

Національна Академія наук України
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича

На правах рукопису

УДК 539.43:539.67:669.018.9

ВДОВИЧЕНКО Олександр Васильович

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНОСТІ, НЕПРУЖНОСТІ ТА ВТОМИ
КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ З МЕТАЛЕВОЮ МАТРИЦЕЮ
ДЛЯ РОБОТИ В УМОВАХ ЗМІННИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Спеціальність 05.02.01 - матеріалознавство в
машинобудуванні
(промисловість)

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ-1994

Дисертація є рукопис
Роботу виконано в Інституті проблем матеріалознавства
ім. І.М.Францевича НАН України

Науковий керівник: доктор технічних наук,
професор В.О.Кузьменко

Офіційні опоненти: доктор технічних наук
С.М.Солонін

доктор технічних наук
Б.О.Грязнов

Провідна організація: АНТК ім.О.К.Антонова

Захист відбудеться "28" 11 1994р. в "___" годин
на засіданні спеціалізованої Ради Д 016.23.02
при Інституті проблем матеріалознавства ім.І.М.Францевича
НАН України за адресою:
252680, ДСП, Київ-680, вул.Кржижанівського,3

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту
проблем матеріалознавства ім.І.М.Францевича НАН України

Автореферат розіслано "27" 10 1994р.

Вчений секретар
спеціалізованої Ради
доктор технічних наук

Р.В.Мінакова

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00756161 (Q)

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Актуальність роботи. Вивченню композитних матеріалів (КМ), - їх структури, дефектності та процесів, що відбуваються при їх виготовленні, - шляхом вимірювань швидкості акустичної хвилі або резонансної частоти коливань присвячені численні роботи.

Дослідження ведуться звичайно при малих амплітудах коливань і в літературі практично відсутні дані про вивчення металокompозитів акустичними методами більшої потужності. Використання цих методів дозволяє досліджувати матеріали за їх характеристиками непружності в режимі, що межує з втормою від циклічних навантажень, а також вести прискорені випробування на втому, прямо моделюючи такий важливий фактор, як кількість циклів навантаження, на великих базах включно.

Відомостей про можливість застосування потужних акустичних методів для випробувань КМ з металевою матрицею дуже мало, як і взагалі інформації про характеристики цього класу матеріалів при циклічному деформуванні, незважаючи на те, що більшість виробів, для яких розробляються нові КМ, працюють в умовах змінних навантажень і демпфуюча здатність та циклічна міцність, як і динамічна жорсткість, є важливими експлуатаційними характеристиками.

Крім того, використання зазначених висоочастотних методів для оперативного визначення комплексу характеристик дає корисну інформацію для оптимізації процесів одержання КМ на етапі розробки технологій.

Отже, визначення можливостей застосування акустичних методів великої потужності для випробування та дослідження КМ з металевою матрицею, а також дослідження механічних характеристик КМ при циклічному деформуванні є актуальним питанням.

Мета роботи та завдання дослідження. Мета роботи полягала в дослідженні пружності, непружності та вторми композиційних матеріалів з металевою матрицею для роботи в умовах змінних навантажень.

Відповідно до мети були поставлені та розв'язані такі задачі:

- дослідження можливості застосування акустичних резонансних методів для прискореного визначення циклічної міцності різних класів КМ з металевою матрицею, у тому числі в умовах підвищених температур;

- вивчення закономірностей зміни модуля Юнга, декременту коли-

вань та границі витривалості нових КМ в залежності від структурних та технологічних факторів;

- визначення деяких структурних та концентраційних параметрів, що забезпечують досягнення кращого комплексу характеристик досліджуваних матеріалів при циклічних навантаженнях.

Наукова новизна. У відповідності до вказаних задач в роботі одержані такі наукові результати:

1. Встановлено можливість застосування потужних височастотних методів для дослідження втоми різних класів КМ з металевю матрицею; запропоновано критерій руйнування від втоми пористих композитів з мідних волокон за зменшенням власної частоти коливань зразків на 10%.

2. Вперше досліджено характеристики пружності, непружності і втоми КМ з металевю матрицею та пористих волоконних матеріалів:

- встановлено, що збільшення вмісту свинцю з 5 до 25% (мас.) в композитах Al-Pb не впливає на їх границю витривалості;

- для мікрочарових КМ Cu/Mo встановлено, що головним фактором впливу на границю витривалості, як і на модуль Юнга, є об'ємний вміст складових;

- для мікрочарових матеріалів Ti/Ti₂Al показано, що збільшення розмірів структурних складових, незважаючи на значне підвищення границі міцності при розтягті, на характеристики пружності, непружності та втоми істотно не впливає;

- для пористих КМ з мідних волокон встановлено кореляцію частки контактного руйнування з довговічністю при випробуваннях на втому.

