

Винахід належить до області машинобудування, авіаційної, космічної та інших галузей промисловості і може бути використаний при створенні і виготовленні матеріалів з заданим комплексом фізико-механічних властивостей.

Відомий спосіб визначення міцності композиційних матеріалів (Композиционные материалы: Справочник/ под ред. Д. М. Карпиноса. - Киев: Наукова думка, 1985. - 592с.), що включає навантаження зразків матеріалу.

Недоліком відомого способу є низька надійність визначення міцності, зумовлена значним розкидом значень міцності композиційних матеріалів при навантаженні великої кількості зразків до повного руйнування.

Найбільш близьким по сукупності ознак є спосіб неруйнівного визначення міцності композиційних матеріалів (Деклараційний патент України №28636 А, G01N3/00, 1999), що включає навантаження зразків компонентів, які складають композиційний матеріал, задання композиційного матеріалу масивом структурних елементів, кожному з яких відповідає значення граничної деформації, визначення кількості зруйнованих структурних елементів на кожному кроці навантаження.

Недолік відомого способу полягає у недостатній надійності визначення міцності, бо ступінь руйнування матеріалу оцінюють з урахуванням силових критеріїв перерозподілу навантаження від руйнування окремих структурних елементів. При цьому коефіцієнти перерозподілу навантаження одержують емпіричним шляхом. Крім того, розподіл деформацій руйнування при навантаженні зразків матеріалу виробу вздовж і впоперек волокон одержують шляхом реєстрації сигналів акустичної емісії, що передбачає наявність спеціального обладнання для проведення випробувань.

В основу винаходу поставлена задача вдосконалення способу неруйнівного визначення міцності композиційних матеріалів шляхом врахування фізико-механічних властивостей компонентів, що утворюють матеріал, а також перерозподілу пружної енергії з урахуванням енергії пружної або пластичної взаємодії, що звільнюється в процесі руйнування матеріалу внаслідок деформації структурних елементів, в слабких міцнісних зонах (перерізах), за рахунок чого досягнуто підвищення надійності визначення міцності.

Поставлена задача досягається тим, що в способі неруйнівного визначення міцності композиційних матеріалів, що включає навантаження зразків компонентів, які складають композиційний матеріал, задання композиційного матеріалу масивом структурних елементів, кожному з яких відповідає значення граничної деформації, визначення кількості зруйнованих структурних елементів на кожному кроці навантаження, згідно з винаходом, при навантаженні зразків компонентів визначають модулі пружності і середні граничні деформації, виділяють переріз з максимальною для зазначеного кроку навантаження кількістю зруйнованих структурних елементів, визначають навантаження, що припадає на кожний структурний елемент у вибраному перерізі, значення величини напруги у вибраному перерізі на кожному кроці навантаження, а міцність визначають по максимальному з сукупності значень напруг, отриманих при навантаженні матеріалу до повного руйнування.

При навантаженні зразків компонентів визначають модулі пружності, для врахування перерозподілу енергії пружної взаємодії за рахунок зруйнованих структурних елементів і більш точного визначення міцності.

Середні граничні деформації визначають для задання закону нормального розподілу граничних деформацій структурних елементів для більш точного визначення міцності.

Визначення перерізу з максимальною для зазначеного кроку навантаження кількістю зруйнованих структурних елементів і навантаження, що припадає на кожний структурний елемент в цьому перерізі, дозволяють визначити напругу в найбільш слабкому перерізі матеріалу.

Визначення величини напруги на кожному кроці навантаження дозволяє по максимальному з сукупності значень напруг, отриманих при навантаженні матеріалу до повного руйнування, встановити характер руйнування і визначити міцність.

Відмінні ознаки винаходу істотні, необхідні і достатні для досягнення технічного результату - врахування механізму руйнування в залежності від структури композиційного матеріалу з заданим складом фізико-механічних властивостей, а також енергетичних співвідношень при руйнуванні структурних елементів, і в сукупності з ознаками обмежувальної частини дозволяють підвищити надійність визначення міцності композиційних матеріалів, максимально скоротивши число випробувань зразків з повним руйнуванням.

На фіг/1, 2 зображено залежності для композиційного матеріалу алюміній - бор: напруги від деформації (а); міцності від об'ємної кількості волокон бору (б).

Створення (конструювання) матеріалів з заданими фізико-механічними властивостями по суті є зворотною задачею неруйнівного контролю міцності, оскільки дозволяє отримати, наприклад, міцнісні характеристики матеріалів при експлуатації в умовах динамічних навантажень заданого рівня. Ця проблема особливо актуальна, тому, що навіть для відомих класів матеріалів важко провести повномасштабну надійну експериментальну перевірку на міцність. Для надійної безвідмовної роботи протягом гарантованого терміну експлуатації в умовах динамічних навантажень заданого рівня, створення структурно-неоднорідних матеріалів, наприклад полімерних композитів, відповідно з необхідними міцнісними характеристиками зводиться до задання моделі матеріалу з різноманітним розташуванням і об'ємною кількістю структурних компонентів. При цьому кожному структурному елементу з компонентного складу ставлять у відповідність граничну деформацію, при якій відбувається його повне руйнування.

Розглянемо реалізацію способу на композиті з пластичною матрицею і крихкими волокнами, наприклад, алюміній - бор. В таких композитах руйнування відбувається по такій схемі: крихке руйнування армуючого елемента, зупинка тріщини поблизу поверхні розділу волокно-матриця, концентрація напруг і деформацій у вершинах тріщини в матриці.

