

Петрографические исследования показали, что форма осколков неправильная, остроугольная (типичная для антрацитов) как бы оплавленная, состоящая на 80–85 из черного сажистого материала, чаще окаймленного иногда как бы примыкающего. В образце наблюдается очень тонко рассеянный минерал сходный с пиритом (около 1 от состава угля или 0,1 от общей массы пробы). Показатель отражения $R_{\text{оср}}$, измеренный по шероховатым поверхностям, поскольку углистый материал либо плохо шлифуется либо тонко-тонко дисперсный, составил 1,10. Однако, для отдельных зерен, имеющих плоскости отражения, он достигал 4,5. Для антрацита средний показатель отражения витринита находится в интервале 2,60–5,60 [4].

Следовательно, можно использовать твердые продукты пиролиза как хорошее высококалорийное топливо, сходное по своим показателям с антрацитом.

Литература

1. Белозеров Н.В. Технология резины. М.: Химия, 1979. 472 с.
2. Малышев А.И., Помогайло А.С. Анализ резин. М.: Химия, 1977. 232 с.
3. Буцин Ю.В., Ливинский М.П. Методы разведки угольных месторождений Донецкого бассейна.
4. ДСТУ .

© Булавин А В Пашкевич В Н

УДК 669.017

Буря А.И., Козлов Г.В., Чигвинцева О.П., (Государственный аграрный университет, г.Днепропетровск), **Чайка Л.В.** (ДонНТУ)

ФРАКТАЛЬНОЕ РАЗРУШЕНИЕ УГЛЕПЛАСТИКОВ ПРИ СЖАТИИ

Исследовано влияние времени смешения порошкообразного ароматического полиамида фенилон и углеродного волокна на прочность углепластиков при сжатии. Предлагается для описания вязкого разрушения использовать фрактальную модель

Как хорошо известно [1], упругие тела могут хрупко разрушаться при сжатии. При этом разрушение часто носит столбчатый характер и происходит разделение тела на вертикальные столбики, образованные трещинами, растущими в направлении одноосного сжатия [1]. Такой характер разрушения при сжатии наблюдается и для полимерных композитов, наполненных короткими волокнами [2]. Этот эффект не согласуется с теоретическими представлениями классической механики разрушения. С точки зрения традиционной теории коэффициент интенсивности напряжений у трещины (одномерного разреза), ориентированной вдоль направления сжатия, равен нулю. Поскольку этот коэффициент является основным параметром, характеризующим разрушение, то по классическим представлениям такая трещина распространяться не может, что находится в противоречии с экспериментальными результатами [3].

Для разрешения этого противоречия авторы [3] предложили фрактальную модель разрушения при сжатии, которая основана на хорошо известном факте фрактальной структуры поверхности трещин [4], в том числе и при разрушении

полимеров [5]. Цель настоящей работы – применение фрактальной модели [3] для описания разрушения углепластиков на основе фенолона в испытаниях на одноосное сжатие.

В качестве полимерного связующего использован ароматический полиамид фенолон [6], а в качестве наполнителя – углеродное волокно (УВ) диаметром 7–9 мкм и длиной 3 мм. Содержание УВ составляло 15 мас. %. Композит готовили сухим способом, включающим смешение компонентов во вращающемся электромагнитном поле. Для этого в реактор загружали порошкообразный полимер, УВ и неравноосные ферромагнитные частицы длиной 40 мм. Далее реактор помещали в расточку генератора электромагнитного аппарата. Под воздействием вращающегося электромагнитного поля ферромагнитные частицы начинают вращаться, сталкиваясь между собой, в результате чего УВ равномерно (хаотически) распределяются в полимерной матрице. В результате соударений частицы истираются и продукты износа попадают в композицию. Для удаления ферромагнитных частиц после смешения использовали два метода: магнитной и механической сепарации [7].

Образцы для исследования механических свойств готовили методом горячего прессования при температуре 603 К и давлении 55 МПа. Испытания на сжатие выполнены согласно ГОСТ 4651-82 на машине FP-100 при температуре 293 К.

Зависимость напряжения разрушения σ_p при сжатии от продолжительности смешения компонентов во вращающемся электромагнитном поле показана на рис. 1.

