тертя з силіційованого графіту із зарубіжними виробниками, можна відмітити нижчу якість і недоліки вітчизняних виробів. Тому необхідно поставити задачу про отримання якісного матеріалу, тобто розглянути процес виготовлення контактних кілець з силіційованого графіту, розглянути причини виникнення браку, а також максимізувати фізико-механічні властивості виробу.

Серед методів формування виробів із порошків одним із най розповсюджених є пресування в металевих прес-формах [2 - 5]. У процесі пресування, порошкової заготовки не тільки надається необхідна форма, але і проходить формування властивостей матеріалу.

Отримання спресованого виробу з найбільш рівномірною щільністю по об'єму є важливою задачею, оскільки ділянки з різною щільністю у процесі спікання дадуть різну величину усадки, що може призвести до значної зміни форми і розмірів спеченого виробу.

Найбільш проста схема одностороннього пресування застосовується для формування виробів типу пластин, кілець, втулок, для яких співвідношення висоти до діаметру не більше одиниці.

Більш рівномірний розподіл щільності в спресованому виробі можна досягнути застосувавши схему двохстороннього пресування. Однак і у цьому випадку центральна зона спресованого виробу володіє зниженою щільністю і особливо великі труднощі виникають при отриманні рівно щільних спресованих виробів без тріщин при пресуванні виробів складної форми.

У зв'язку з цим ведуться роботи пов'язані з вдосконаленням методів пресування у металевих прес-формах за трьома основними напрямками:

1) створення ізостатичних тисків у прес-формі з використанням еластичних оболонок. Відсутність зовнішнього тертя і прикладання усесторонніх стискаючих напружень дозволяє отримати спресованого виробу з рівномірним розподілом щільності. Стійкість оболонок із гуми з натурального каучуку складає при цьому більше 1000 пресувань. До недоліку методу слід віднести малі розміри пресованих виробів;

2) пресування з прикладанням до пресованої порошкової маси вібраційної дії [6]. Створення знакозмінних імпульсів з амплітудою 5 - 30 мкм і частотою 10 - 500 Гц надає дисперсній системі велику рухливість і може зменшити тертя об стінки прес-форми практично до нуля. Це призводить до хорошого заповнення форми, руйнуванню утворень типу "арок" і значному зниженню тиску пресування. Метод дозволяє формувати великогабаритні вироби з великим відношенням висоти до діаметру ( $> 10$ ) і практично рівномірним розподілом щільності. Велике значення при цьому методі пресуванні має форма порошкових частинок і гранулометричний склад. Підбираючи їх таких чином, щоб більш мілкі фракції заповняли порожнечу, що утворюється крупнішою фракцією, можна отримувати спресовані вироби з низькою пористістю;

3) застосування вакуумованої порошкової маси, що створює умови для підвищення рівномірності розподілу щільності брикетів і зниження небезпеки утворення розшарованих тріщин при підвищених тисках пресування. Короткий огляд приведений в роботі [1], результати яких свідчать про те, що одною із основних причин утворення розшарування при пресуванні є запресоване повітря.

Метою даної роботи є дослідження впливу запресованого повітря на механічні властивості та експлуатаційні характеристики силіційованого графіту.

### Зміст і результати досліджень

Для вивчення впливу повітря на щільність і міцність пресованих зразків проводилось порівняння результатів пресування на повітрі і у розробленій установці, що забезпечує можливість пресування у вакуумі порядку 1,3 Па (рис. 1).

