

ортотропного тіла визначаються чотири незалежними постійними. Для їх визначення застосовується методика вирішення плоских двоякоперіодичних завдань з використанням функцій комплексного змінного.

Вирішення задач при поздовжньо-поперечному розтягу та поздовжньо-поперечному зсуві дає змогу отримати в явному вигляді залежності між усередненими пружними постійними композита та властивостями матеріалів матриці і волокон для різних схем армування. У нескінченній ортотропній пластині, послабленій коловим отвором, найбільші напруження виникають по контуру отвору.

#### *Список використаних джерел*

1. Алфутов, Н. А. Расчет многослойных пластин и оболочек из композиционных материалов [Текст] / Н.А. Алфутов [и др.]. – М: Машиностроение, 1984. – 264 с.
2. Болотин, В. В. Механика многослойных конструкций [Текст] / В.В. Болотин, Ю.Н. Новичков. – М.: Машиностроение, 1980. – 375 с.
3. Ванин, Г. А. Микромеханика композиционных материалов [Текст] / Г.А. Ванин. – К. Наукова думка, 1971. – 304 с.

4. Малмейстер, А. К. Сопротивление полимерных и композитных материалов [Текст] / А.К. Малмейстер, В.П. Тамуж, Г.А. Тетерс. – Рига: Зинатне, 1980. – 572 с.
5. Тарнопольский, Ю. М. Особенности расчета деталей из армированных пластиков [Текст] / Ю.М. Тарнопольский, А.В. Розе. – Рига: Зинатне, 1969. – 274 с.
6. Лаврентьев, М. А. Методы теории функций комплексного переменного [Текст] / М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат. – М.: Наука, 1973. – 736 с.
7. Лехницкий, С. Г. Теория упругости анизотропного тела [Текст] / С.Г. Лехницкий. – М.: Наука, 1977. – 415 с.
8. Мусхелишвили, Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости [Текст] / Н.И. Мусхелишвили. – М.: Наука, 1966. – 708 с.
9. Образцов, И. Ф. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов [Текст] / И.Ф. Образцов, Л.М. Савельев, Х.С. Хазанов. – М.: Высшая школа, 1985. – 392 с.
10. Lotfi Toubal, Moussa Karama, Bernard Lorrain. Stress concentration in a circular hole in composite plate. Laboratoire Genie de Production, Equipe CMAO, Groupe M2SF, ENIT, Chemin d' Azereix BP 1629, 65016 Tarbes Cedex, France Available online, 9 April 2004.

УДК 539.2: 621.9.047.7/785.5, 621.81

*Н. А. Аксьонова, О. В. Оробінський, О. В. Надтока*

### **ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ФУЛЛЕРЕН-ВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ У ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ**

*N. A. Aksenova, A. V. Orobinsky, O. V. Nadтока*

### **PROSPECTS OF FULLERENE-CONTAINING MATERIAL IN THE TRANSPORT SECTOR**

Створення технологічних засобів нового покоління для залізничного транспорту ставить перед дослідниками

багатопроблемні задачі, серед яких одержання нових матеріалів із заданими властивостями відіграє одну з

найважливіших ролей. Одним із перспективних напрямків є широке застосування матеріалів на основі фуллерену [1]. Молекула фуллерену  $C_{60}$  являє собою усічений ікосаедр, що має майже сферичну симетрію. Величина

діаметра молекули складає  $\sim 10\text{\AA}$ , тобто належить до класу наноматеріалів. Висока симетрія молекул відображається в наборі унікальних фізичних властивостей. Загальні властивості  $C_{60}$  подано в таблиці.

Таблиця

Основні характеристики молекули фуллерену і фізичні властивості чистого  $C_{60}$  [1]

Щільність	$1.72 \times 10^{-10} \text{ г/см}^3$
Модуль пружності	14 ГПа
Об'ємний коефіцієнт теплового розширення	$6.0 \times 10^{-5} \text{ 1/К}$
Швидкість звуку $V_l$ (подовжня)	$2.6 \times 10^3 \text{ м/с}$
Швидкість звуку $V_t$ (поперечна)	$1.2 \times 10^3 \text{ м/с}$

Особливі властивості фуллеренів у кристалічному стані вказують як на багатий фізичний зміст явищ, що відбуваються за участі фуллеренів, так і на значні перспективи використання цих матеріалів у різних галузях транспортного машинобудування.

У результаті допіювання  $C_{60}$  лужними металами, фуллерен, що утвориться при визначеній стехіометрії, є органічним надпровідником із критичними температурами  $T_c \approx 40 \text{ К}$  [1]. На базі такого матеріалу виготовляють електромагнітні соленоїди великої потужності, які можуть застосовуватися в багатьох технічних засобах транспорту. Перетворення кристалічного  $C_{60}$  в алмаз відбувається за значно більш м'яких умов, ніж у випадку традиційно використовуюваного з цією метою графіту. Тиск, необхідний для перетворення твердого  $C_{60}$  в алмаз, знижується із зростанням температури [2]. Важливо, що це досягається без будь-якого додаткового нагрівання зразка. Така технологічна можливість дає змогу використовувати штучні алмази як необхідні частинки для вимірювальних інструментів та приладів. Уже перші експерименти з дослідження механічних властивостей  $C_{60}$  підтвердили сподівання дослідників на створення