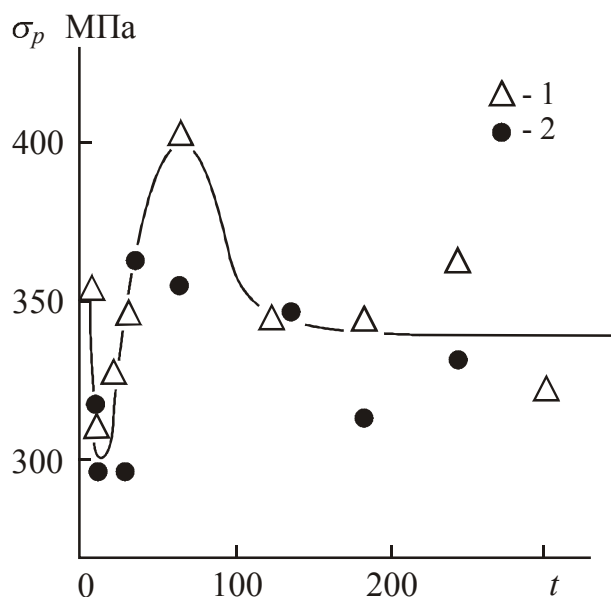


Рис. 1. Зависимость напряжения разрушения σ_p от продолжительности смешения компонентов во вращающемся электромагнитном поле для образцов углепластиков, полученных с использованием магнитной (1) и механической (2) сепараций

Характерно, что ее форма полностью аналогична форме зависимости фрактальной размерности структуры углепластиков от σ_p . Такая форма зависимости (рис. 1) характерна для синергетических структур: сначала наблюдается периодическое (упорядоченное) поведение, близкое к синусоидальному с удвоением периода, а затем реализуется переход к

хаотическому поведению. Указанная аналогия предполагает наличие корреляции между структурным фактором и свойством углепластиков ρ . Действительно, приведенный на рис.2 график подтверждает это предположение: зависимость $\rho(d_f)$ оказалась линейной и показывающей рост ρ по мере увеличения d_f , что аналитически описывается следующим соотношением:

$$\rho = 190 + 360(d_f - 2), \text{ МПа} \quad (1)$$

Величина ρ рассчитывалась из следующего уравнения [8]:

$$\rho = 2(1 + \nu) \quad (2)$$

где ν коэффициент Пуассона, определяемый по результатам механических испытаний с помощью уравнения [9]:

$$\frac{\nu}{E} = \frac{1 - 2}{6(1 + \nu)}, \quad (3)$$

где σ_T предел текучести, E модуль упругости.

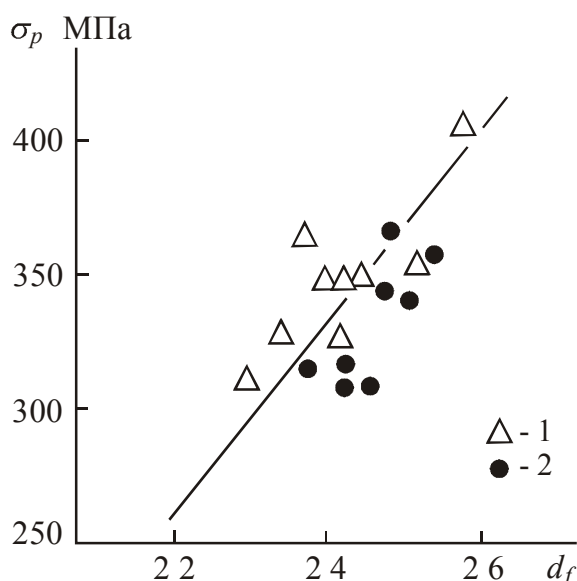


Рис. . Зависимость напряжения разрушения ρ от фрактальной размерности структуры для образцов углепластиков, полученных с использованием магнитной (1) и механической (2) сепараций

Приведенная на рис.2 корреляция $\rho(d_f)$ носит эмпирический характер и демонстрирует возможность изменения прочности углепластиков в достаточно широких пределах (293–406 МПа) при использовании описанного способа их приготовления посредством вариации продолжительности смешения компонентов во вращающемся электромагнитном поле.