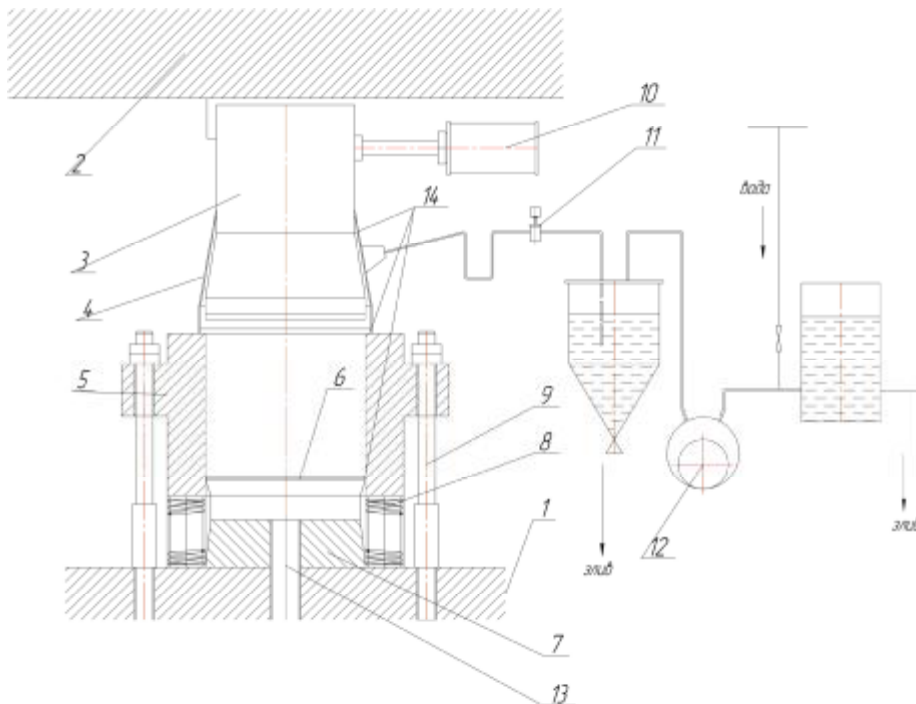
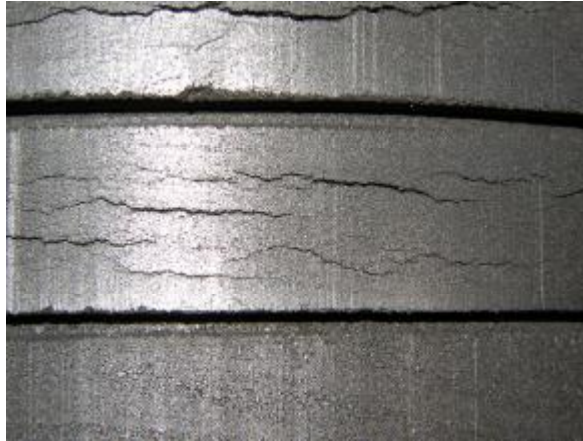


Рис. 1 – Схема установки для пресування з вакуумуванням на гідравлічному пресі:

- 1 – основа преса; 2 – рухома траверса; 3 – штамп преса; 4 – вакуумний ковпак;  
5 – плаваюча прес-форма; 6 – нижній штамп; 7 – плита; 8 – пружини; 9 – з'єднувальні тяги;  
10 – гідропривід; 11 – дросель; 12 – насос; 13 – штанга; 14 – ущільнення

Для формування спресованих виробів використовували електродний графіт фракцій 5 - 8 мкм і 50 - 100 мкм. У якості зв'язки використовували 15 % розчин бакеліту в етиловому спирті. При пресуванні на повітрі порошку мілкої фракції зразки без тріщин отримати не вдалося (рис. 2).



**Рис. 2 – Розшарування зразків при пресуванні на повітрі графітового порошку фракції 5 - 8 мкм**

Пресуванням на повітрі цілісні зразки були отримані лише при зменшенні вмісту мілкої фракції до 15 - 20 мас. % (решту фракція 50 - 100 мкм). При пресуванні у вакуумі формування зразків без тріщин можливе у всьому діапазоні співвідношень мілкої і крупної фракцій.

На основі аналізу результатів проведених експериментів, а також у відповідності з наявними літературними даними і практичним досвідом слід відзначити, що від'ємний вплив запресованого повітря при пресуванні порошкоподібних мас збільшується при наступних умовах:

1) якщо процес ведеться до щільності близько до критичної. Це положення характерне головним чином для порошоків з високим вмістом технологічної зв'язки, але може спостерігатися і при відносно невисоких вмістах зв'язки, якщо пресований матеріал допускає упаковку частинок з мінімальною пористістю.

2) якщо особливості пресованого матеріалу (визначається формою, розміром частинок, змочуваністю вибраної зв'язки і т.д.) зумовлюють його підвищене пружне розширення і схильність до пере пресування. У спресованому виробі із подібних порошоків значні тиски запресованого повітря особливо небезпечні, оскільки їх дія поєднується з дією інших негативних факторів.

3) якщо процес стискання проходить в умовах, що утруднюють видаленню повітря, а також викликають його нерівномірний розподіл по об'єму спресованого виробу. Крім високого вмісту дрібних фракцій, які значно знижують повітропроникність стискуваної системи, в цьому напрямі діють великі об'єми або невдалі конфігурації пресованих виробів і високі швидкості пресування.

У залежності від поєднання перерахованих факторів, а також з урахуванням вимог, пред'явлених до конкретних виробів, виникає необхідність застосування тих чи інших спеціальних заходів для зменшення вмісту газів в матеріалі у процесі пресування. До таких заходів відносяться:

1) підвищення газопроникності вихідних порошоків. Може здійснюватись шляхом підбору гранулометричного складу з практично повним виключенням мілкої фракції в порошках.

