

$C$  – ємність подвійного шару, мФ·см<sup>-2</sup>;  
 $\alpha$  – коефіцієнт перенесення заряду;  
 $n$  – кількість перенесених електронів;  
 $F$  – стала Фарадея.

Використовуючи  $T = 1073$  К,  $n = 3$  та значення  $\alpha$  і  $C$  0,5 і 50 мФ·см<sup>-2</sup> відповідно, розраховували наближені значення  $\tau_c$  для області  $i_k$  від 100 до 200 мА·см<sup>-2</sup>. Значення ступеню згладження було апроксимовано з кривої  $\Delta = f(\tau/\tau_c)$ . Для експериментів, проведених за зарядом імпульсу 20 мК·см<sup>-2</sup> та  $\tau/\tau_c$  менше 1, розрахований ступінь згладження є високим (0,45...0,67). Тому осаджуються дендрити, подібно до покривів, одержаних постійнострумовим нанесенням. З іншого боку, для імпульсних зарядів 70 і 120 мК·см<sup>-2</sup>, коли ступінь  $\Delta$  є низьким (близько 0,1) очікували, що заряд подвійного шару матиме менший вплив. Підтвердженням цього є одержання кращих покривів титану імпульснострумовим методом.

**Сиропоршнєв Л.М.**

*(КПІ ім. Ігоря Сикорського, м. Київ)*

## **ВПЛИВ ГРАФІТУ НА КІНЕТИКУ ТВЕРДНЕННЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ СТРИЖНЕВОЇ СУМІШІ НА ОСНОВІ СПУЧЕНОГО ПЕРЛІТУ ТА ПОЛІСТИРОЛОВОГО ЗВ'ЯЗУВАЛЬНОГО КОМПОНЕНТА**

При виробництві виливків методом лиття за моделями, що газифікуються, іноді не вдається отримати бездефектну складну внутрішню порожнину із-за складності ущільнення сухого наповнювача. Для рішення цієї проблеми рекомендовано застосовувати комбіновані пінополістиролові моделі з ливарними стрижнями [1].

Враховуючи малу конструкційну міцність пінополістиролу, запропоновано в якості вогнетривкового наповнювача стрижневих сумішей застосовувати спучений перліт, який має низьку щільність. Але, спучений перліт має низьку теплопровідність, що зменшує швидкість твердіння зв'язувального компонента при виготовленні стрижнів у гарячому оснащенні.

Прискорити процес твердіння можливо добавкою у суміш матеріалів, які мають високу теплопровідність. Таким матеріалом може бути сріблястий графіт, який має високу теплопровідність (355 Вт/(м×К), відносно невисоку об'ємну масу (1500...1650 кг/м<sup>3</sup>), високу вогнетривкість (температура плавлення 3890 °С) та гідрофобність.

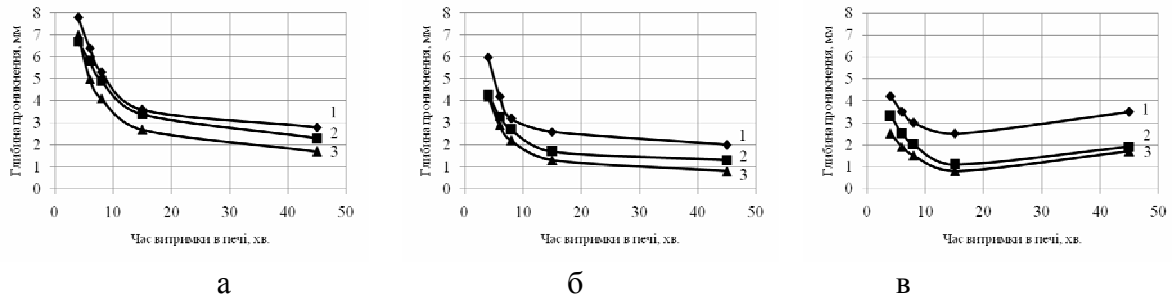
Дослідження впливу графіту на характеристики твердіння проводили на зразках «вісімках» висотою 25 мм. Зразки виготовляли із стрижневої суміші на основі спученого перліту марки ПВМ ГОСТ 10832-2009 з розміром фракції 0,16...1,25 мм. В якості зв'язувального компонента використовували 30% розчин пінополістиролу у живичному скипидарі, який додавали в кількості 20% об. Дослідження проводили з сумішами, які містили сріблястого графіту в кількості 5% об. і 10% об.

Для отримання зразків використовували гаряче стрижневе оснащення. Готова суміш засипалась у оснащення та ущільнювалась трьома ударами копра моделі 030М. Зразки спікали у лабораторній печі при температурі 200, 250, 300 °С протягом 4...45 хв. Швидкість твердіння визначалась за глибиною проникнення в зразок голки Віка відразу після термічного оброблення.

Міцність зразків визначалась за стандартно методикою на розривній машині моделі РП-100.

Результати дослідження впливу графіту на характеристики тверднення суміші наведені на рис. 1.

З аналізу кінетичних кривих тверднення стрижневої суміші на основі спученого перліту і полістіролового зв'язувального компонента можна прийти до висновку, що процес тверднення ділиться на два етапи.