Более точное описание разрушения углепластиков при сжатии дает фрактальная модель [3]. В работах [4, 10] на примере распространения трещины в условиях растяжения показано, что учет фрактальной структуры поверхности трещины приводит к изменению асимптотического поведения напряжения σ_p в окрестности ее вершины. Для фрактальных трещин справедливо соотношение [3]:

$$\sigma_p^T = K \cdot r^{\frac{d_p - 2}{2}}, \quad (4)$$

где r – расстояние от вершины трещины, K – размерный коэффициент пропорциональности в степенной асимптотике поля напряжений, который обычно называют коэффициентом интенсивности напряжений.

Если в качестве модели трещины принимается изотропный фрактал, то можно записать [3]:

$$K = \frac{d_p - 2}{2}, \quad (5)$$

$$K = (d_p - 1)^{1/2}, \quad (6)$$

где d_p – фрактальная размерность поверхности трещины (разрушения) ($2 < d_p < 3$).

Поскольку рассматриваемые углепластики разрушаются за пределом текучести, то для расчета величины d_p использована формула для вязкого типа разрушения [8]:

$$d_p = \frac{2(1 + \nu)}{1 + 2\nu} \quad (7)$$

Далее, приняв величину ν в соотношении (4) равной 10 относительным единицам, можно рассчитать величину σ_p^T . На рис.3 приведено сравнение теоретических σ_p^T и экспериментальных σ_p величин напряжения разрушения при сжатии для обеих серий исследуемых углепластиков.

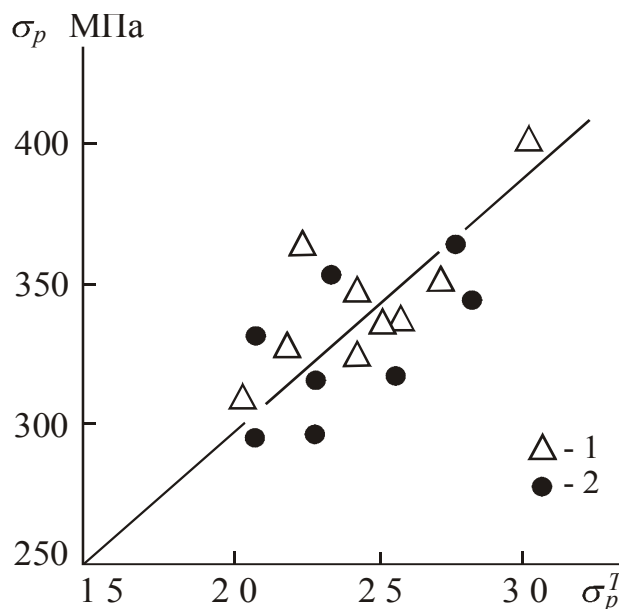


Рис. 3. Сравнение экспериментальных σ_p и рассчитанных согласно фрактальной модели σ_p^T величин напряжения разрушения для образцов углепластиков, полученных с использованием магнитной (1) и механической (2) сепараций

Как можно видеть, между σ_p^T и ρ получена достаточно хорошая линейная корреляция, подтверждающая корректность применения фрактальной модели [3] для описания разрушения углепластиков на основе фенилона. Аналитически это соотношение выражается так:

$$\rho = 100(\sigma_p^T + 1), \text{ МПа} \quad (8)$$

Отметим, что в рамках фрактальных моделей напряжение разрушения может быть непосредственно связано со структурными характеристиками полимерных материалов (например, d_f), а не с характеристиками их вторичных структур (поверхностей разрушения). С этой целью из уравнений (2) и (7) можно легко получить:

$$\rho = \frac{2(2d_f - 3)}{d_f - 1}, \quad (9)$$

а затем сочетание уравнений (5), (6) и (9) позволяет записать:

$$\frac{d_f - 2}{d_f - 1}, \quad (10)$$

$$K = \frac{3d_f - 5}{d_f - 1}^{1/2} \quad (11)$$

С принципиальной точки зрения уравнение (9) важно тем, что оно описывает прямую взаимосвязь структура – свойство в процессе разрушения. Рассмотрим несколько предельных случаев. Так, для каучуков ($d_f = 3$) в случае вязкого разрушения получим $\rho = 3$, т.е., поверхность разрушения будет очень шероховатой (пористой). Для предельно упорядоченного полимера ($d_f = 2$) $\rho = 2$, т.е., поверхность разрушения будет гладкой. Такую же взаимосвязь можно получить для хрупкого разрушения, для которого величина ρ определяется из уравнения [8]:

$$d_p = \frac{10(1 + \rho)}{7 - 3\rho} \quad (12)$$

В этом случае получим:

$$d_p = \frac{10d_f}{20 - 3d_f} \quad (13)$$

Тогда при $d_f = 2,5$ (способность разрушаться идеально хрупко имеют материалы с $\rho = 0,25$ [8]) получим $\rho = 2$, а при $d_f = 3$ (каучуки) $\rho = 2,73$.

Таким образом, предположение о фрактальном характере разрушения исследуемых углепластиков позволило устранить отмеченное выше несоответствие эксперимента и классической теории, в которой трещины моделируются гладкими ($\rho = 2$) математическими разрезами. При этом фрактальная модель дает хорошее соответствие с экспериментом. Отметим,

что в настоящей работе указанная модель с успехом использована для описания вязкого разрушения композитов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Оберт Л.** Хрупкое разрушение горных пород // В кн. Разрушение. Под ред. Г. Либовиц. М.: Мир, 1976. С. 59–128.
2. **Буря А.И., Чигвинцева О.П., Сучилина Соколенко С.П.** Полиарилаты. Синтез, свойства, композиционные материалы. Дн-ск: Наука і освіта, 2001. 152 с.
3. **Мосолов А.Б., Бородич Ф.М.** Фрактальное разрушение хрупких тел при сжатии // Доклады АН СССР, 1992. № 3. С. 546–549.
4. **Мосолов А.Б.** Фрактальная гриффитсова трещина // Журнал технической физики, 1991. Т. 61. № 7. С. 57–60.
5. **Kozlov G.V., Zaikov G.E.** // Polymer Yearbook 18, 2003. P. 379–385.
6. **Фенилон — термостойкий ароматический полиамид** / Л.Б. Соколов, Г.А. Кузнецов, В.Д. Герасимов // Пластические массы, 1967. № 9. С. 21–23.
7. **Фомичев А.И., Буря А.И., Губенков М.Г.** Получение термостойких полимерных материалов в магнитном поле // Электронная обработка материалов, 1978. № 4. С. 26–27.
8. **Баланкин А.С.** Синергетика деформируемого тела. М.: Изд-во Министерства Обороны СССР, 1991. 404 с.
9. **Козлов Г.В., Сандитов Д.С.** Ангармонические эффекты и физико-механические свойства полимеров. Новосибирск: Наука, 1994. 261 с.
10. **Гольдштейн Р.В., Мосолов А.Б.** Трещины с фрактальной поверхностью // Доклады АН СССР, 1991. Т. 319. № 4. С. 840–844.

© Буря А И Козлов Г В Чигвинцева О П Чайка Л В

УДК 662.74:552

Калинин О.Н.(ДонНТУ), **Рекун В.В.**(ИнФОРУ НАНУ), **Краснянский М.Е.**(ДонНТУ)

ПЕРСПЕКТИВЫ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТБО И ОТХОДОВ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

В работе представлены результаты эксперимента по получению карбонизата и активата из смесей твёрдых бытовых отходов ТБО и некоторых крупнотоннажных отходов коксохимических производств. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности такого рода совместной переработки.

Современной тенденцией развития химии активированных материалов является изыскание новых дешёвых и легко доступных природных материалов, а также усовершенствование методов и условий получения высокоэффективных сорбентов.

Одним из перспективных направлений получения активированных материалов является привлечение для их производства углеродсодержащих отходов, и в первую очередь нефтеотходов, образующихся после перевозки и выгрузки, нефти, промывки нефтеналивных ёмкостей твёрдых бытовых отходов, а также вредных отходов коксохимического производства, таких как кислая смолка сульфатного отделения и цеха ректификации сырого бензола, кубовые остатки, полимеры бензольного отделения, масло фенольных отстойников и т.д. Указанные отходы в Украине имеются в больших