Практична цінність. Обгрунтовано доцільність використання акустичних методів визначення механічних характеристик КМ з металевю матрицею для оперативного і економічного встановлення оптимальних параметрів технології їх виготовлення за критеріями пружності, непружності та циклічної міцності. Отримані експериментальні дані слугували за основу при виборі параметрів технології виготовлення антифрикційних матеріалів для підшипників ковзання та теплозахисних покриттів лопаток газових турбін.

Результати, одержані в цій роботі, впроваджено в Інституті електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України з економічним ефектом 200 млн. крб., що підтверджується відповідними документами.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідалось на Всесоюзній конференції "Прочность материалов и элементов конструкции при высоких частотах нагружения" (Київ, 1988); Конференції молодих вчених та спеціалістів "Физическое материаловедение и физико-химические основы создания новых материалов" (Львів, 1989); III Всесоюзній конференції "Прочность, жесткость и технологичность изделий из композиционных материалов" (Запоріжжя, 1989); II Всесоюзному симпозіумі "Синергетика. Новые технологии получения и свойства металлических материалов" (Москва, 1991); XII Всесоюзній конференції а порошкової металургії (Київ, 1991).

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи викладено в прінті, 4 статтях та 3 збірниках тез науково-технічних конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, шести глав тексту, висновків та списку літератури з 190 найменувань. Робота викладена на 106 сторінках машинописного тексту і містить 60 рисунків, 16 таблиць.

На захист виносяться такі положення, розроблені особисто автором:

- обґрунтування можливості застосування потужних акустичних резонансних методів для визначення та дослідження механічних характеристик сучасних КМ з металевю матрицею;
- критерій руйнування КМ з мідних волокон за зміню резонансної частоти коливань зразка;
- сукупність експериментальних даних про модуль Юнга E , декремент коливань δ та границю витривалості δ_{-1} різних класів КМ з металевю матрицею в залежності від структурних та технологічних параметрів;
- рекомендації щодо вибору кращих варіантів структури та технології виготовлення КМ, розроблені за результатами оперативного визначення резонансними акустичними методами комплексу механічних характеристик.

Метод дослідження. Робота являє собою експериментальне дослідження, результати якого слугують науковою основою застосування акустичних методів великої потужності для вивчення структури та механічних властивостей КМ з металевю матрицею.

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовані мета та завдання дослідження, наукова новизна і практична цінність одержаних результатів, а також основні положення, що виносяться на захист.

В першій главі проведено аналіз літературних даних про методи дослідження матеріалів та властивості КМ в умовах циклічного деформування, а також про вплив структурних та технологічних факторів на механічні характеристики КМ. Показано, що серед прискорених методів визначення циклічної міцності найбільш перспективними є високочастотні методи, оскільки тільки в них прямо моделюється фактор кількості циклів навантаження, на великих базах включно. Розглянуто критерії руйнування КМ за зміною акустичних характеристик, а також особливості руйнування КМ. Показано обмеженість літературних даних про механічні властивості КМ з металевю матрицею при циклічному деформуванні, особливо в багатоцикловій області та практичну відсутність даних про застосування акустичних методів (за винятком визначення модулів пружності за резонансною частотою або швидкістю звуку) для вивчення цих властивостей.

Друга глава присвячена методикам досліджень, що були використані в даній роботі, а також обґрунтуванню критерію руйнування КМ в умовах резонансних випробувань.

Комплексу характеристик (модуль Юнга E , декремент коливань δ та границю витривалості σ_{-1}) досліджуваних КМ визначали резонансними методами, що були розроблені для традиційних матеріалів. Застосування резонансних методів для дослідження КМ дозволило використовувати при визначенні всіх характеристик стержневі ґраки сталого поперечного перерізу малих розмірів ($(1...1,5) \times 4 \times 50$ мм) в частотному діапазоні від сотен герц до ста кілогерц. Розміри структурних складових КМ в такому випадку істотно менші за довжину хвилі і застосування рівнянь, одержаних для однорідного тіла при розрахунку модуля Юнга та напружень є правомірним. Під механічними характеристиками розуміли властивості КМ як тіла, однорідного на макрорівні.

З метою дослідження можливостей застосування методів для ви-

вчення різних класів металокмпозитів було збрано такі матеріали:

- практично безпористі порошкові композиції Al-Pb і біметали з покриттям з шк. КМ, що використовуються в підшипниках ковзання автомобільних двигунів;

- композиції Ti/TiAl та Cu/Mo, одержані потаровим конденсауванням пари в вакуумі, що розроблялися в ІЕС ім.С.О.Патона для лопаток турбін авіаційних двигунів;

- високпористі КМ з мідних волокон, що використовуються як демпфуючі та полікапілярні.

