



ЦИТ: ua217-050

DOI: 10.21893/2415-7538.2017-06-1-050

УДК 622.646.023.622.795:536.24

Скачков В.А., Иванов В.И., Нестеренко Т.Н., Мосейко Ю.В.  
**КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАЗЛОЖЕНИЯ ДИБОРАНА НА  
ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН ПРИ ПОЛУЧЕНИИ  
БОРОУГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТОВ**

*Запорожская государственная инженерная академия,  
Запорожье, Соборный, 226, 69006*

Skachkov V.A., Ivanov V.I., Nesterenko T.N., Mosejko Yu.V.  
**KINETIC PARAMETERS OF DIBORANE DEPOSITION ON CARBON  
SURFACE FIBERS AT MAKING BORON-CARBON COMPOSITES**

*Zaporozhe State Engineering Academy,  
Zaporozhe, Soborny, 226, 69006*

*Аннотация. Разработана методика определения кинетических параметров разложения диборана в термохимическом реакторе проточного типа в условиях осаждения твердого осадка (кристаллического бора) на поверхности углеродных волокон при получении бороуглеродных композитов.*

*Ключевые слова: термохимический реактор проточного типа, диборан, разложение, осаждение кристаллического бора.*

*Abstract. Method of deposition of kinetic parameters of diborane decomposition in thermochemical reactor of flowing type at conditions of deposition of hard deposit (crystalline boron) at making of boron-carbon composites.*

*Key words: thermochemical reactor of flowing type, diborane, decomposition, deposition of crystalline boron.*

### **Вступление.**

Известно, что к числу высокопрочных композиционных материалов с низким удельным весом относятся бороуглеродные композиты на основе углеродных волокон и борной матрицы. Наиболее перспективным является получение борной матрицы разложением диборана, которое реализуется в температурном интервале 450...700 °С и не сопровождается появлением дополнительных химически активных продуктов.

### **Основная часть исследований**

Для реализации процесса получения бороуглеродных композитов необходимо знать точные значения технологических параметров: температуры, концентрации диборана и скорости его подачи в реактор.

Реактор для осаждения бора выполняли в виде кварцевого цилиндра радиусом  $R_1$ , внутри которого коаксиально помещали кварцевый цилиндр радиусом  $R_2$ . На боковой поверхности цилиндра меньшего диаметра равномерно уложены углеродные волокна, которые подвергают нагреву нихромовым нагревателем, расположенным внутри данного цилиндра. На вход реактора подают гидрид бора, на выходе реактора получают непрореагированный диборан и продукты его полного и неполного разложения.

В реакторах данного типа реализуется конвективно-диффузионный перенос



массы реагирующего газа. Уравнение переноса вещества в условиях химического превращения в текущей среде представляют в виде [1]:

$$\frac{\partial C_i}{\partial \tau} + \operatorname{div}(\bar{U} \cdot C_i - D_{iN} \cdot \nabla C_i) = k_i \cdot \prod_{i=1}^N C_i^{n_i}, \quad (1)$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -того компонента в объеме реакционной среды;  $\bar{U}$  – скорость потока газовой среды;  $D_{iN}$  – коэффициент диффузии  $i$ -того компонента в газовой среде с  $N$  компонентами,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $k_i$  – константа скорости химической реакции  $i$ -того компонента;  $n_i$  – порядок реакции по  $i$ -му компоненту;  $\tau$  – время процесса.

Полагая, что объемные реакции отсутствуют, уравнение (1) можно записать как

$$\frac{\partial C_i}{\partial \tau} + \operatorname{div}(\bar{U} \cdot C_i - D_{iN} \cdot \nabla C_i) = 0. \quad (2)$$

Очевидно, что концентрация газового реагента у поверхности будет изменяться до тех пор, пока скорость диффузии из объема реактора и скорость на реакционную поверхность будут отличаться друг от друга. С течением времени у реакционной поверхности установится стационарная концентрация реакционного газа, а скорость диффузии будет равна скорости стока. Если принять закон изменения концентрации от ядра реактора к реакционной поверхности линейным, то градиент концентрации будет определяться уравнением [1]:

$$\frac{dC}{d\Pi} = \frac{C_i - C_0}{\delta}, \quad (3)$$

где  $\delta$  – толщина диффузионного слоя.

Тогда соотношение между концентрацией газа в потоке и на удельной реакционной поверхности реактора:

$$D_{iN} \cdot \frac{(C_i - C_0)}{\delta} = S_{y\partial} \cdot k_i^2 \cdot C_0^i. \quad (4)$$

Откуда

$$C_0^i = \frac{\beta_i \cdot C_i}{S_{y\partial} \cdot k_i^2 + \beta_i}, \quad (5)$$

где  $\beta_i$  – константа скорости диффузии,  $\beta_i = D_{iN} / \delta$ .

С целью упрощения уравнения (2) рассматривают круговой цилиндрический реактор, для которого все функции, описывающие структуру газовых потоков, не зависят от окружной координаты, а также его стационарный, установившийся и изотермический режим работы. При этом скорость газового потока направлена вдоль оси реактора, а скорость диффузии газов вдоль оси пренебрежимо мала.

