

прочности и модуля упругости. Адгезионные характеристики полимеров, величины плотности и модуля упругости полимеров позволяют выбрать мономер для получения клеевых композиций с заданными свойствами [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Robertson R., Banitt E. Пат. 1811266 ФРГ // Chem. Abstrs. 1969. V. 72. 54812w.
2. Chang R., Banitt E. Пат. 1928104 ФРГ // Chem. Abstrs. 1970. V. 72. 67667c.
3. Canal J. // Appl. Polymer Sci. 1960. V. 4. № 11. P. 231.
4. Полякова А. М., Магер Н. А., Сусакина Т. И., Сучкова М. Д., Сенченя Н. Г., Чуб В. П., Трухан И. А., Войтекунас Ю. Б. А. с. 1214702 СССР // Б. И. 1986. № 8. С. 141.

Институт элементоорганических соединений
им. А. Н. Несмиянова АН СССР

Поступила в редакцию
20.10.89

УДК 541.64:539.3

© 1990 г. И. И. Тугов, А. Ю. Шаулов

МОДУЛЬ УПРУГОСТИ ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИТОВ

Дано численное описание зависимостей модуля Юнга дисперсно-наполненных композитов от степени наполнения для случаев идеального сцепления, нулевой адгезии и идеального проскальзывания между компонентами смеси. На примере наполненных ПЭ и ПС проведено сравнение экспериментальных данных с теоретическими зависимостями, которое позволяет оценить, насколько совершенны контактные взаимодействия между наполнителем и связующим и на какую величину может быть увеличен модуль упругости материала при их улучшении.

Изменение упругих характеристик композитов при наполнении термопластов жесткими частицами определяется объемной долей наполнителя φ , прочностью контактных взаимодействий между наполнителем и связующим, а также размерами или величиной удельной поверхности его частиц $S_{уд}$ [1–4]. Как показано, влияние последнего параметра для частиц размером более нескольких микрометров или $S_{уд} < 10 \text{ м}^2/\text{г}$ не столь существенно и может в первом приближении не рассматриваться [5].

Таким образом, основным фактором, определяющим модуль Юнга композита E_p^k при заданном связующем и степени наполнения, является сдвиговая прочность между компонентами смеси, складывающейся из адгезионных и трибомеханических взаимодействий между ними [6].

Отсюда следует, что варьируя природу связующего и силу граничных взаимодействий между компонентами в пределах от идеальной адгезии до полного их отсутствия, т. е. подбирая наполнитель, можно в широких пределах изменять модуль упругости материала.

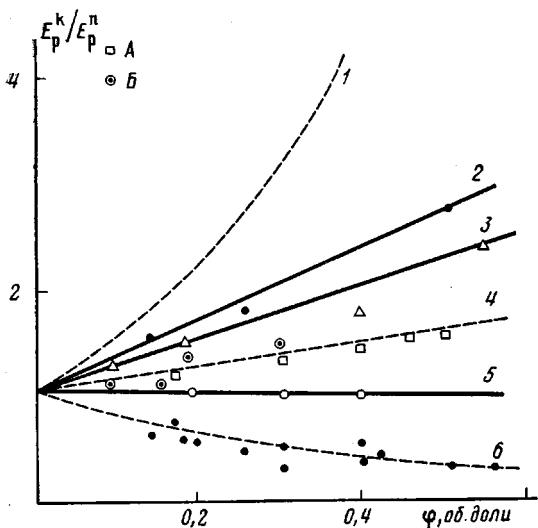
Подбор наполнителя при создании композиционных материалов осуществляется, как правило, из общих соображений, так как прямое измерение силы адгезии и коэффициента трения дисперсных наполнителей со связующим экспериментально затруднено.

Между тем проблема выбора может быть существенно облегчена, если для сравнения с экспериментальными данными использовать «реперные» теоретические зависимости коэффициента усиления от объемной доли наполнителя.

Сравнение позволит оценить, насколько совершенны контактные взаимодействия в смеси и на какую величину может быть увеличен модуль упругости материала при их улучшении.

На рисунке представлены теоретические зависимости коэффициенты усиления E_p^k/E_p^n (E_p^n – модуль упругости полимера) от степени наполнения для различных случаев.

1. Идеальная адгезия между наполнителем и связующим, описываемая зависимостью Кернера [7], которая может быть аппроксимирована



Зависимость коэффициента усиления композитов от степени наполнения: 1 – теоретическая зависимость для смесей с идеальной граничной связью [6, 7]; 2 – ПЭВП+каолин; 3 – ПЭВП+мел; 4 – штриховая линия – теоретическая зависимость для случая нулевой адгезионной прочности и конечного коэффициента трения [6] и экспериментальные данные для смесей ПЭВП+стеклосфера (A), полистирол+стеклосфера (B); 5 – ПЭВП+фторопласт; 6 – теоретическая зависимость для случая «нулевой адгезии» [8] и «идеального проскальзывания» [6] (штриховая линия) и экспериментальные данные для смесей ПЭВП+каолин, мел, стеклосферы, фторопласт, в которых на поверхность наполнителя нанесен межфазный слой – вязкая олигомерная жидкость (2 вес.% от композита) [6, 11]