Визначення модуля Юнга досліджуваних КМ проводили за результатами вимірів частоти власних подовжніх коливань зразків, їх довжини та густини. Похибка методики не перевищувала 1...2%.

Декремент коливань визначали за шириною резонансної кривої на вібростенді ВЗДС-200. Найбільша відносна похибка визначення амплітуд напружень та декременту коливань не перевищувала 10%.

Випробування на втому проводили на стандартних електродинамічних вібростендах ВЗДС-200, ВЗДС-400 та ВЗДС-1500 при поперечних коливаннях консольно закріпленого зразка за другою метою на частоті близько 2 кГц. Обмежену границю витривалості визначали на базі випробувань 5×10^7 циклів. Похибка визначення амплітуди руйнівних напружень складала не більше 5%.

Достовірність результатів забезпечувалась статистичною обробкою даних, одержаних на 3...15 зразках на одну експериментальну точку.

Для дослідження біметалів розрахована формула була трансформована до вигляду, який дозволив визначати напруження, що виникали в основі та в покритті при змінних навантаженнях.

В процесі випробувань на втому з постійною амплітудою деформації у частини досліджуваних КМ пошкодження накопичувались до повної втрати несучої здатності без розділення зразка на частини. Уповільнений ріст тріщин втомі дозволив контролювати процес руйнування зразків за змінною резонансної частоти їх коливань. Було встановлено, що негалежно від пористості практичній втраті несучої здатності зразків відповідало зменшення їх власної частоти коливань на 8...12%, тому за критерій руйнування досліджуваних КМ було прийняте зменшення власної частоти на 10%.

Для визначення модуля Юнга та границі витривалості КМ в умовах підвищених температур було розроблено пристрій, що дозволив одержати результати при температурах до 1073К. Модуль Юнга при підвищених температурах розраховували за резонансною частотою пер-

шої моди згинних коливань консольно закріпленого зразка з нормуванням до частоти першої моди позовжних коливань при кімнатній температурі.

В третій главі викладено результати дослідження механічних характеристик матеріалів Al-Pb та біметалів з покриттям з цих матеріалів в залежності від концентрації свинцю. Масовий вміст свинцю змінювався від 5 до 25%. Досліджувані матеріали одержували екструзією порошків алюмінію та свинцю зі ступінню деформації 98% при температурі 673К. Біметали отримували сумісною колодкою прокаткою основи (сталь 08) з покриттям.

Було встановлено, що модуль Юнга матеріалів Al-Pb із збільшенням вмісту свинцю зменшується на більшу величину, ніж мало бути згідно з рівнянням адитивності: від 68,9 ГПа (5%Pb) до 67,6 ГПа (15%Pb). Це пояснюється чутливістю резонансної частоти коливань до відсутності хімічного контакту між частинами свинцю та алюмінієвою матрицею, що підтверджується виглядом поверхонь зламів зразків після статичних випробувань на розтяг.

Аналіз поверхонь зламів зразків після високочастотного згинного навантаження показав, що руйнування настає внаслідок втоми, тріщини зароджуються від дефектів. Можливо це обумовлює практично однакову границю витривалості матеріалів в усьому діапазоні зміни вмісту свинцю - ≈ 65 МПа, що є більшим за значення b_{-1} відомих антифрикційних матеріалів. Відношення визначених величин границі витривалості КМ Al-Pb до їх границі міцності при розтязі становили 0,57...0,75.

Встановлено, що при високочастотному циклічному навантаженні руйнування біметалів реалізується як шляхом розтріскування плакуючого шару, так і розшаруванням по поверхні розділу між основою та покриттям. Такі ж механізми спостерігаються при руйнуванні біметалічних елементів в умовах експлуатації, що дозволило зробити висновки про адекватність методу дослідження матеріалу цим умовам. Крім того, якщо розглядати біметал як модель шаруватого композиту, одержані результати вказують на можливість реалізації (при акустичних частотах навантаження) гальмування тріщини втоми за механізмом Кука - Гордона.

Проведені дослідження дозволили встановити, що, неважаючи на деяке зменшення статичної міцності та пластичності, оптимальні експлуатаційні характеристики має матеріал з концентрацією свинцю

25% (мас.), оскільки триботехнічні властивості зі збільшенням вмісту свинцю покращуються, а границя витривалості не змінюється. Подальше збільшення вмісту свинцю неможливе з технологічних причин.

