

# Тверді дво- і багатокомпонентні матеріали (до питання термінології)

І.О. Мікульонок, д.т.н., НТУУ «КПІ», м. Київ

*Протягом тисячоліть для виготовлення найрізноманітніших виробів людина використовувала переважно природні матеріали: камінь, мінерали, деревину, кістки, метали та їхні сплави. Проте починаючи з минулого століття, ситуація кардинально змінилася: завдяки зусиллям матеріалознавців, технологів і конструкторів були отримані численні синтетичні матеріали із найрізноманітнішими властивостями. Зміною якісного й кількісного складу численних композицій були зроблені тисячі й тисячі видів матеріалів, успішно використовуваних у різних галузях промисловості, на транспорті, у сільському господарстві, пакуванні, медицині, побуті.*

Сьогодні рідко хто не чув такі терміни, як «композиційний матеріал», «композитний матеріал» або «композит». Водночас різні джерела інформації дають безліч визначень зазначених термінів, у багатьох випадках досить близьких, а в деяких — абсолютно різних.

Насамперед визначимося зі значенням терміна «матеріал». Одне з найбільш вдалих його трактувань пропонує міжнародна патентна класифікація: матеріал — категорія (об'єкта винаходу — *I. M.*), що включає будь-яку речовину, проміжний продукт або композицію речовин, які зазнають впливу з метою виготовлення продукту. Продукт — категорія (об'єкта винаходу — *I. M.*), яка є виробом або одержаною в результаті технологічного процесу композицією і характеризується своїми конструктивними особливостями, фізичними або хімічними властивостями [1].

У Великій Радянській Енциклопедії наведено таке визначення терміна «ком-

позиційні матеріали»: «Композиційні матеріали представляють собою металічні або неметалічні матриці (основи) із заданим розподілом у них зміцнювачів (волокон, дисперсних частинок тощо); при цьому ефективно використовуються індивідуальні властивості складових композиції. За характером структури композиційні матеріали поділяються на волокнисті, зміцнені безперервними волокнами й ниткоподібними кристалами, дисперснозміцнені матеріали, отримані введенням у металеву матрицю дисперсних частинок зміцнювачів, шаруваті матеріали, створені пресуванням або прокаткою різнорідних матеріалів. До композиційних матеріалів також належать сплави зі спрямованою кристалізацією евтектичних структур» [2].

Отже, наведене визначення охоплює насамперед армовані (конструкційні) матеріали, призначені для механічних навантажень, і майже не враховує такий широкий клас матеріалів, як функціональні (наприклад, фрикційні й антифрикційні, тепло- й електроізоляційні, електропровідні, магнітні, оздоблювальні, пакувальні тощо) або комбіновані (армовано-функціональні, поліфункціональні), що істотно звужує номенклатуру зазначених матеріалів [3].

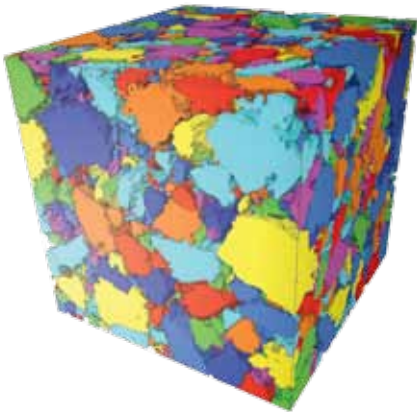
Аналогічне визначення наведене й у Хімічній енциклопедії: «Композиційні матеріали (композити) (від лат. *compositio* — складання) — багатокомпонентні матеріали, що складаються із полімерної, металічної, вуглецевої, керамічної або іншої основи (матриці), армованої наповнювачами з во-

локон, ниткоподібних кристалів, тонкодисперсних частинок тощо» [4]. За структурою наповнювача композиційні матеріали поділяють на волокнисті, шаруваті, а також дисперсноармовані, або дисперснозміцнені. При цьому композиційні матеріали на основі полімерної матриці зазначене джерело визначає як «армовані пластики».

