

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Шосткинський інститут Сумського державного університету
Управління освіти Шосткинської міської ради
Виконавчий комітет Шосткинської міської ради

ОСВІТА, НАУКА ТА ВИРОБНИЦТВО: РОЗВИТОК І ПЕРСПЕКТИВИ

МАТЕРІАЛИ

І Всеукраїнської науково-методичної конференції,

присвяченої

*15-й річниці заснування Шосткинського інституту
Сумського державного університету*

(Шостка, 21 квітня 2016 року)



**Суми
Сумський державний університет**

УДК 661.666.4

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛОТНОСТИ
УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТОВ ПРИ ГАЗИФИКАЦИИ**
В.А. Скачков, В.И. Иванов, Т.Н. Нестеренко, Ю.В. Мосейко

Запорожская государственная инженерная академия

69006, г. Запорожье, пр. Соборный, 226

colourmet@zgia.zp.ua

При пиролизическом уплотнении углеродных композитов большое значение имеет пористая структура. Наличие транспортных пор и их геометрическая форма обеспечивают качественное пиролизическое уплотнение, как в условиях изотермического метода, так и метода радиально перемещающейся зоны пиролиза [1,2]

Высокая эффективность изотермического метода пиролизического уплотнения предполагает наличие профилированной пористости, которую обеспечивают расчетные параметры процесса газификации углеродных композитов [3].

Если толщина углеродного композита значительно больше толщины слоя, в котором локализуется реакция газификации, то процесс формирования его плотности описывается системой дифференциальных уравнений:

$$v \, d\rho/dx = \beta \, k \, S \, C ; \quad (1)$$

$$v \, dC = d(D \, dC/dx)dx - k \, S \, C , \quad (2)$$

где v – линейная скорость движения фронта газификации, м/с, ρ – плотность углеродного композита, кг/м³; x – координата, направленная от поверхности в глубину углеродного композита, β – стехиометрический фактор реакции газификации; k – константа скорости газификации, 1/(м²·с); S – удельная реакционная поверхность, м²/м³; C – концентрация газового реагента, кг/м³; D – коэффициент диффузии, м²/с.

В уравнениях (1) и (2) линейная скорость движения фронта газификации определяется соотношением

$$v = K_S / \rho_0 , \quad (3)$$

где K_S – удельная поверхностная скорость реагирования, (кг·с)/м²; ρ_0 – начальное значение плотности углеродного композита, кг/м³.

Величины коэффициента диффузии D и удельной реакционной поверхности S определяются пористостью углеродного композита, а, следовательно, являются функциями его плотности.

Для решения системы уравнений (1)-(2) задаются краевые условия:

$$C(x = 0) = C_S ; \quad (4)$$

$$C(x = \infty) = 0 ; \quad (5)$$

$$\rho(x = 0) = \rho_S ; \quad (6)$$

$$\rho(x = \infty) = \rho_0 ; \quad (7)$$

где C_S – удельная поверхностная концентрация газового реагента, кг/м³; ρ_S – удельная поверхностная плотность углеродного композита, кг/м³.

Учитывая значительную разницу между величинами параметров C и ρ , из системы уравнений (1)-(2), получают

$$\beta \, D \, dC/dx = v(\rho - \rho_0) . \quad (8)$$

Используя выражение (8) и уравнение (1), можно записать соотношение, которое определяет изменение плотности углеродного композита:

$$v^2 (\rho - \rho_0) \, d\rho/dC = \beta^2 \, k \, S \, D \, C \quad (9)$$

Для интегрирования уравнения(9) необходимо иметь зависимости удельной реакционной поверхности S и коэффициента диффузии D от плотности углеродного композита ρ .

С этой целью воспользуемся известными соотношениями:

I Всеукраїнська науково-методична конференція

«Освіта, наука та виробництво: розвиток і перспективи» 21 квітня 2016 року м. Шостка

$$S = A \theta (1 - \theta) ; \quad (10)$$

$$D = D_c \theta / \zeta , \quad (11)$$

где A – константа, м^2 ; θ – пористость углеродного композита; D_c – коэффициент диффузии в свободном пространстве, $\text{м}^2/\text{с}$; ζ – коэффициент извилистости пор, его значение можно принять как $\zeta = 1 / \theta$.

Для исключения константы A из уравнения (10) можно использовать соотношение:

$$S / S_0 = \theta (1 - \theta) / \theta_0 (1 - \theta_0) , \quad (12)$$

где S_0 , θ_0 – начальная удельная реакционная поверхность углеродного композита, м^2 , и его пористость, соответственно.

Учитывая зависимость плотности углеродного композита ρ от его пористости θ , можно записать

$$\theta = 1 - \rho / \rho_{\text{ист}} , \quad (13)$$

где $\rho_{\text{ист}}$ – истинная плотность углеродного композита, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Следовательно, соотношения (5) и (6) с учетом выражений (7) и (8) будут иметь вид

$$S = S_0 \rho (1 - \rho / \rho_{\text{ист}}) / \rho_0 (1 - \rho / \rho_{\text{ист}}) ; \quad (14)$$

$$D = D_c (1 - \rho / \rho_{\text{ист}})^2 . \quad (15)$$

Выполняя подстановку соотношений (9) и (10) в выражение (4), получают разрешающее уравнение

$$K_s^2 (\omega - \omega_0) d\omega/dC = [\beta^2 k S_0 D_c (1 - \omega)^3 \omega C \omega_0] / (1 - \omega_0) , \quad (11)$$

где $\omega = \rho / \rho_{\text{ист}}$; $\omega_0 = \rho_0 / \rho_{\text{ист}}$

Уравнение (11) определяет зависимость плотности углепластика от концентрации газового реагента. Определяющим параметром данного уравнения является константа скорости газификации k , величину которой находят экспериментальным путем.

После подстановки выражений (13) и (16) в уравнение (1) и несложных преобразований получили соотношение, которое описывает распределение плотности по толщине углеродного композита:

$$\begin{aligned} dt/dx = 2K_s (t - 1) t / \beta D_c t \{ t_0 / 2t^2 (1 - t_0) + 1 - 2t / 2t (1 - t_0) - 1/t - \\ - \ln [1 - t) t_0 / t (1 - t_0)] \}^{0.5} \end{aligned} \quad (12)$$

где $t = 1 - \omega$; $t_0 = 1 - \omega_0$

Литература

1. Гурин В. А. Исследование газофазного уплотнения пироуглеродом пористых сред методом радиально движущейся зоны пиролиза [Текст] / В. А. Гурин, И. В. Гурин, С. Г. Фурсов // Вопросы атомной науки и техники. - Харьков: ННЦ «ХФТИ», 1999. Вип. 4 (76). - С.32-45.
2. Скачков В.О. Моделювання й аналіз методів газофазного ущільнення поруватих вуглець-вуглецевих композитів [Текст] / В. О. Скачков, В. І. Іварнов, В. Д. Карпенко // Математичне моделювання. - 2004. - № 2 (12). - С. 47-51.
3. Скачков В. А. Математические модели процессов температурной обработки и уплотнения в производстве углеродных композиционных материалов [Текст] / В. А. Скачков, В. Д. Карпенко, В. И. Иванов, Е. В. Скачков // Вопросы атомной науки и техники. - Харьков: ННЦ «ХФТИ», 1999. Вип. 4 (76). - С.32-45.