Четверта глава містить результати дослідження модуля Юнга, декременту коливань та циклічної міцності матеріалів Cu/Mo, одержаних конденсацією в вакуумі парових потоків на підложку. Композити являли собою матеріали з шарів пластичної низькомодульної міді, легованої ітрієм, та міцного високомодульного молібдену, що чергувались між собою. Шари обох складових в одному матеріалі за товщиною не змінювалися, але для різних матеріалів змінювалися відповідно: Cu - від 2 до 10 мкм, Mo - від 1 до 4 мкм. Об'ємний вміст молібдену при цьому складав від 13 до 43%. Вивчали залежність згаданого комплексу характеристик від концентрації складових та товщин їх шарів. Дані про механічні властивості композитів при статичному навантаженні одержані В.Осокінін (ІЗЗ ім.Патона НАН України). Було встановлено, що відношення границі витривалості до границі міцності становить 0,26...0,76 для різних матеріалів.

Незважаючи на досить високе розсіювання результатів (рис.1), емпіричний коефіцієнт лінійної кореляції між b_{-1} та вмістом молібдену становить 0,903 і з надійністю 0,99 потрібно відхилити гіпотезу про некорельованість цих величин. Проте аналіз показує залежність значень границі витривалості від товщини шару молібдену: зі збільшенням її від 1 до 4 мкм при товщині шару міді 5 мкм границя витривалості зростає швидше, ніж загалом з ростом вмісту молібдену. Аналіз поверхонь руйнування зразків показав, що руйнування настає від зтоми, тріщина на початковому етапі підростає стрибками, зупиняючись через 2...4 періоди (біля 30 мкм) з утворенням розшарувань в пластичних шарах міді або перед шарами молібдену. Це свідчить про відносно низьку міжшарову міцність композитів системи Cu/Mo. Інтенсивність розшарувань зростає із збільшенням відношення товщин шарів h_{Mo}/h_{Cu} і найбільші розшарування відзначались на зразках матеріалу з $h_{Mo} \approx 4$ мкм, $h_{Cu} \approx 5$ мкм при $V_{Mo} = 39\%$, границя витривалості якого становила 250 МПа, перевищуючи границі витривалості інших досліджуваних матеріалів системи Cu/Mo.

Дослідження непружності КМ показали, що зміна декременту коливань при високих рівнях напружень якісно збігається зі зміною відносного видовження при статичному розтягні, що свідчить про вза-

вміст'ясок деформаційних та демпфуючих властивостей компонентів, тобто процесів мікро- та макропластичної деформації. Високі значення δ , визначені при деформаціях, близьких до руйнівних ($\sim 10^{-3}$), не зумовлені лише процесами руйнування, оскільки значення модуля Юнга, визначені задовж площини шарів при рівнях деформацій $\sim 10^{-6}$ (рис.1) істотно нижче розрахованих за рівнянням адитивності саме у матеріалів з підвищеними значеннями δ . Декремент коливань мікроспорових матеріалів при напруженнях, що дорівнюють границі витривалості δ_{-1} перевищує цю характеристику матеріалів-складових і це можна пояснити впливом границь шарів.

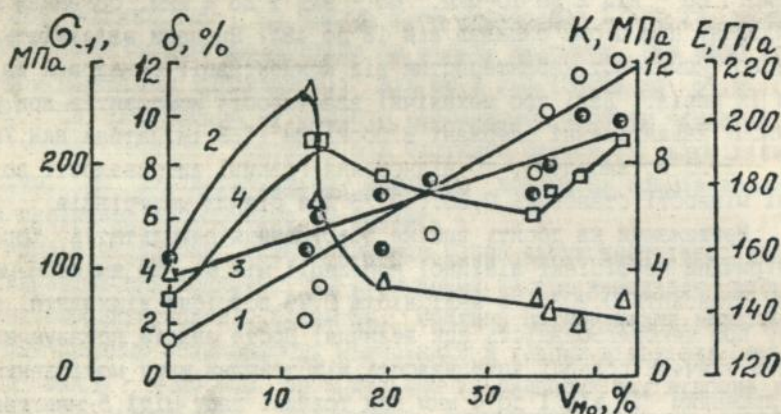


Рис.1. Залежність модуля Юнга (1), декременту коливань (2), границі витривалості (3) та віброщістності $k - (\delta_{-1} \times \delta_{-1})$ (4) КМ Си/Мо від вмісту молібдену.

Встановлено, що добротність (характеристика, зворотно пропорційна декременту коливань: $Q - \pi/\delta$) в залежності від відношення товщин шарів складових змінюється за параболічним законом (рис.2). Це дозволило припустити наявність процесу зміцнення шарів міді під впливом термічних напружень. Припущення potwierджується наявністю великої кількості двійників в зернах шарів цього матеріалу.

Аналіз показав, що зміну непружності композитів системи Си/Мо не можна пояснити тільки кількістю та якістю границь розділу між

шарами, концентрацією фаз, різними значеннями напружень при порівнянні δ_{-1} або різними значеннями циклічної деформації при порівнянні декрементів коливань, визначених при однакових напруженнях. На підставі цього було зроблено висновок про зміну властивостей матеріалів складових КМ Cu/Mo, що відчутно впливає на властивості композитів в цілому.