Наведене вище визначення, як і попереднє, також істотно звужує номенклатуру зазначених матеріалів (наприклад, не всі дисперснонаповнені матеріали є дисперсноармованими). Крім того, наявність у визначенні терміна «тонкодисперсні частинки» (також зустрічається термін «колоїдно-дисперсні частинки») обмежують розміри частинок наповнювача діапазоном від 1 нм до 1 мкм [4]. Водночас як наповнювачі цих матеріалів застосовуються частинки розміром від часток міліметра до декількох сантиметрів: порошки, гранули, зерна та інші об'ємні утворення твердих тіл [3].

Зазначене визначення припускає наявність у композиційному матеріалі мінімум трьох компонентів, оскільки термін «багатокомпонентні матеріали» («багатокомпонентні системи») у Хімічній енциклопедії трактується як фізико-хімічні системи, що містять не менше трьох компонентів [5]. Отже, згідно із визначенням [4] із класу композиційних матеріалів випадають матеріали, що складаються із двох компонентів, які належать не до багатокомпонентних, а до бікомпонентних систем.

У Довіднику з композиційних матеріалів [6] пропонується таке визначен-





ня: «Композиційні матеріали представляють собою гетерофазні системи, одержані з двох або більше компонентів зі збереженням індивідуальності кожного окремого компонента.

Для композиційних конструкційних матеріалів характерні такі ознаки:

- склад і форма компонентів матеріалу визначені заздалегідь;
- компоненти присутні в кількостях, що забезпечують задані властивості матеріалу;
- матеріал є однорідним у макромасштабі й неоднорідним у мікромасштабі (компоненти різняться за властивостями, між ними існує явна межа поділу)».

Проте у цьому разі під визначення «композиційні матеріали» не підпадають інтегральні піноматеріали, що мають густину, нерівномірну за їхнім об'ємом, тобто в макромасштабі є неоднорідними. Нагадаємо, що макроскопічний масштаб — це масштаб довжини, за якого об'єкти або процеси мають розміри, що піддаються вимірюванню та спостереженню неозброєним оком (все, що стосується фізичних об'єктів і фізичних параметрів, які мають геометричну довжину понад один міліметр, називається макроскопією). Протилежністю макроскопічному масштабу є мікроскопічний масштаб, за яким визначаються об'єкти менші від тих, що можна легко побачити неозброєним оком, і для їх виразного розгляду потрібні лінза або мікроскоп.

Крім того, під наведеним вище терміном «композиційні матеріали» маються на увазі не лише гетерофазні системи із твердим дисперсійним середовищем, а й гетерофазні системи з рідким і газоподібним дисперсійними середовищами. Так, під зазначене визначення підпадають, наприклад, використовувані під час оброблення металів різанням або тиском мастильно-охолодні рідини у вигляді водних емульсій нафтових мастил або дим, що утворюється у результаті згоряння палива.

Згідно із [7] композиційними називають матеріали, що утворені із двох або більше різнорідних фаз та мають характеристики, не властиві вихідним компонентам. На відміну від наведених вище, це визначення

охоплює не тільки «сумішеві» матеріали, а й дво- і багат шарові, а також структури з об'ємним наповнювачем (залізобетон з каркасною арматурою). Відповідно до цього визначення до композиційних матеріалів належать, наприклад, кабельний виріб (кабель, провід, шнур), металополімерний віконний профіль, металева труба з теплоізоляційним покриттям або сталевий прокат, або металевий виріб (болт, гайка, шайба тощо) із захисним покриттям. Визначення, аналогічні розглянутим вище, наведені:

- у підручнику [8]: композиційний матеріал — це гетерофазна система, одержана із двох або більше компонентів (складових частин), де один компонент є матрицею, у якій певним чином розподілений (диспергований) інший компонент (або інші компоненти), відділений (або відділені) від матриці межею розподілу. Згідно із цим визначенням до композиційних матеріалів не належать системи із двома безперервними фазами — матрицями;
- у довіднику [9]: композиційні матеріали — це матеріали, що складаються із двох або більше компонентів (окремих волокон або інших армувальних складових частин і матриці, що їх з'єднує) і мають специфічні властивості, відмінні від сумарних властивостей компонентів. Компоненти композитів не повинні розчинятися або іншим способом поглинати один одного. Як і у попередньому трактуванні, до композиційних матеріалів не на-

