

УДК 539.1

В. О. Стрижало, Ю. Д. Скрипник

Інститут проблем міцності ім. Г. С. Писаренка Національної академії наук України, Київ

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИКЛІЧНОЇ ВТОМИ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ КОСМІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Описано дві експериментальні установки для дослідження циклічної втоми конструкційних матеріалів в лабораторних умовах. Конструкція першої імітує орбітальну установку і реалізує відповідну методику випробувань в космічних умовах. Для спрощення експериментальних засобів ця методика передбачає випробування лише в жорсткому режимі — при заданій в циклі амплітуді загальної (пружної і пластичної) деформації. Друга установка призначена для всебічного дослідження циклічних властивостей матеріалів з отриманням циклічних діаграм деформування і даних про вплив доступних видів зовнішнього середовища.

Ключові слова: експериментальна установка, циклічна втома, космічні умови, зразок, конструкційний матеріал, діаграма деформування.

Дана робота є розвитком початої раніше роботи із створення методик і комплексу устаткування для механічних випробувань конструкційних матеріалів в умовах навколосемного космічного простору, широкий спектр факторів котрого неможливо відтворити в земних лабораторіях. Дійсно, конструкційні матеріали космічних апаратів під час довгострокової служби зазнають пошкоджувальної дії низки факторів космічного простору (ФКП), таких як вакуум, змінні температури, сонячний вітер, сонячне випромінювання, галактичне космічне випромінювання, випромінювання радіаційного космічного поясу Землі, метеори та космічний пил тощо. Такі пошкодження набувають небезпечного характеру і призводять до зниження надійності конструкції або її руйнування. На додаток, експериментами на орбітальних станціях встановлено помітний вплив орієнтації зразків матеріалів: при направленні їхньої поверхні в напрямку земної поверхні, від неї або в напрямку польоту космічного апарата.

На запитання, як діє космос на матеріали, широко відома відповідь: варіантів стільки, скільки існує матеріалів. Тому експерименти на орбіті є пріоритетними, а особливо активні, в яких дані отримуються під час перебування зразків в космічних умовах.

Для першочергової реалізації обрано [1] випробування на циклічну втому у пружно-пластичній області, тобто на малоциклову втому як найбільш чутливу до слабких і довготривалих впливів навколишнього середовища. Зразки металевих конструкційних матеріалів виконано плоскими у вигляді балок рівного спротиву згину, в яких напруження розтягу і стиску під час навантаження однакові по всій поверхні. Циклічне навантаження відбувається в жорсткому режимі із заданою для кожного зразка величиною переміщення незакріпленого кінця зразка. Реєструється кількість циклів до руйнування, ознакою якого є відсутність спротиву зразка деформуванню, що фіксується спеціальним давачем. За даними випробувань певної кількості зразків оцінюється циклічна довговічність ма-

© В. О. СТРИЖАЛО, Ю. Д. СКРИПНИК, 2015

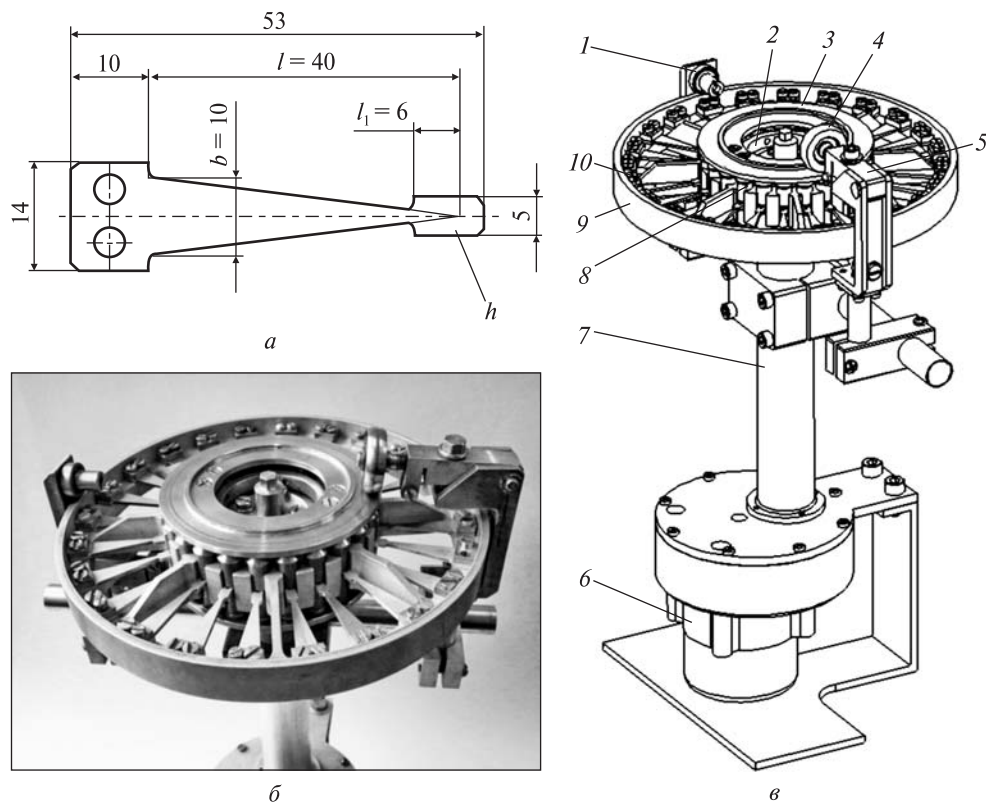


Рис. 1. Навантажувальний пристрій: *а* — зразок для випробувань, *б* — вузол навантаження, *в* — загальний вид (1 — ролик, 2 — шарнір Гука, 3 — шайба, 4 — ролик, 5 — навантажувальний механізм, 6 — електромеханічний привод, 7 — стійка, 8 — повзун, 9 — касета, 10 — зразок)

теріалу і вплив факторів навколишнього середовища.