Удельную реакционную поверхность в реакторе определяют при помощи соотношения

$$S_{y\partial} = \left( 2\pi \cdot R + \frac{2m}{r \cdot \rho \cdot L} \right), \quad (6)$$

где  $m$  – масса углеродного волокна, уложенного по длине каркаса;  $r$ ,  $\rho$  –



радиус и плотность углеродного волокна соответственно;  $L$  – длина укладки волокна на каркасе;  $R$  – радиус трубчатого каркаса.

С учетом принятых допущений уравнение (2) можно записать:

$$\frac{d(U \cdot C_i)}{dz} + k_i^z \cdot \frac{\beta_i \cdot C_i}{S_{y\delta} \cdot k_i^z + \beta_i} = 0, \quad (7)$$

где  $U$  – скорость потока по оси реактора;  $z$  – координатная ось, направленная по оси реактора.

На реакционной поверхности реализуется процесс разложения диборана и осаждения поликристаллического бора согласно реакции:



Процесс разложения диборана происходит в интервале температур 500...700 °С с появлением другого газообразного продукта – водорода.

Вводя степень разложения диборана, с учетом (8), можно записать

$$\begin{aligned} C^{H_2} &= 3\alpha \cdot C_{\text{ex}}^{B_2H_6}; \\ C^{B_2H_6} &= C_{\text{ex}}^{B_2H_6} \cdot (1 - 4\alpha); \\ U &= U_{\text{ex}} \cdot (1 + 2\alpha), \end{aligned} \quad (9)$$

где  $C_{\text{вв}}^{B_2H_6}$  – концентрация диборана на входе в реактор;  $U_{\text{вв}}$  – скорость газового потока на входе в реактор;  $\alpha$  – степень разложения диборана.

Учитывая соотношения (9) уравнение (7) можно переписать в виде

$$\left( \frac{2 + 16\alpha}{1 - 4\alpha} \right) \cdot \frac{d\alpha}{dz} + \frac{\Omega}{\theta + \beta} = 0; \quad (10)$$

где  $\Omega = \frac{k_{B_2H_6}^z \cdot \beta}{U_{\text{ex}}}$ ;  $\theta = S_{y\delta} \cdot k_{B_2H_6}^z$ .

Для уравнения (10) граничное условие задается в виде

$$\alpha|_{z=0} = 0. \quad (11)$$

Тогда решение уравнения (10) имеет вид:

$$4\alpha - 1,5 \ln(1 - 4\alpha) = \frac{\Omega \cdot z}{\theta + \beta}. \quad (12)$$

Раскладывая логарифм в соотношении (12) в ряд Макларена и пренебрегая членами второго порядка малости, получают

$$\alpha = \frac{\Omega \cdot z}{10(\theta + \beta)}. \quad (13)$$

Из третьего уравнения соотношения (9) следует

$$\alpha|_{z=L} = 0,5 \left( \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{ex}}} - 1 \right). \quad (14)$$

Из равенства соотношений (13) и (14) после несложных преобразований можно записать

$$k_{B_2H_6}^z = \frac{5D_u \cdot \beta}{(\beta \cdot \alpha - 5D_u \cdot S_{y\delta})}, \quad (15)$$

где  $D_u = U_{\text{вых}} - U_{\text{ex}}$ .

Уравнение (15) задает значение константы скорости разложения диборана на поверхности углеродных волокон, закрепленных на трубчатом каркасе.



## Заключение

На основе решения задачи переноса газовой среды в круговом термохимическом реакторе проточного типа с разложением диборана на нагретой поверхности углеродных волокон предложена методика определения кинетических параметров его разложения.

Литература:

1. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – М. : Наука, 1967. – 491 с.

Статья отправлена: 06.06.2017 г.

© Скачов В.А., Иванов В.В., Нестеренко Т.Н., Моснйко Ю.В.

ЦИТ: ua217-074

DOI: 10.21893/2415-7538.2017-06-1-074

УДК 621.83

Карабань В.Г., Жук Д.Н., Колесов М.А.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕХАНИЗМА СВОБОДНОГО ХОДА

*Волгоградский государственный технический университет,  
Волгоград, пр. Ленина, 28, 400005*

Karaban V.G., Dguk D.N., Kolesov M.A.

## THE RESEARCH OF SURFACE OF WEDGE BODIES OF FREEWHEELING MECHANISMS

*Volgograd State Technical University,  
Volgograd, Lenin avenue, 28, 400005*

*Аннотация. В работе исследуется рельеф поверхностей клинового тела механизма свободного хода. Выделяется относительная опорная поверхность. Полученные с помощью сканирующего зондового микроскопа результаты позволяют корректировать прогнозируемые параметры износа клинового тела и учитывать влияние высотных показателей качества поверхностей при проектировании механизмов.*

*Ключевые слова: качество поверхности, клиновой механизм свободного хода, клин, микронеровности, рельеф поверхности, относительная опорная поверхность.*

*Abstract. In this paper we research the relief of surfaces of wedge bodies of freewheeling mechanisms. Mark out relative area of bearing. The results obtained by scanning probe microscope let us correct predicted deterioration parameters of a wedge body and consider the effect of surfaces' altitude quality indicators while designing mechanisms.*

*Key words: a wedge freewheeling mechanism, wedge, roughness, relief of surface, relative area of bearing.*

Бесступенчатые механические передачи находят широкое применение в автоматических и ручных трансмиссиях, приводах машин. Их бурное развитие, в значительной степени, связано с появлением новых конструкционных материалов, смазочных материалов, технологий и новых возможностей при