УДК 620.22:661.666

Скачков В.А., Иванов В.И., Нестеренко Т.Н., Мосейко Ю.В.

**АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ УПЛОТНЕНИЯ ПОРИСТЫХ УГЛЕРОДНЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Запорожская государственная инженерная академия,

Запорожье, Соборный 226, 69006

Skachkov V.A., Ivanov V.I., Nesterenko T.N., Mosejko Yu.V.

**ANALYS OF COMPRESSION PROCESSES FOR POROUS CARBON
COMPOSITE MATERIALS BY PYROCARBON**

Zaporozhe State Engineering Academy,

Zaporozhe, Soborny 226, 69006

Аннотация. Выполнен анализ методов уплотнения пористых углеродных композиционных материалов пироуглеродом из газовой фазы. Показаны их преимущества и недостатки в условиях стационарности и пульсаций давления реакционного газа.

Ключевые слова: углеродные композиционные материалы, методы уплотнения, пироуглерод

Abstract. There is carried out analysis of compression methods for porous carbon composite materials by pyrocarbon from gas phase. There are showed its advantages and defects in condition of stationarity and pulsation of pressure for reaction gas.

Key words: carbon composite materials, compression methods, pyrocarbon

Вступление.

Получение углеродных композиционных материалов предполагает заполнение пористой структуры карбонизованных углепластиков пироуглеродом, осаждаемым из газовой фазы при пиролизе природного газа.

Основная часть исследований

При прохождении в проточном термохимическом реакторе гомогенных реакций образуется комплекс предельных и непредельных углеводородов, а также ряд радикалов [1,2]. Продукты гомогенных реакций и природный газ диффундируют в пористую структуру карбонизованного углерода и, разлагаясь на нагретых стенках пор, образуют пироуглерод.

Для изотермического процесса изменение скорости осаждения пироуглерода по длине поры представлено на рис. 1.

1 - $W_1 = 0$; 2 - W_2 ; 3 - W_3 ; 4 - W_4 . ($W_1 < W_2 < W_3 < W_4$)

Рис. 1. Изменение скорости осаждения пироуглерода по длине поры при изотермическом процессе

Кривые соответствуют уравнению (1) с учетом соотношения (2).

$$V_i = k_i \cdot C_i ; \quad (1)$$

$$C_i = C_i^0 \cdot \exp \left[- \left(\frac{2k_i}{r \cdot D_i} \right)^{0.5} \cdot l \right] , \quad (2)$$

где V_i , k_i - скорость осаждения и константа скорости образования пироуглерода из i -го углеводорода соответственно; C_i , C_i^0 - концентрация i -го углеводорода в реакторе и в устье поры соответственно; D_i - коэффициент диффузии i -го углеводорода; r , l - радиус поры и координата по ее длине соответственно.

Установлено, что количество осажденного пироуглерода уменьшается по длине поры и на достаточном удалении от ее устья процесс ее заполнения отсутствует. Повышение скорости подачи реакционного газа W в пору не обеспечивает качественного изменения процесса осаждения пироуглерода.

В условиях термоградиента наложение на процесс диффузии

принудительной подачи реакционного газа со скоростью W увеличивает скорость осаждения пироуглерода (рис. 2).

1 - $W_1 = 0$; 2 - W_2 ; 3 - W_3 ; 4 - W_4 . ($W_1 < W_2 < W_3 < W_4$)

Рис. 2. Изменение скорости осаждения пироуглерода по длине поры в условиях термоградиента

Изотермический процесс уплотнения углепластика в условиях пульсирующего давления реакционного газа представлен решением (3).

$$C_i = C_i^0 \cdot \exp \left[- \left(\frac{r \cdot \omega^2}{D_i} + \frac{2k_i}{r \cdot D_i} \right)^{0.5} \cdot \cos \varphi \cdot l \right] \cdot \cos \left(\frac{l}{(r \cdot D_i)^{0.5}} \cdot \sin \varphi \right) \cdot \cos \omega t, \quad (3)$$

где $\varphi = 0,5 \arctg \left(\frac{r \cdot \omega}{2k_i} \right)$; $\omega = 2\pi / \Omega$ - круговая частота.

Концентрация реакционного газа в каждой точке по длине поры изменяется в пределах от максимального заполнения (рис.3, кривая 1-1) до минимального (рис.3, кривая 1-3). По мере удаления от устья поры процесс уплотнения приближается к простому изотермическому процессу.