1 – суміш без графіту; 2 – суміш з вмістом графіту 5% об; 3 – суміш з вмістом графіту 10% об

Рисунок 1 – Залежність проникнення голки Віка в зразок від часу витримки при спіканні при температурі: а – 200 °С; б – 250 °С; в – 300 °С

Перший етап, який можна назвати початковим, характеризується відносно високою швидкістю твердіння. При температурі спікання 200 °С тривалість початкового етапу досягає 10...15 хв. З підвищенням температури до 250 та 300 °С тривалість початкового етапу практично не змінюється.

При подальшому підвищенні часу витримки при спіканні швидкість твердіння суміші зменшується (другий етап тверднення). Глибина проникнення голки Віка в зразок в цей період зменшується незначно, як це видно при температурі 200 °С, або практично не змінюється при температурі 250 °С.

При температурі спікання 300 °С, після закінчення першого етапу спостерігається підвищення глибини проникнення голки Віка для всіх досліджуваних сумішей, що, мабуть, пов'язано з процесами знеміцнення зв'язувального компонента під дією високої температури.

Наявність в суміші сріблястого графіту, як і слід було очікувати, прискорює процес тверднення зв'язувального компонента. Зі збільшенням кількості графіту зменшується глибина проникнення голки Віка в зразок на всіх етапах спікання і тим більшою мірою, чим більше графіту в суміші і більше температура спікання. Так, якщо при витримці зразків протягом 15 хвилин при температурі спікання 200 °С глибина проникнення голки Віка для суміші без графіту становила 3,6 мм., то добавка 10% об. графіту знижує глибину проникнення до 2,5 мм. При температурі спікання 250 °С при відповідних умовах глибина проникнення зменшується з 2,6 мм. до 0,8 мм.

Дослідження показали, що процес твердіння суміші на основі спученого перліту не закінчується в печі, а триває при подальшій витримці на повітрі. Встановлено, що процес твердіння суміші з графітом стабілізується вже при 15 хв витримки на повітрі, в той час, як суміш без графіту починає стабілізуватись при 30 хв витримки на повітрі.

Таким чином встановлено, що добавка сріблястого графіту підвищує швидкість твердіння стрижневої суміші за рахунок підвищення її теплопровідності.

При визначенні впливу температури спікання на міцність суміші зразки витримувались в печі при температурах 200 °С та 250 °С протягом 15...60 хв. з подальшою витримкою на повітрі для стабілізації процесу тверднення не менше 15 хв для суміші з графітом і не менше 30 хв для суміші без графіту.

Результати досліджень приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Вплив температури спікання та часу витримки на міцність суміші

Температура печі °С	Час витримки в печі, хв.	Тимчасовий опір при розриванні, МПа		
		суміш без вмісту графіту	суміш з вмістом графіту 5% об.	суміш з вмістом графіту 10%.об
200	15	0,06	0,03	0,05
	30	0,12	0,08	0,10
	45	0,19	0,21	0,26
	60	0,20	0,15	0,20
250	15	0,18	0,15	0,18
	30	0,22	0,24	0,32
	45	0,26	0,17	0,22
	60	0,25	0,13	0,15

Як видно з таблиці, при температурі спікання 200 °С підвищення часу витримки зразків у печі з 15 до 45 хв. сприяє підвищенню міцності. Для сумішей без графіту міцність збільшується з 0,06 МПа до 0,19 МПа, а подальше підвищення часу витримки практично не впливає зміну міцності.

Для сумішей з графітом зміна міцності при розриванні в залежності від часу витримки носить екстремальний характер. При вмісті в суміші 5% об. графіту міцність досягає максимуму ( $\sigma_p = 0,21$  МПа) при спіканні протягом 45 хв, а з подальшим збільшенням часу міцнісні характеристики знижуються внаслідок термодеструкції зв'язувального компонента. При вмісті в суміші 10% об. графіту також зі збільшенням часу витримки спікання міцність збільшується, досягає максимуму ( $\sigma_p = 0,26$  МПа) при 45-хвилинній витримці.

При температурі спікання 250 °С характеристики зміни міцності сумішей з графітом носять аналогічний характер, з тією лише різницею, що максимальні значення міцності (0,24 МПа при кількості графіту 5% об. і 0,32 МПа при кількості графіту 10% об.) досягається при спіканні протягом 30 хв.

Таким чином встановлено, що стрижнева суміш на основі спученого перліту та полістиролового зв'язувального компонента з вмістом графіту має кращі показники тверднення, ніж суміш без графіту внаслідок збільшення теплопровідності. Проте такі суміші більш чутливі до температури та часу спікання. Оптимальний час спікання стрижнів при температурі 200 °С становить 45 хв, а при температурі 250 °С – 30 хв.

Встановлено, що збільшення кількості сріблястого графіту до 10% об. призводить до збільшення міцності стрижнів.

#### Література:

1. Сыропоршнев Л.Н. Исследование влияния нагретого пара на физико-механические свойства стержневых смесей, используемых для получения комбинированных пенополистироловых моделей / Л.Н. Сыропоршнев, И.О. Шинский, С.О. Кротюк // Процессы литья. – 2001. – №3. – С. 92-96.

**Склярский И.А.**

*(ДНУ им. Олеса Гончара, г. Днепр)*

**ЗД ПРИНТЕРЫ-НОВЫЙ ШАГ В КОСМИЧЕСКОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

E-mail: igor.sk1933@gmail.com

В течение нескольких десятков лет в мире стремительно развивается сфера технологий. Многие ученые и инженеры активно ведут поиски технологий, которые повысили бы эффективность их использования в той или иной промышленности.