простым выражением

$$E_p^k/E_p^n = 1 + 11,6\varphi - 44,4\varphi^2 + 96,3\varphi^3 \quad (1)$$

2. Нулевая адгезионная прочность при большом коэффициенте трения между наполнителем и связующим [6], который описывается уравнением

$$E_p^k/E_p^n = 1 + \varphi \quad (2)$$

3. Полное отсутствие взаимодействия и идеального проскальзывания между компонентами смеси, когда модуль упругости композита практически определяется сечением полимера и связан со степенью наполнения уравнением [7, 8]

$$E_p^k/E_p^n = 1 - \varphi^3 \quad (3)$$

Экспериментальное изучение зависимости коэффициента усиления от степени наполнения было проверено в одном случае на смесях с наполнителями, отличающимися силой адгезии (каолин, мел) [9], а также величиной коэффициента трения по отношению к полимеру (стеклосфера, фторопласт) [10], и в другом – на смесях эмульсионного ПС со стеклосферами. Случай полного отсутствия взаимодействия и идеального взаимного проскальзывания наполнителя со связующим был экспериментально реализован при введении на границу раздела между ними фазы третьего компонента – вязкой жидкости [11, 12]. Удельную поверхность наполнителей варьировали в пределах $S_{уд} = 0,2 - 7,8 \text{ м}^2/\text{г}$. Методики приготовления образцов и испытаний описаны ранее [6].

В результате была показана тенденция в увеличении E_p^k с ростом силы адгезионного взаимодействия в смеси и уменьшение E_p^k с уменьшением коэффициента трения наполнителя со связующим. Кроме того, сравнение полученных данных с теоретическими зависимостями (E_p^k/E_p^n) – φ обнаружило, какие из использованных наполнителей обладают адгезией к связующему, относительную ее силу и каков может быть эффект при

ее увеличении. Из этих же данных следует также, что ПЭ и ПС не обладают адгезией к стеклосферам.

В заключение можно сделать вывод о том, что рассмотренный подход позволяет систематизировать поисковые исследования при изучении механических свойств композиционных материалов и способствует пониманию принципов их регулирования.

Авторы благодарят В. Г. Ошмяна за помощь в работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нильсен Л. Е. Механические свойства полимеров и полимерных композитов. М., 1978. С. 310.
2. Theocaris P. S., Sideridis E. // J. Appl. Polymer Sci. 1984. V. 29. № 10. Р. 2997.
3. Spanoudakis T., Young R. T. // J. Mater. Sci. 1984. V. 19. № 2. Р. 487.
4. Дмитриенко А. В., Иванчев С. С., Гольдман А. Я., Демидова В. А., Литвинов И. А. // Высокомолек. соед. А. 1988. Т. 30. № 1. С. 72.
5. Тополкараев В. А., Товмасян Ю. М., Дубникова И. Л., Петросян А. И., Мешкова И. Н., Берлин А. А., Гамза Ю. П., Шилов В. В. // Механика композит. материалов. 1987. № 4. С. 616.
6. Кнунянц Н. А., Ляпунова М. А., Маневич Л. И., Ошмян В. Г., Шаулов А. Ю. // Механика композит. материалов. 1986. № 2. С. 231.
7. Kerner E. H. // Proc. Phys. Soc. B. 1956. V. 69. № 440. Р. 808.
8. Nielsen L. E. // J. Appl. Polymer Sci. 1966. V. 10. № 1. Р. 97.
9. Dolarova-Švehlova V. // J. Macromolec. Sci. Phys. 1982. V. 24. № 2. Р. 234.
10. Крагельский И. В., Виноградова И. Э. Коэффициенты трения. М., 1962. С. 230.
11. Шаулов А. Ю., Ляпунова М. А., Иванов Л. С., Владимиров Л. В. // Пласт. массы. 1988. № 7. С. 18.
12. Шаулов А. Ю., Ляпунова М. А. // Докл. АН СССР. 1988. Т. 303. № 6. С. 1424.

Институт химической физики
им. Н. Н. Семенова АН СССР

Поступила в редакцию
23.10.89

УДК 541.64:539.3

© 1990 г. Л. М. Ярышева, Е. А. Шматок, Е. М. Уколова,
Г. М. Луковкин, А. Л. Волынский, П. В. Козлов, Н. Ф. Бакеев

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЛИЯНИЯ ЖИДКИХ СРЕД НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ КРЕЙЗИНГА

Проанализирована возможность использования критерия Гриффита для характеристики величины предела вынужденной эластичности при деформировании полимеров как на воздухе, так и в физически активных жидкостях средах. Влияние модуля упругости полимера на эффективность действия жидкостей сред для локализованного и делокализованного крейзинга связано с проявлением различных механизмов влияния жидкостей сред.

Деформирование полимеров в физически активных средах вызывает резкое снижение механической устойчивости полимерного материала по отношению к внешней нагрузке. Такие важные характеристики деформационно-прочностных свойств, как предел вынужденной эластичности $\sigma_{v.e}$, предел стационарного развития пластической деформации, разрывное напряжение и разрывная деформация, могут уменьшаться в значительной степени при деформации полимера в среде [1, 2]. Вместе с тем приведенные в работах [3–6] данные по выявлению механизма влияния жидкостей сред на деформацию в них стеклообразных и кристаллических полимеров позволили разделить физически активные жидкости на адсорбционно-активные (AAC) и пластифицирующие среды. В связи с этим