1-1 - $\omega = 8\pi/T$; 1-2 - $\omega = 0$; 1-3 - $\omega = -8\pi/T$; 2-1 - l_1 ; 2-2 - l_2 ; 2-3 - l_3

Рис. 3. Изменение при изотермическом процессе концентрации реакционного газа по длине поры в условиях пульсирующего давления

Пульсации давления реакционного газа не вносят принципиальных изменений в процесс осаждения пироуглерода, увеличение скорости осаждения пироуглерода по длине поры не наблюдается, процесс заполнения пор заканчивается после момента зарастания ее устья.

Термоградиентный процесс в условиях пульсирующего давления без принудительной подачи реагирующего газа в пористую структуру представлен решением (4) и с принудительной подачей газа - решением (5).

$$\tilde{N}_i = \tilde{N}_i^0 \cdot \sin \operatorname{arctg} \exp(f_2) \cdot \exp \left\{ \sin^2 \operatorname{arctg} f_2 \cdot (\gamma - 0,25\theta^2 - 1) \cdot l - z \cdot \exp[2(\alpha - \theta)] \cdot l \cdot \right. \\ \left. \cdot [\exp(k_i \cdot \exp(\alpha \cdot l)) - \exp k_i] - l \right\} \cdot \cos(\omega \cdot \tau) ; \quad (4)$$

$$C_i = C_i^0 \cdot \exp(k_i) \cdot \exp \left[\frac{1}{W} \cdot \left(\frac{4k_0^2}{r^2 \cdot \beta^2} \cdot \exp 2(\beta \cdot l + k_i) + \omega^2 \cdot l^2 \right)^{0,5} \right] \cdot \cos \operatorname{arctg} \left(\frac{\omega \cdot r \cdot \beta \cdot l}{2k_0} \cdot \exp(-k - \beta \cdot l) \right) \cdot \cos(\omega \cdot \tau) , \quad (5)$$

где $f_2(l) = (1 + 0,25\theta^2 + \gamma) \cdot l - z \cdot \exp(\alpha - \theta) \cdot l \cdot [\exp(k_i \cdot \exp(\alpha \cdot l))] - \exp k_i$; $\gamma = \omega \cdot j$;

$$j = (-1)^{0,5} ; \quad \beta = \frac{k_i}{\delta} \cdot [\exp(\alpha \cdot \delta - 1)] .$$

Изменение скорости осаждения пироуглерода по длине поры для данного случая приведено на рис. 4.

1-1, 1-2, 1-3; 2-1 - W_1 ; 1-4, 1-5, 1-6; 2-2 - W_2 ; $W_1 < W_2$

Рис. 4. Изменение скорости осаждения пироуглерода при термоградиентном процессе в условиях пульсирующего давления

С удалением от устья поры влияние пульсаций давления газа снижается, однако увеличение скорости W вынужденной подачи реакционного газа в пористую структуру углепластика обуславливает значительное ускорение

процесса заполнения пор пироуглеродом.

Выводы.

Анализ процессов заполнения пористой структуры углепластика пироуглеродом из газовой фазы позволяют установить:

- использование пульсирующего давления реакционных газов не приводит к снижению длительности процесса уплотнения и увеличению объема осажденного пироуглерода в пористой структуре;

- принудительная подача реакционного газа в пористую структуру в условиях изотермического процесса увеличивает количество осажденного пироуглерода в объеме углепластика, однако эффективность процесса ограничивается моментом зарастания устья пор;

- принудительная подача реакционного газа в условиях термоградиентного процесса увеличивает скорость осаждения пироуглерода по длине поры и обуславливает снижение времени процесса уплотнения.

Литература:

1. Макаров К.И., Печик В.К. Исследование кинетики термохимического превращения метана. Гетерогенные реакции // Кинетика и катализ. – 1975. – Т. XVI. – Вып. 6. – С. 1484-1490.

2. Макаров К.И., Печик В.К. Исследование кинетики термохимического превращения метана. Гомогенно-гетерогенная реакция // Кинетика и катализ. – 1975. – Т. XVI. – Вып. 6. – С. 1491-1500.

Статья отправлена: 07.10.2016 г.

© Скачков В.А., Иванов В.И., Нестеренко Т.Н., Мосейко Ю.В.