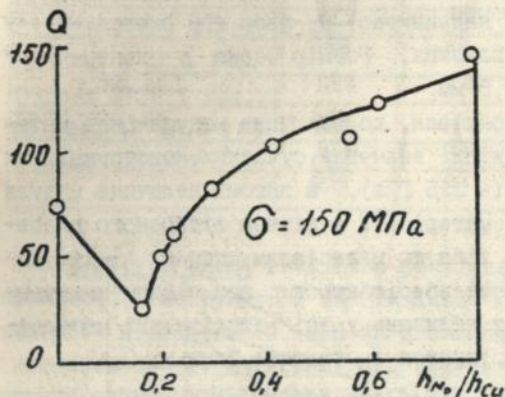


Рис.2. Залежність добротності КМ Cu/Mo від співвідношення товщин шарів складових.

Проведені дослідження дозволили встановити, що матеріали з більшим відношенням h_{Mo}/h_{Cu} мають більшу пружність та циклічну міцність і водночас меншу непружність. Оптимальним за критерієм $k = (\delta_{-1} \times \delta_{-1})$, який використовується для оцінки якості матеріалів, що експлуатуються в умовах циклічних навантажень і називається віброміцністю, є матеріал з об'ємною концентрацією молібдену 13...14%.

У п'ятій главі даються результати визначення комплексу характеристик конденсованих матеріалів Ti/Ti₃Al. Дослідження проводили з метою вивчення впливу термомеханічної обробки конденсату на його модуль Юнга і границю витривалості при температурах до 973К та оперативного визначення технологічного режиму, яким забезпечується кращий комплекс характеристик матеріалу при циклічному деформуванні в умовах підвищених температур.

Матеріал одержували пошаровою конденсацією парів на підложку з температурою 973К до товщин шарів 5 мкм. На відміну від матеріалів такого ж складу, але з більшими товщинами шарів, утворювалась структура, в якій шари частково розпадались і локалізувались в зернах, що мали стовбчату структуру, орієнтовану в напрямку падін-

ня парового потоку. Подальша термомеханічна обробка істотно змінює структуру матеріалу: після прокатки та стабілізуючого низькотемпературного відпалу (973К, 1 год.) стовпчасти зерна деформувались, моносолю в них повністю руйнувались з утворенням сферичних часток α_2 -Ti₃Al діаметром 0,5...1,5 мкм; відпал на протязі 2 годин при температурі 1273К викликав повне розчинення інтерметалідних часток в матриці і виділення надлишкової α_2 -фази при охолодженні у вигляді колоній паралельних пластин. Розмір зерна у поперечному перерізі при цьому досягав 2,5 мм.

Результати досліджень показали, що величина модуля Юнга матеріалу на 15% перевищує відповідні значення сучасних конструкційних матеріалів на основі титану (≈ 115 ГПа), а питома величина модуля є однією з найбільших серед матеріалів з рівнем відносного видовження $\delta^* \approx 10\%$, поступаючись хіба що матеріалам системи Al-Li. Високий рівень значень пружності зберігається і при підвищених температурах (рис.3). Декремент коливань у всіх досліджених матеріалів системи практично не відрізнявся і становив близько 0,1%.

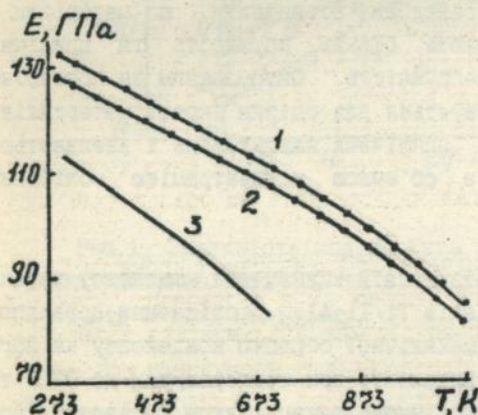


Рис.3. Температурні залежності модуля Юнга композитів системи Ti/Ti₃Al після відпалу 973 К, 1 год. (1), 1273 К, 2 год. (2) та сплаву OT4 (3).

Як при кімнатній, так і при підвищених температурах зразки руйнувались від втоми. Еквідистантність кривих втоми свідчить про однакові механізми руйнування матеріалів при різних температурах, що підтверджується виглядом зламів зразків. Значення границі витривалості матеріалів, відпалених при різних режимах, становили 0,33...0,62 від значень границі міцності на розтяг при кімнатній та 0,73...0,89 при підвищених температурах (таблиця).