2) вибір режимів пресування, що сприяють витісненню повітря і його більш рівномірному розподілу в прес-формі. Збільшення рівномірності розподілу забезпечують шляхом зниження швидкості пресування, а також застосуванням ступінчатих режимів (головним чином, при умові відводу пуансонів під час пауз). Як показують дані випробувань, у ряді випадків доцільне зниження попереднього тиску при ступінчатому пресуванні, оскільки вже при тисках пресування на рівні 10-20 % від кінцевого, повітропроникність пресованого матеріалу стає досить незначною.

3) створення зазорів між пуансонами і матрицею, а також різного роду щілин або отворів в пуансонах. Однак можлива ефективність цього нерідко рекомендованого прийому обмежена, оскільки головною перешкодою, що лімітує інтенсивність видалення повітря, є внутрішній гідравлічний опір стиснутого порошку.

При спіканні у вакуумі спресованих виробів з вмістом порошку дрібних фракцій 20 - 100 % утворення тріщин спостерігали у 80 - 90 % зразків. Цілісні зразки після спікання були отримані при вмісті мілкої фракції у спресованих виробках на рівні 10 - 15 %.

Для приготування шліфів обробку площинності проводили на універсально-заточному верстаті моделі ЗБ456. при цьому взірець закріплювався у спеціальній оправці і послідовно шліфувався чашковими алмазними кругами з розмірами зерен 60/40, 20/14, 7/5, 3/2 мкм із застосуванням водоемульсійної охолоджуючої рідини.

Металографічні дослідження структури отриманого силіційованого графіту виконувалось на металографічних мікроскопах ПМТ і «NeoPhot» у відбитому світлі при збільшенні до 500 разів (рис. 3).

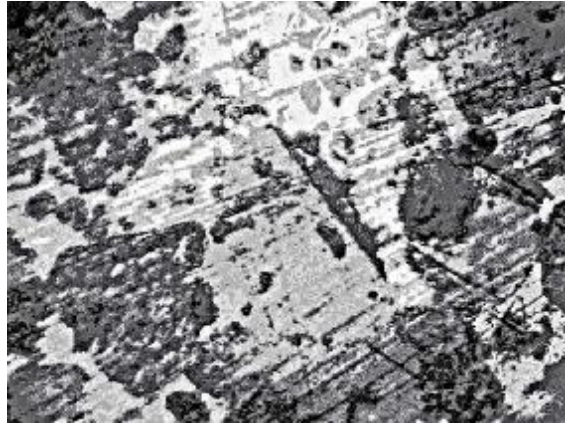


Рис. 3 – Структура отриманого силіційованого графіту (×500)

Хімічний склад всіх зразків сформованих і спечених на повітрі з застосуванням засипки з  $ZrO_2$  і сформованих і спечених у вакуумі знаходиться в межах: SiC – 45 – 52 %, C – 35 – 50 %, Si – 5 – 13 %.

Вимірювання твердості проводили за допомогою твердоміра ТП-7Р-1 з індентором Віккерса при навантаженні 100 Н. Розміри відбитків і довжини тріщин вимірювали на оптичному мікроскопі твердоміра ПМТ-3. На кожен зразок наносили 8 - 10 відбитків, а для одержання середнього значення тріщиностійкості матеріалу випробували 5 зразків.

Межу міцності при згині визначали навантаженням зразків розміром 3,5×5,0×35 мм за 3-х точковою схемою з базовою довжиною 30 мм на машині ГР-10. При навантаженні зразка міцність при згині визначали за формулою:

$$\sigma_{зг} = 45P / h^2 b, \quad (1)$$

де  $P$  – зусилля руйнування, Н;

$h$  і  $b$  – висота і ширина зразка; м.

Визначення  $K_{1c}$  проводили за величиною тріщин з вершин відбитка алмазної піраміди при навантаженні 100 Н за формулою:

$$K_{1c} = 0,075 \cdot \frac{P}{C^2}, \quad (2)$$

де  $P$  – навантаження на інденторі, Н;

$C$  – половина розмаху тріщини, м.

Густину виробів визначали згідно ГОСТ 20018-74 методом зважування зразка на повітрі і у воді (при глибині занурення не менше 10 мм) за формулою:

$$\rho = m_1 \cdot \rho_g / (m_1 - m_2) \quad (3)$$

де  $m_1$  і  $m_2$  – маса зразка на повітрі і у воді;

$\rho_g$  – щільність води, що залежить від температури.