- лежать системи із двома безперервними фазами — матрицями;
- у монографії [10]: композиційні матеріали — це багатофазні матеріали, одержані штучною комбінацією різних матеріалів для досягнення властивостей, яких не можуть забезпечити окремі компоненти. Зазначене визначення не виправдано розширює клас композиційних матеріалів;
- в англomовному сегменті вільної енциклопедії Wikipedia [11]: композитні матеріали (композиційні матеріали, композити) — матеріали, що складаються із двох або більше матеріалів із істотно різними фізичними або хімічними властивостями, комбінація яких приводить до створення матеріалу із властивостями, відмінними від властивостей цих матеріалів. При цьому окремі компоненти відділені один від одного й характеризуються вихідними властивостями у межах сформованої структури. Як і попереднє, зазначене визначення також не виправдано розширює клас композиційних матеріалів.

## Громадське Повідомлення

Цим ми офіційно повідомляємо, що **Гуала Клоужес С.П.А.** є єдиним власником наступних товарних знаків, що належним чином зареєстровані та експлуатуються в Україні:



Товарний знак  
№ 838278



Товарний знак  
№ 966931

ГУАЛА КЛОУЖЕС

Товарний знак  
№ 913038



Товарний знак  
№ 1053965

GUALA CLOSURES

Товарний знак  
№ 24206

Таким чином, у низці випадків наведені визначення не тільки не збігаються по суті, а й нерідко суперечать один одному. У цьому зв'язку запропоновані уточнені визначення, оформлені у вигляді твердих тіл продуктів (матеріалів, напівфабрикатів, виробів), що складаються щонайменше із двох фаз. *Композиційний матеріал (композит)* — це гетерогенна система, що призначена для виготовлення з неї виробу або напівфабрикату, сформована у вигляді одержаного без застосування складальних операцій твердого тіла та складається як мінімум із двох фаз, одна з яких має бути безперервною, з вираженою межею розподілу між ними й властивостями, відмінними від властивостей кожної окремої фази. При цьому за наявності у системі дисперсної фази вона є сукупністю дисперсних частинок, волокнистих і волокноподібних матеріалів, а також двовимірних елементів. Композиційний матеріал також може складатися із двох безперервних фаз — взаємопроникних матриць. Нагадаємо, що гетерогенна система — система, що складається із двох або декількох фаз, тобто частин, що відрізняються за властивостями і контактують по поверхнях розподілу. При цьому фазою називається сукупність усіх частин гетерогенної системи, що обмежені поверхнями поділу й мають за відсутності зовнішніх полів однакові фізичні властивості у всіх своїх точках [13]. Залежно від розмірів частинок дисперсної фази в окремі класи нерідко виділяють:

- мікрогетерогенні системи — дисперсні системи з розмірами часток дисперсної фази від 5 нм до 10 мкм [12];
- нанокомпозити — матеріали, отримані введенням наночастинок у матриці (наночастинок — твердофазний об'єкт із габаритними розмірами від 1 до 100 нм, тобто від 0,001 до 0,1 мкм).

Як матриці (дисперсійне середовище, безперервна фаза) композиційних матеріалів можуть бути використані насамперед полімери, метали, кераміки, вуглець, будівельні матеріали на основі мінеральних в'язучих (цемент, гіпс, магнезит, доломіт тощо).

Як дисперсна фаза (наповнювач) композиційних матеріалів можуть бути:

- дисперсні частинки (тверді, рідкі, газоподібні) з габаритними розмірами одного порядку;
- волокнисті матеріали (волокна, нитки, ровінги, джгути, пряжа) і волокноподібні матеріали (дріт, корд тощо), один з розмірів яких (довжина) мінімум на порядок перевищує інші;
- двовимірні елементи — плівки, стрічки, тканини, а також неткані матеріали, один з розмірів яких (довжина) мінімум на порядок менша за інші.

Таким чином, композиційними матеріалами не є поропласти (окремих вид пінополімерів) — полімерні матеріали відкритокоміркової структури (губки), оскільки їхні пори заповнені газом тільки у разі перебування зазначених матеріалів в атмосфері певного газу (у вакуумі же поропласт стає однофазним матеріалом).