Властивості матеріалів системи Ti/Ti₃Al, визначені при різних температурах

Термомеханічна обробка	T _{досл.} К	δ*, %	σ ₂ , МПа	σ ₋₁ , МПа	σ ₋₁ /σ ₂
Відпал 973К, 1 год.	293 973	9 25	500 220	310 160	0,62 0,73
Відпал 973К, 1 год., прокатка 40%	293	8	540	300	0,55
Відпал 1273К, 2 год.	293 973	11 30	750 200	250 142	0,33 0,89

В шостій главі викладено результати дослідження характеристик пружності, непружності та циклічної міцності матеріалів з мідних волокон діаметром 70 мкм та довжиною 3 мм з пористістю 20...70%. Матеріали одержували спіканням волокон в стані вільної насипки, прокатували до потрібної пористості з наступним спіканням в середовищі водню при температурі 1273К або без спікання.

Було встановлено, що величини модуля Юнга прокатаних матеріалів, спечених на протязі двох годин, відповідають значенням E пресованих матеріалів з таких самих волокон, відомим з літератури, і зміна пружності в залежності від пористості добре описується рівнянням Бальшина $E = E_0(1 - \theta)^3$. Значення модуля Юнга неспечених матеріалів набагато менші і майже не зростають із збільшенням пористості.

Модуль Юнга матеріалів, визначений за напрямом прокатки більше за значення E поперек цього напрямку як в неспечених, так і в спечених матеріалах, а оскільки ця різниця збільшується після першої години спікання (рис.4), коли проходить формування контактів, а надалі залишається незмінною, то це можна пояснити саме різною кількістю контактів в обох напрямках.

Порівняння залежностей модуля Юнга та декремента коливань від часу спікання вказує на високу чутливість характеристик непружності до наявності досконалих контактів.

Результати визначення модуля Юнга, декремента коливань та питомого електричного опору модельних зразків з залізного порошка ПЗМ2 (θ = 6%), спечених при різних температурах в середовищі водню (рис.5) та співставлення їх з результатами структурних досліджень, проведених О.Малишечком (ІІМ ім.І.М.Францевича НАН України),

показали, що найбільш чутливим до утворення міжчасткових контактів виявився декремент коливань.

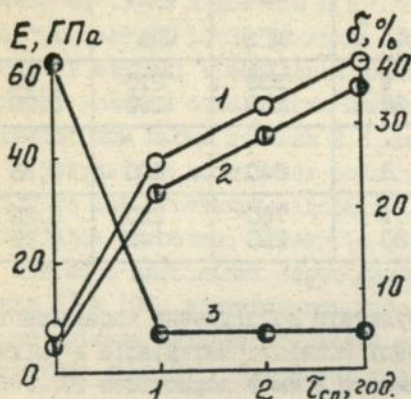


Рис.4. Залежність модуля Юнга відовж (1) і поларек (2) прокатки та декремента коливань (3) матеріалів (θ - 13%) з мідних волокон $\varnothing 70\mu\text{м}$, l_2 -3мм від часу спікання (T-1272K, водень).

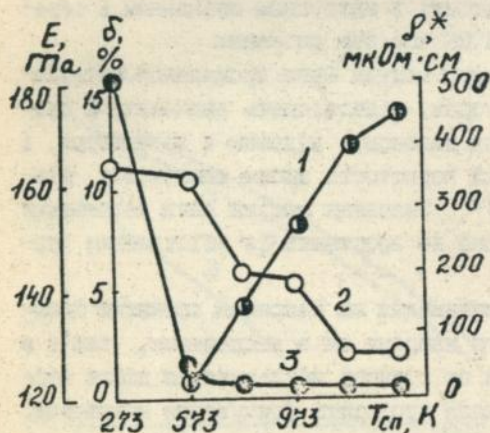


Рис.5. Залежність модуля Юнга (1), декремента коливань (2) та питомого електроопору (3) заліза (θ-6%) з порошка ПЕЗМ2 від температури спікання в середовищі водню.

Випробовування високопористих матеріалів з мідних волокон на високочастотну циклічну міцність показали, що криві втоми мають вигляд, схожий на криві втоми компактної міді. Значення границі витривалості становлять 0,35...0,55 від границі міцності при розтягті. Аналіз зламів дозволив встановити, що руйнування графіків настає внаслідок втоми. Особливість досліджених матеріалів - високі значення граничної циклічної деформації $\epsilon_{-1} = 6_{-1}/E$, що перевищували ϵ_{-1} компактної міді (рис.6).

При дослідженні спеченого матеріалу пористістю 19% було встановлено, що частина зразків руйнувалась не по контактах між волокнами, як це спостерігалось для решти матеріалів, а переважно по тілу волокон. Довговічність таких зразків при таких самих напруженнях виявилась меншою, ніж зразків цього матеріалу, що руйнувались і по контактах. Таким чином, було виявлено, що для волокнистих матеріалів, так само, як і для слоїстих, можлива зміна механізмів руйнування від втоми від переважно під дією нормальних напружень до руйнування під дією дотичних напружень, тобто можливе гальмування тріщини втоми за механізмом Кука - Гордона.