високоєфективного твердого змащення на основі  $C_{60}$ . Згідно з роботами [2, 3], поверхня твердих матеріалів, покритих фуллереновою плівкою, має аномально низький коефіцієнт тертя, підвищену довговічність та зносостійкість, що дає змогу суттєво збільшити зносостійкість деталей та механічний ККД. За результатами проведених експериментів на апаратах високого тиску, у яких пластичний  $C_{60}$  стискався до 300 тис. атм. і піддавався деформації зсуву, у камері утворювалися мікрочастинки речовини, твердіші за алмаз [4]. Це визначає перспективи його використання при створенні сучасних різальних інструментів. У цьому плані групою авторів [5] було проведено комплексне дослідження структури і мікропластичності чистого  $C_{60}$ , вивчено геометрію ковзання і температурні залежності мікротвердості  $H_V$  у широкому інтервалі температур. Взаємодії між молекулами визначають низькі величини мікротвердості  $H_V$  і границі текучості  $\sigma_T$  кристала  $C_{60}$ . При кімнатній температурі типове значення  $H_V = 0.2 \text{ ГПа}$  [6], а відношення  $H_V / \sigma_T \approx 20$ . Надтверді матеріали та матеріали з підвищеною міцністю для відповідальних деталей транспортних технічних засобів можуть бути створені на основі сполук

полімеризованого фуллерену. Відомо [7], що полімеризація приводить до зміцнення, а полімерні фази є особливо міцними [8]. При частковому термічному руйнуванні шарів графіту можуть утворюватися не тільки молекули фуллерену, а також нанотрубки, що мають довжину декілька нанометрів [9] і унікальні механічні властивості, а також надвисоку міцність.

Як зазначено у роботі [10], домішки впровадження суттєво впливають на властивості фуллеренів, приводять до зміцнення даного матеріалу. Найбільш сильне зміцнення відбувалося при витримці кристалів в атмосфері аргону або кисню в результаті впровадження атомів Ag чи молекул O<sub>2</sub> в порожнечі грат C<sub>60</sub> [5]. Згідно з роботою [11], C<sub>60</sub> також може використовуватися як основа для виробництва акумуляторних батарей. Ці батареї характеризуються більш високою ефективністю, малою вагою, а також екологічною і санітарною безпекою в порівнянні з найбільш сучасними акумуляторами на основі літію. Такі високоефективні батареї можуть бути застосовані в електронній техніці, яка використовується в інформаційно-керуючих системах на транспорті.

Зважаючи на вищевикладене, можна зробити висновок, що нові матеріали, створені на основі фуллерену, та його сполуки відрізняються від традиційних більш високим рівнем механічних характеристик. Це обґрунтовує доцільність проведення науково-дослідних робіт щодо їх промислового одержання та використання для виготовлення деталей, а також елементів конструкцій транспортних технічних засобів.

#### Список використаних джерел

1. Локтев, В. М. Легированный фуллерит – первый трехмерный органический сверхпроводник [Текст] / В.М. Локтев // ФНТ. – 1991 – Т. 18. - № 3. – С. 217-238.

2. Елецкий, А. В. Фуллерены [Текст] / А.В. Елецкий, Б.М. Смирнов // УФН. – 1993. – Т. 163. - № 2. – С. 33 -61.

3. Елецкий, А. В. Фуллерены и структура углерода [Текст] / А.В. Елецкий, Б.М. Смирнов // УФН. – 1995. - V.165. – № 9. – С. 980-1009.

4. Blank V., Popov V. et al. Is C<sub>60</sub> fullerite harder than diamond? // Phys. Lett. A. - 1994.- V.188 - P. 281-286.

5. Структура, системы скольжения и микротвердость кристаллов C<sub>60</sub> [Текст] / С. В. Лубенец, В.Д. Нацик, Л.С. Фоменко [и др.] // ФНТ. – 1997. – Т. 23. - № 3. – С. 338- 351.

6. Упругие и диссипативные свойства фуллерита [Текст] / Н. П. Кобелев, А.П. Моравский, Я.М. Соيفер [и др.] // ФТТ. - 1994. – Т. 39. - № 9. – С. 27.

7. Nunez-Regueiro M., Marques L., Hodeau J.- L. et al. Polymerized fullerite structures // Phys. Rev. Lett. - 1995 - v. 74.- №2. - P. 278-281.

8. Aksenova N. A., Isakina A.P., Prokhvatilov A.I., Strzhemechny M.A., Soldatov A.V. and Sundqvist B. Structure studies of C<sub>60</sub> polymerized at low Pressures // in: Recent Adv. in the Chem. & Phys. Fullerenes and Rel. Materials (eds. K.Kadish and R.Ruoff) The Electrochem. Soc., Inc., Pennington, NJ. - 1997. - P. 687-694.

9. Елецкий, А. В. Углеродные нанотрубки [Текст] / А.В. Елецкий // УФН. – 1997. – Т. 167. - № 9. – С. 945-972.

10. Aksenova N. A., Isakina A. P., Prokhvatilov A. I., Strzhemechny M.A., Varyukhin V.N. Thermodynamic properties of C<sub>60</sub>: Effect of impurities // in:Recent Adv. in the Chem. & Phys. of Fullerenes and Rel. materials (eds.K.Kadish and R.Ruoff), The Electrochem. Soc., Pennington NJ. - 1994. – V. 1. – P.1543-1549.

11. Axe J.D., Moss S.C. Structure and dynamics of cristalline C<sub>60</sub> //Solid State Physics: Adv.in Res. and Applic., edited by Ehrenreich H. and Spaepen F., New York: Acad. Press. – 1994. – V. 48. – P.149-224.