*Композиційна конструкція (композиційна структура, композиційний виріб, композиційний напівфабрикат)* — це продукт (виріб, напівфабрикат) певних форми й розмірів, що складається з безперервної фази (матриці) та розміщеного у ній щонайменше одного армувального наповнювача, відмінного від дисперсних частинок, волокнистих і волокноподібних матеріалів, а також двовимірних елементів.

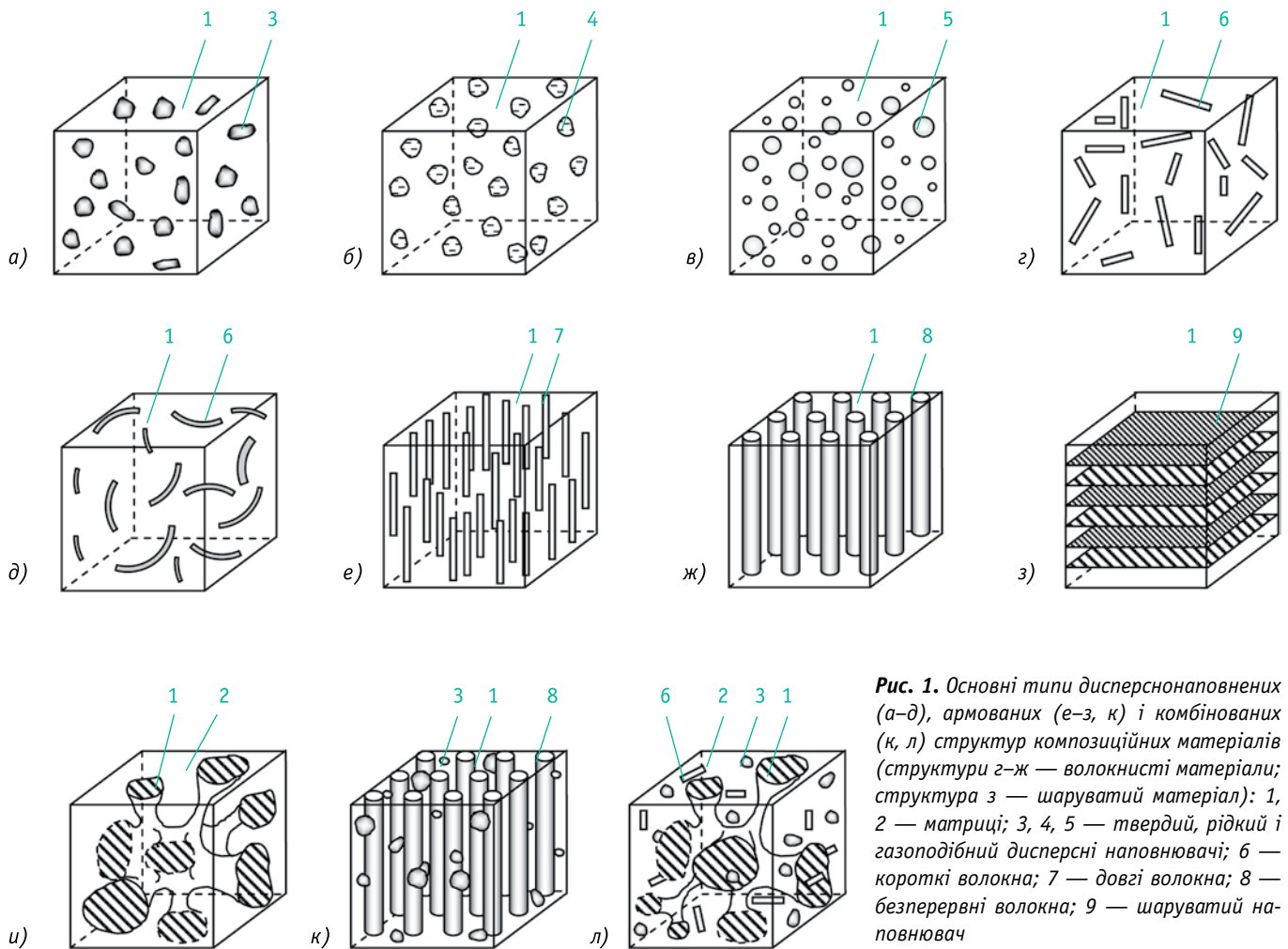
Армувальним наповнювачем композиційної конструкції також можуть бути стрижневі або трубчасті елементи постійного й змінного за довжиною профілю (наприклад, будівельна арматура), а також тривимірні елементи (у тому числі й каркасні структури). Зрозуміло, що разом із зазначеними наповнювачами до складу композиційної конструкції можуть входити будь-які інші, характерні для композиційних матеріалів.