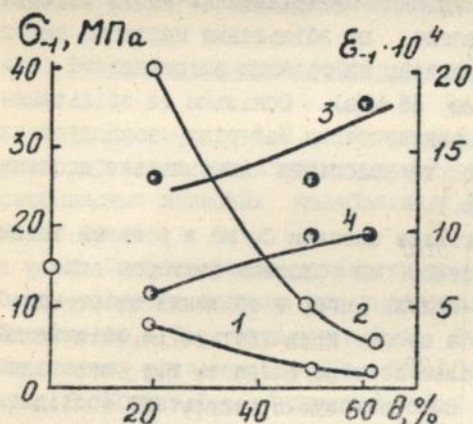


Рис. 6. Залежність границі витривалості (1,2) та граничної циклічної деформації (3,4) матеріалів з мідних волокон від пористості: 1, 3 - після прокатки; 2, 4 - після прокатки і спікання (1273К, 2 години)

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті дослідження різних класів КМ з металевсю матрицею потужними акустичними резонансними методами експериментально встановлена можливість застосування цих методів для оперативного визначення характеристик пружності, непружності та циклічної міцності КМ, незважаючи на певну ідеалізацію розрахункової моделі. Резонансні акустичні методи чутливі до структури КМ, що дозволяє використовувати їх для вивчення процесів формування структури та оперативної оптимізації технології виготовлення матеріалів.

2. Проведено методичні розробки по визначенню механічних властивостей КМ, в тому числі при підвищених температурах випробу-

вань, що дозволило визначити границю витривалості КМ різної структури. Показано, що при резонансних випробуваннях пористих матеріалів, незалежно від їх пористості, за критерій руйнування доцільно брати зменшення власної частоти коливань адекватів на 10%.

2. Вперше одержано комплекс експериментальних даних про модуль Кнґа, декремент коливань та границю витривалості пористих волокнистих матеріалів, порошкових антифрикційних біметалів і мікрошарових матеріалів на основі міді, алюмінію та титану, що дозволило дати обґрунтовані рекомендації по одержанню матеріалів з високими механічними властивостями та їх застосуванню в умовах циклічних навантажень.

4. Для порошкових антифрикційних матеріалів Al-Pb та біметалів сталь 09/(Al-Pb) встановлено, що збільшення масового вмісту свинцю з 5 до 25% істотно не впливає на границю витривалості (значення δ_{-1} становлять близько 65 МПа). Оскільки із збільшенням вмісту свинцю триботехнічні характеристики матеріалу покращуються, встановлено, що оптимальною є технологічно максимально досяжна концентрація свинцю - 25% (мас.).

5. Для мікрошарових матеріалів системи Cu/Mo з різними товщинами шарів складових встановлено, що головним фактором впливу на границю витривалості, як і на модуль Кнґа, є об'ємний вміст молібдену - обидві характеристики в цілому підвищуються із збільшенням V_{Mo} . Непружність матеріалу більш істотно залежить від співвідношення товщин шарів складових. Використовуючи результати дослідження комплексу характеристик, доведено, що зміна властивостей композитів викликана зміною властивостей матеріалу шару міді, очевидно, під впливом термічних напружень, що виникають в процесі виготовлення КМ. Встановлено, що при руйнуванні мікрошарових композитів від втоми в процесі навантаження з акустичними частотами реалізуються розшарування, котрі, ймовірно, спричиняють гальмування тріщини за механізмом Кука-Гордона. Оптимальний комплекс характеристик за критерієм віброміцності ($k - \delta_{-1} \times \delta_{-1}$) має матеріал з об'ємним вмістом молібдену 13...14%.

6. Для матеріалів системи Ti/Ti₃Al, одержаних пошаровою конденсацією складових, показано, що збільшення розмірів елементів структури, при якому істотно збільшується границя міцності матеріалу при розтягті, викликає при кімнатній температурі деяке зменшення границі витривалості при незначному зменшенні модуля Кнґа і практично незмінному декременті коливань. При підвищенні темпера-

тур випробувань відношення b_{-1}/b_B (живучість КМ) зростає.

7. Для матеріалів, виготовлених методами порошкової металургії, встановлено, що декремент коливань, визначений при амплітудах напружень, близьких до границі витривалості істотно зменшується після формування більш досконалих контактів між частками при опіканні і ця характеристика є більш чутливою при виявленні такого роду дефектів, ніж модуль Юнга або питомий електричний опір.

8. Для пористих КМ з мідних волокон вперше встановлена кореляція частки контактної руйнування з довговічністю при випробуваннях на втому. Встановлено, що границя витривалості матеріалів зростає зі зменшенням пористості, а гранична циклічна деформація перевищує цей показник компактної міді.