Фізико-механічні властивості силіційованого графіту спресованого і спеченого у вакуумі на 10 - 15 % відсотків вище за пресований і спечений на повітрі (табл. 2), і пари тертя торцевих ущільнень з цього матеріалу демонструють на 15 - 20 % вищу зносостійкість (рис. 4).

Таблиця 2

**Властивості силіційованого графіту для виготовлення торцевих ущільнень при формуванні на повітрі і у вакуумі**

Характеристика	Силіційований графіт	
	Формування на повітрі	Формування та спікання у вакуумі
Густина, г/см <sup>3</sup>	2,41 - 2,43	2,57 - 2,59
Межа міцності при згині, МПа	100 - 120	110 - 135
Твердість HV10, ГПа	11 - 12	11,5 - 12
Тріщиностійкість $K_{1c10}$ , МПа·м <sup>1/2</sup>	3,0 - 3,5	3,2 - 3,8

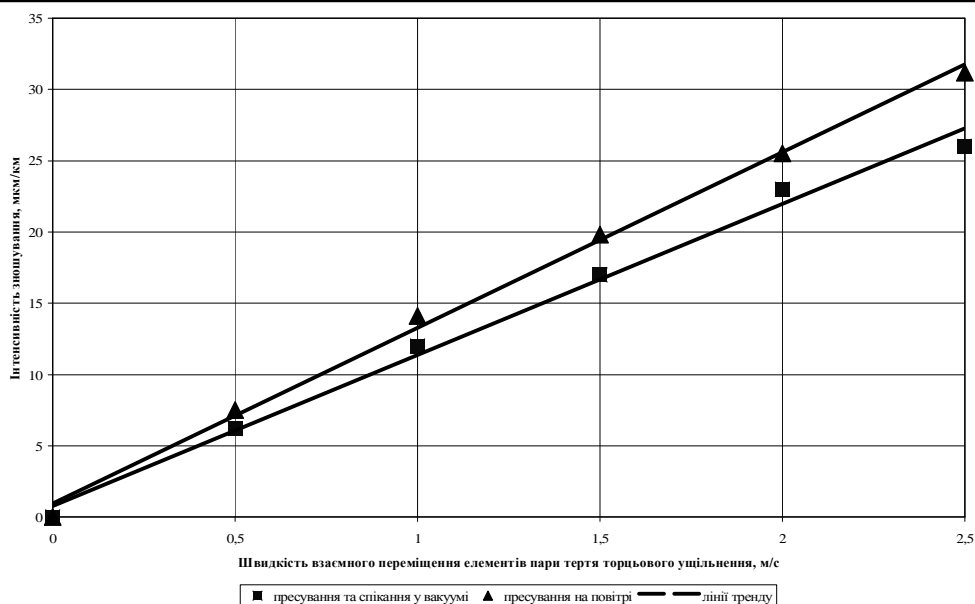


Рис. 4 – Порівняльна інтенсивність зношування кілець торцевих ущільнень з силіційованого графіту

## Висновки

Обґрунтовано і практично досліджено негативний вплив запресованого повітря, а саме розшарування спресованого виробу після зняття навантаження, при пресуванні пар тертя із силіційованого графіту.

Розглянуто методи пресування, які мінімізують вплив запресованого повітря. На основі експериментальних результатів і наявних літературних даних зроблено висновок про доцільність впровадження вакуумування при формуванні виробів.

Встановлено, що отримання силіційованого графіту без порушення цілісності можливе при вмісті порошку графіту мілкої фракції 5-8 мкм не більше 10-15 % (решту фракція 50-100 мкм).

При дослідженні фізико-механічних властивостей силіційованого графіту, що формувався і спікався у вакуумі, виявлено, що механічні характеристики на 10-15 % вищі за матеріал сформований на повітрі і спечений без застосування вакууму.

## Література

1. Русанова Л.Н., Горчакова Л.И., Ромашин А.Г. Реакционное спекание.– Порошковая металлургия, 1979, № 12. – С. 52-56.
2. Большин М.Ю. Порошковая металлургия. – М.: Машгиз, 1948, 285 с.
3. Жданович Г.М. Теория прессования металлических порошков. – М.: Металлургия, 1969. – 262 с.
4. Попильский Р.А., Кондрашов Ф.В. Прессование керамических порошков.– М.: Металлургия, 1968. – 272 с.
5. Дрофеев Ю.Г., Горшков С.А., Егоров С.Н. Некоторые особенности прессования порошков в вакууме.– Порошковая металлургия, 1979, № 8. – С. 17-21.
6. Шаталова И.Г., Горбунов И.С., Лихтман В.И. Физико-механические основы вибрационного уплотнения порошковых материалов.– М.: Наука, 1965.

Надійшла 25.05.2011