Прикладами композиційних конструкцій можуть бути залізобетон, а також металополімерний віконний профіль (при цьому газобетон, пінобетон, керамзитобетон, пемзобетон, перлітобетон є композиційними матеріалами). Проте «чисто» полімерний віконний профіль не є композиційною конструкцією.

Відповідно до запропонованого визначення на рис. 1 наведено основні структури композиційних матеріалів [14]. Матеріали зі структурами  $a-d$ ,  $u$ ,  $l$  є ізотропними (їхні фізичні властивості однакові у всіх напрямках), а зі структурами  $e-z$ ,  $k$  — анізотропними. Серед композиційних матеріалів виділяють гібридні й поліматричні матеріали. Гібридний композиційний матеріал — це композиційний матеріал з декількома наповнювачами різної природи (рис. 1,  $k$ ,  $l$ ), а поліматричний композиційний матеріал — це композиційний матеріал з декількома матрицями (рис. 1,  $u$ ,  $l$ ). До гібридних композиційних матеріалів також належать сферопласти (синтактичні, або синтактні, піноматеріали) — газонаповнені полімери, газова фаза яких заключена у твердих сферичних оболонках зі скла, кераміки, вуглецю, полістиролу тощо.

Відповідно до [7, 15] до композиційних матеріалів належать також і шаруваті продукти (вироби й матеріали) — дво- і багатошарові листові, рулонні й плівкові матеріали [16], багатошарові панелі (рис. 2), щонайменше з одним проміжним шаром у вигляді гофрованої або комірчастої (стільникової) структури (наприклад, так звані стільникопласти), а також порожнисті багатокамерні профілі. Такі продукти широко використовують насамперед у пакуванні й машинобудуванні.

Проте останні із зазначених матеріалів, про що йшлося вище, не можуть розглядатися як композиційні, а перші два — це шаруваті матеріали. При цьому необхідно розрізняти шаруваті матеріали та шаруваті композиційні матеріали. З урахуванням рекомендації міжнародної патентної класифікації шаруватий матеріал — це матеріал, що складається із плоских або об'ємних шарів (безперервних, переривчастих або із зазорами) будь-якої форми (наприклад, гофрованої), скріплених разом будь-яким способом [1]. Зазвичай шаруватий матеріал має постійну товщину по всій довжині (при цьому виключаються окремі відхилення, створювані, наприклад, шаром із зовнішньою гофрованою поверхнею). Серед шаруватих матеріалів



**Рис. 1.** Основні типи дисперснонаповнених (а–д), армованих (е–з, к) і комбінованих (к, л) структур композиційних матеріалів (структури г–ж — волокнисті матеріали; структура з — шаруватий матеріал): 1, 2 — матриці; 3, 4, 5 — твердий, рідкий і газоподібний дисперсні наповнювачі; 6 — короткі волокна; 7 — довгі волокна; 8 — безперервні волокна; 9 — шаруватий наповнювач

відрізняють багат шарові й комбіновані матеріали [14].

Багат шаровий матеріал — листовий, рулонний або плівковий матеріал, що складається із шарів зазвичай однакових за природою матеріалів (наприклад, полімерів або матеріалів на їхній основі).

Комбінований матеріал — листовий, рулонний або плівковий матеріал, що складається із шарів різних за природою матеріалів (наприклад, полімерів, паперу, металевої фольги, тканин тощо). При цьому комбінований матеріал можна вважати полімерним шаруватим матеріалом, якщо об'ємна частка шарів полімеру в матеріалі перевищує 50 %.