Основні положення роботи викладено в таких публікаціях:

1. Едовиченко А.В., Луговской Ю.Ф., Назаренко В.А. Усталостное разрушение высокопористых материалов из медного волокна при резонансных изгибных колебаниях// Порошковая металлургия, 1991.- №1.-С.96-99.

2. Сопротивление усталости прокатанных пористых материалов на основе медного волокна при высокочастотном циклическом нагружении/ Едовиченко А.В., Кузьменко В.А., Луговской Ю.Ф., Назаренко В.А.// Порошковая металлургия, 1991.- №10.-С.69-72.

3. Корж А.В., Луговской Ю.Ф., Едовиченко А.В. Статические и динамические свойства квазимикрослойных конденсированных материалов системы Ti-Ti₃Al// Актуальные вопросы материаловедения.- Киев: ИИМ АН УССР, 1991.- С.75-80.

4. Статические и динамические свойства композиционного биметаллического проката/ А.В.Едовиченко, В.С.Воропаев, Г.Я.Калуцкий, Ю.Ф.Луговской// Современные проблемы материаловедения.- Киев: ИИМ АН Украины, 1993.-С.20-24.

5. Вязьмянный Ю.Г., Едовиченко А.В., Кузьменко В.А. Некоторые результаты акустических исследований материалов, изготовляемых методами порошковой металлургии.- Киев:ИИМ НАНУ, 1994.-62с. (Препр. 94-4).

6. Прочность и демпфирующая способность поликапиллярных труб при циклическом деформировании/ Л.И.Тучинский, В.Г.Затовский, В.А.Кузьменко, Ю.Ф.Луговской, А.В.Едовиченко // Тезисы докладов III Всесоюзной конференции "Прочность, жесткость и технологичность

каделій із композиційних матеріалів". - Запоріжжя, 1989. - С. 210.

7. Дисипативні властивості та опір втомі мікро-
східних конденсованих матеріалів молибден - мідь/В.А. Кузьменко,
Ю.Ф. Луговської, Н.И. Гречанік, В.А. Осюк, А.В. Євдовиченко// Тезиси
докладів II Всесоюзного симпозіуму "Синергетика. Нові технології
отримання і властивості металічних матеріалів". - М., 1991. - С. 84.

Євдовиченко А.В. Исследование упругости, неупругости и уста-
лости композиционных материалов с металлической матрицей для рабо-
ты в условиях переменных нагрузок. Диссертация на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности 05.02.01 - ма-
териаловедение в машиностроении (промышленность) в форме рукописи,
Институт проблем материаловедения НАН Украины, Киев, 1994.

Зашитається 8 наукових робіт, які містять результати ек-
спериментальних досліджень акустичними методами еластичності, не-
еластичності та циклічної міцності конденсованих і спечених
композитів на основі міді, алюмінію та титану та закономірності їх
зміни в залежності від структурних і технологічних факторів.
Встановлено можливість застосування акустичних резонансних мето-
дів великої потужності для досліджень і випробувань КМ з металічес-
кої матрицею. На основі отриманого комплексу динамічних харак-
теристик вироблені рекомендації по виготовленню матеріалів з ви-
сокими механічними властивостями в умовах циклічного напружен-
ня.

Vdovichenko A.V. Metal matrix composite materials used under
variable loading elasticity, non-elasticity and fatigue study. The
thesis candidate of technical science under the specialty 05.02.01
- material science for engineering written as manual. Institute for
Problems of Materials Science, Kiev, 1994.

8 scientific studies are defended, they contain results of
experimental studying by acoustic methods elasticity,
non-elasticity and cyclic strength and appropriateness of their
variance of condensed and sintered composites based on copper,
aluminum and titanium depends on structural and technological
factors obtained. Opportunity application high-power acoustic
resonance methods for the metal matrix composite study and test is
established. Recommendation for making of excellent mechanical
properties under the cyclic loading materials, that based on this
complex of dynamic characteristics, are worked out.

Ключові слова: акустичні методи, композити з металеву матрицею,
циклічна міцність, пружність, непружність.

12/11

Підп. до друку 16.10.94. Формат 60x84/16. Папір офс.
Друк. офс. Умов. друк. л. 116. Умов. дубо.-відо. 116
Обл.-вид. л. 16. Тираж 100 прим. Зам. 116

Інститут проблем матеріалознавства
ім. І.М.Францевича АН України
252680 Київ 680, дСП, вул.Кржижанівського,3.
Дільниця Оперативної поліграфії
Інституту проблем матеріалознавства
ім. І.М.Францевича АН України
252680 Київ 680, дСП, вул.Кржижанівського,3.

456090

Ar 31.188
AV 31.188