Нехай при деформації є, зразка відбулося руйнування одного з структурних елементів волокна. В момент руйнування потенційна енергія пружної деформації, накопичена в елементі, може бути визначена з співвідношення

$$U = \frac{1}{2} E \varepsilon_l^2 \Delta V, \quad (1)$$

де E - модуль пружності волокна;

ε_i - деформація при руйнуванні структурного елемента;

ΔV - об'єм структурного елемента.

Отримана енергія пружної деформації витрачається на утворення нових поверхонь в волокні і пластичну деформацію прилеглих структурних елементів матриці. Оскільки ефективна поверхнева енергія, а отже і робота руйнування крихких волокон невелика, будемо вважати, що вся накопичена в цьому структурному елементі волокна пружна енергія піде на деформування двох сусідніх структурних елементів матриці (розглядаємо випадок, коли на границі волокно - матриця не виникає розшарування і пробою). При цьому енергія, необхідна для деформації елемента матриці, може бути визначена з виразу

$$U = \frac{1}{2} \Delta V (E \varepsilon_1^2 + E_k \varepsilon_2^2) \quad (2)$$

де E - модуль пружності матриці в пружній області;

E_k - модуль нормальної пластичності;

ε_1 - величина пружної деформації;

ε_2 - величина пластичної деформації;

ΔV - об'єм структурного елемента.

Прирівнюючи співвідношення (1) і (2), можна визначити величини ε_1 і ε_2 . Причому на початку обчислень співвідношення (1) слід прирівнювати до першого члена виразу (2). Як тільки значення ε_1 досягне межі плинності матриці, подальше поглинання енергії буде визначатися другим членом співвідношення (2). В результаті може бути отримане значення ε_2 , на яке повинно бути зменшене значення граничної деформації зазначеного структурного елемента. Точність визначення міцності підвищується в результаті врахування як індивідуальних властивостей компонентів, так і найважливішої характеристики композитів об'ємної частки волокон і матриці.

Отже, через декілька початкових кроків навантаження можливе утворення тріщин, які проходять підряд через декілька структурних елементів, що необхідно враховувати при наступному навантаженні матеріалу. Додаткова енергія, що звільнюється при утворенні тріщин, впливаючи на найближчі до зруйнованого структурні елементи, повинна додатково деформувати останні.

Таким чином, навантаження композиційного матеріалу призводить до деформування і руйнування структурних елементів волокон і матриці, причому виникнення тріщин призведе до перерозподілу пружної енергії і додаткового деформування найближчих сусідніх елементів. Для визначення міцності матеріалу послідовний аналіз процесів руйнування і перерозподілу енергії повинен тривати до повного руйнування композита.

На кожному кроці навантаження виділяють найслабший переріз (переріз з максимальним числом зруйнованих структурних елементів) і визначають його площу з урахуванням виду і розмірів незруйнованих структурних елементів компонентів композиційного матеріалу. Напругу у вибраному перерізі визначають відношенням навантаження до площі цього перерізу. По максимальному з сукупності значень напруг при навантаженні матеріалу до повного руйнування визначають його міцність.

Приклад конкретного виконання.

Дослідження з реалізації способу проводилися на композиційному матеріалі алюміній-бор. Модель матеріалу являла собою масив, що складався з 300х300 структурних елементів. Кожному структурному елементу з використанням генератора випадкових чисел задавалося значення граничної деформації з відповідного інтервалу нормального розподілу граничних деформацій, у залежності від виду компонента, до якого належить елемент. Так, при навантаженні зразків компонентів, що складають композиційний матеріал, було встановлено: для бору модуль пружності волокон складав 400 ГПа, середня гранична деформація - 0,8%; для алюмінію модуль пружності складав 70 ГПа, модуль нормальної пластичності - 1,4 ГПа, середня гранична деформація - 20%. Отримані значення середніх граничних деформацій відповідали середнім нормальним розподілам для відповідних компонентів. Враховуючи, що середня гранична деформація борних волокон складає 0,8%, для отримання достатньої для визначення міцності сукупності значень напруг крок навантаження вибирався рівним 0,05%.

На кожному кроці навантаження визначалася кількість зруйнованих структурних елементів, що монотонно зростала із збільшенням числа кроків. Після цього знаходився переріз (один з 300) з максимальним для зазначеного кроку числом зруйнованих структурних елементів. У вибраному перерізі навантаження, що припадає на кожний незруйнований структурний елемент, визначалося з урахуванням виду компонента, до якого належить зазначений елемент, а також з урахуванням міри його деформації. Деформація структурного елемента визначалася добутком числа кроків на величину кроку (у відсутності сусідніх зруйнованих елементів) і з урахуванням енергетичних співвідношень 1, 2 (за наявності сусідніх зруйнованих елементів).

Напруга у вибраному перерізі визначалася відношенням навантаження до площі вибраного перерізу. З отриманої сукупності значень напруг вибирали максимальне, що і відповідало міцності матеріалу (фіг.1).

В таблиці наведені значення міцності, отримані для матеріалів з різноманітною кількістю борних волокон (діаметр волокон складав 100 мкм).

Об'ємна частка волокон бора, %	Міцність композита, ГПа
10	0,55
20	0,65
30	0,87

40	1,17
50	1,65

Таким чином, змінюючи, наприклад, об'ємну частку волокон бора в розглянутому композиті можна одержувати матеріали з різними необхідними значеннями міцності (фіг.2).

З урахуванням специфіки експлуатаційних навантажень запропонований спосіб дозволяє підібрати композиційний матеріал з необхідним комплексом міцнісних властивостей.