На перший погляд, шаруваті композиційні матеріали подібні шаруватим, але відрізняються від них тим, що складаються щонайменше з одного наповнювача у вигляді пористого

двовимірного матеріалу (тканини, сітки тощо), закладеного в матрицю за умови, що наповнювач простягається по всій площі шаруватого композиційного матеріалу. При цьому матриця не тільки покриває двовимірний наповнювач з обох його сторін, а й завдяки нещільностям структури наповнювача пронизує його по всій його поверхні.

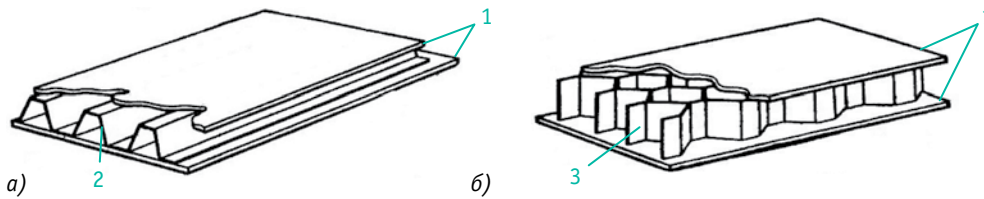
Шаруватий же матеріал — це сукупність шарів, які не закладені у спільну для них матрицю (навіть за умови виконання зовнішніх шарів тришарового матеріалу з того самого матеріалу або за виконання зовнішніх і кожного непарного шарів шаруватого матеріалу з непарною кількістю шарів з того самого матеріалу). Типовий приклад шаруватого продукту — триплекс (багат шарове скло, що складається як мінімум із двох органічних або силікатних стекел, склеєних

між собою спеціальною полімерною плівкою або фотоотверджуваною композицією, здатною у результаті удару втримувати осколки). У той же час армований металевою сіткою скляний лист є шаруватим композиційним продуктом.

Для характеристики шаруватого продукту пропоную такі терміни (наведені вище терміни не збігаються із прийнятими у міжнародній патентній класифікації [1], у якій під шаруватим продуктом розуміють у тому числі й шаруваті композиційні матеріали):

- «шар» — потрібно розуміти лист, смугу тощо невеликої товщини порівняно з іншими лінійними розмірами. Цей шар з'єднаний у виробі з іншим щонайменше одним шаром і може бути виготовлений заздалегідь або виконаний у процесі виготовлення шаруватого виробу. Шар має бути суцільним,





**Рис. 2.** Схема багатошарових панелей з одним проміжним шаром у вигляді гофрованої (а) і комірчастої, або стільникової (б), конструкції: 1 — поверхневий аркушевий шар; 2 — гофрований шар; 3 — комірчастий шар

при цьому із сусіднім шаром він може бути з'єднаний як по всій поверхні, так і в окремих його місцях (з'єднання рифленого шару із плоским шаром);

- «шаруваті вироби» включають як мінімум два шари, скріплені разом. При цьому під терміном «скріплення» потрібно розуміти з'єднання шарів будь-яким методом, наприклад, зшиванням голками, брошуванням, скріпленням цвяхами, з'єднанням у вигляді «ластівчина хвоста», введенням між шарами клейкої речовини або підкладки, просоченої клеєм. Шаруваті вироби виготовляють із заздалегідь зроблених шарів або шарів, що утворюються у процесі виготовлення цих виробів, а також що наносяться на заздалегідь виготовлені шари. Таким чином, необхідно розрізнити шаруваті композиційні матеріали й шаруваті продукти, які не належать до композиційних матеріалів.

Зроблена спроба уточнення термінів, що стосуються твердих гетерогенних систем, які прийнято називати композиціями, або композиційними матеріалами. Запропоновані визначення можуть бути предметом подальшої дискусії, у зв'язку з чим автор із вдячністю прийме будь-які зауваження та пропозиції щодо удосконалення цих визначень.

## Література

1. *Международные классификации. Изобретения. Версия (2015.01). Класс В32 — Слоистые изделия или материалы* [Электронный ресурс]. — Режим доступа : [http://www1.fips.ru/wps/portal/IPC/IPC2015\\_extended\\_XML/?xml=http://www1.fips.ru/IPC2015\\_extended\\_XML/AIpc-20150101\\_subclass-B\\_XML\AIpc20150101-B32.xml](http://www1.fips.ru/wps/portal/IPC/IPC2015_extended_XML/?xml=http://www1.fips.ru/IPC2015_extended_XML/AIpc-20150101_subclass-B_XML\AIpc20150101-B32.xml). — Дата доступа : февраль 2015 р. — Название с экрана.

2. *Большая Советская Энциклопедия* : в 30 т. Т. 12. Кварнер — Конгур. — М. : Сов. энцикл., 1973. — 624 с.

3. *Мікульонок І. О.* Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини : монографія / І. О. Мікульонок. — К. : ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2009. — 265 с.

4. *Химическая энциклопедия* : в 5 т. Т. 2. Даффа — Меди / редкол. : И. Л. Кнуныц (гл. ред.) и др. — М. : Сов. энцикл., 1990. — 671 с.

5. *Химическая энциклопедия* : в 5 т. Т. 3. Меди — Полимерные / редкол. : И. Л. Кнуныц (гл. ред.) и др. — М. : Большая Рос. энцикл., 1992. — 639 с.

6. *Композиционные материалы* : справочник / [В. В. Васильев, В. Д. Протасов, В. В. Болотин и др.]; под общ. ред. В. В. Васильева, Ю. М. Тарнопольского. — М. : Машиностроение, 1990. — 512 с.

7. *Андреева А. В.* Основы физикохимии и технологии композитов : учеб. пособ. для вузов / А. В. Андреева. — М. : Изд-во «ИПРЖР», 2001. — 192 с.

8. *Основы технологии переработки пластмасс* : учеб. для вузов / [С. В. Власов, Л. Б. Кандырин, В. Н. Кулезнев и др.]. — М. : Химия, 2004. — 600 с.

9. *Справочник по композиционным материалам* : в 2 кн. / под ред. Дж. Любина ; пер. с англ. А. Б. Геллера, М. М. Гельмонта ; под ред. Б. Э. Геллера. — М. : Машиностроение, 1988. — Кн. 1. — 448 с.

10. *Chung Deborah D.L.* Composite Materials / Deborah D.L Chung. — London : Springer International Publishing AG, 2010. — 349 p.

11. *Composite materials.* Wikipedia [Электронный ресурс]. — Режим доступа : [http://en.wikipedia.org/wiki/Composite\\_material](http://en.wikipedia.org/wiki/Composite_material). — Дата доступа : лютий 2015 р. — Назва з екрану.

12. *Химическая энциклопедия* : в 5 т. Т. 1. А — Дарзана / редкол. : И. Л. Кнуныц (гл. ред.) и др. — М. : Сов. энцикл., 1988. — 623 с.

13. *Мікульонок І. О.* Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси та обладнання хімічної технології : підручник / І. О. Мікульонок. — К. : НТУУ «КПІ», 2014. — 340 с.

14. *Микульонок І. О.* Классификация термопластических композиционных материалов и их наполнителей / И. О. Микульонок // Пластические массы. — 2012. — № 9. — С. 29–38.

15. *Бакирова И. Н.* Газонаполненные полимеры : учеб. пособ. / И. Н. Бакирова, Л. А. Зенитова. — Казань : Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2009. — 105 с.

16. *Микульонок І. О.* Интенсификация изготовления экструзией полимерных профилей / И. О. Микульонок // Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2014. — № 8. — С. 3–6. ✓

## Твёрдые двух- и многокомпонентные материалы (к вопросу терминологии)

*И. О. Микульонок, д.т.н.*

Автор рассмотрел и проанализировал различные определения терминов «композиционный материал», «композиционный материал» и «композит», причем многие из них не только не совпадают по сути, но и нередко противоречат друг другу. Автор предложил уточнённые определения терминов, которые относятся к твёрдым двух- и многокомпонентным системам.

**Ключевые слова:** гетерофазная система; композиционный материал; композиционная конструкция; определение.

## Solid two- and multi-component materials (about the terminology)

*I. O. Mikulionok, Dr.*

Various definitions of terms «a composite material», «a composition material» and «compositex» are considered and analyzed. It is shown that many of them not only do not coincide as a matter of fact, but also quite often contradict each other. The specified definitions of the terms concerning to bicomponent and to multicomponent materials (solid substances) are offered.

**Keywords:** heterophase system; composite material; composite construction; definition.