Така спрощена методика випробувань була обрана через складні умови проведення експериментів на борту космічних апаратів. Для більш обґрунтованої постановки імітаційних і космічних експериментів необхідне попереднє всебічне дослідження циклічних властивостей матеріалів на зразках обраного типу. Відмінність цієї методики від викладеної вище полягає в тому, що у процесі експерименту не тільки задається амплітуда переміщення вільного кінця зразка (консолі), але і фіксуються проміжні переміщення і відповідні їм зусилля завдяки встановленим давачам переміщень і сили, сигнали з яких надходять в електронну систему вимірювань і керування. Тобто отримуються циклічні діаграми деформування, які дозволяють спостерігати за перебігом навантаження, появою ознак руйнування і його

подальшого розвитку, оцінюють величини пружних і пластичних деформацій в циклі, аналізують відмінності діаграм для різних умов експерименту. Електронна система вимірювань і керування дозволяє реалізувати не тільки жорсткий режим, як в описаній вище методиці, але і м'який з фіксацією у певних межах односторонньо накопиченої деформації, а також задавати різноманітні режими навантаження, включаючи витримки часу між циклами, імітуючи аналогічні режими в космічних умовах.

Створено навантажувальний пристрій (рис. 1) для відпрацювання в лабораторних умовах конструктивних рішень орбітальної установки, на якій реалізовано описану вище спрощену методику випробувань на циклічний згин в жорсткому режимі навантаження. Пристрій складається з касети 9 із зразками 10, електромеханічного приводу 6 і двох механізмів 5 передачі зусилля на

зразки. В касеті розміщується 24 зразки, що дозволяє одночасно випробувати кілька матеріалів в різних режимах. Кожен зразок вільним, незакріпленим кінцем взаємодіє з відповідним повзуном 8. Товщина зразка і довжина проточки повзуна визначають деформацію зразка в циклі, як це описано вище. Касету змонтовано на вертикальному приводному валу, який обертається у підшипниках у стійці 7, на якій нерухомо закріплені навантажувальні механізми 5, ролики 4 котрих через шайби 3, змонтованих на шарнірах Гука 2, передають зусилля на повзуни 8 і далі на зразки 10. Кутова швидкість касети складає 2 об/хв, тобто частота навантаження кожного зразка дорівнює 2 цикл/хв.

Перед випробуваннями для кожного зразка в касеті необхідно визначити параметри циклу його деформування при переміщенні сполученого з ним повзуна від одного крайнього положення до другого. Як уже зазначалось, переміщення зразка в точці прикладання сили залежить від товщини зразка і величини проточки повзуна. За допомогою тарувального пристрою (рис. 2) за повний цикл переміщення повзуна отримуємо діаграму в координатах «переміщення — сила», що включає ділянки з навантаженням зразка і ділянки, що відповідають переміщенню повзуна без контакту із зразком (рис. 3, а). Після вилучення ділянок без навантаження діаграма набуває звичного вигляду (рис. 3, б).

Тарувальний пристрій (рис. 2) складається з корпусних деталей 10 і 11, на яких монтується функціональні вузли пристрою. Важіль 5, змонтований в корпусі 11 на підшипниках, має з боку зразків вилокподібну конструкцію з кульовими опорами 15, що контактують з обох боків з відповідним повзуном 13, переміщуючи його в процесі навантаження. З важелем з'єднано пружний елемент 4, який передає зусилля від гвинтового механізму 9 при ручному обертанні шківу 8 і відповідного переміщення гвинта 6. У межах зазорів між зразком і повзуном, а також між повзуном і кульовими опорами важеля, переміщення важеля відбувається без зусилля (окрім невеликого тертя в шарнірах). Це відповідає горизонтальним відрізкам на первинній діаграмі. Коли переміщення вимагає долання опору зразка, відбу-

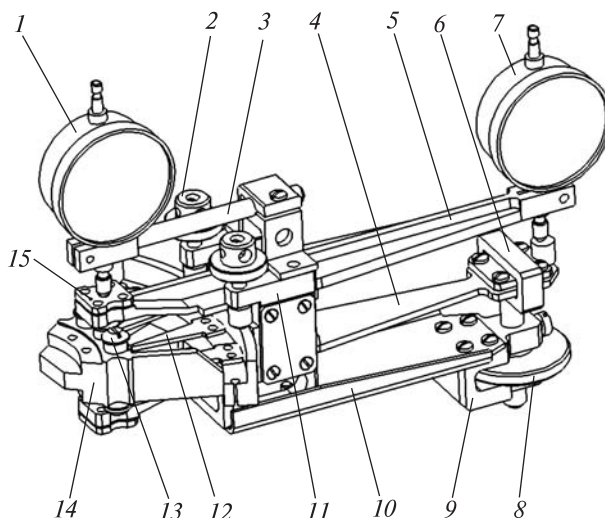


Рис. 2. Тарувальний пристрій (1 — індикатор, 2 — притисний гвинт, 3 — кронштейн, 4 — пружний елемент, 5 — важіль, 6 — гвинт, 7 — індикатор, 8 — шків, 9 — гвинтовий механізм, 10, 11 — корпусні деталі, 12 — зразок, 13 — повзун, 14 — касета, 15 — кульова опора)

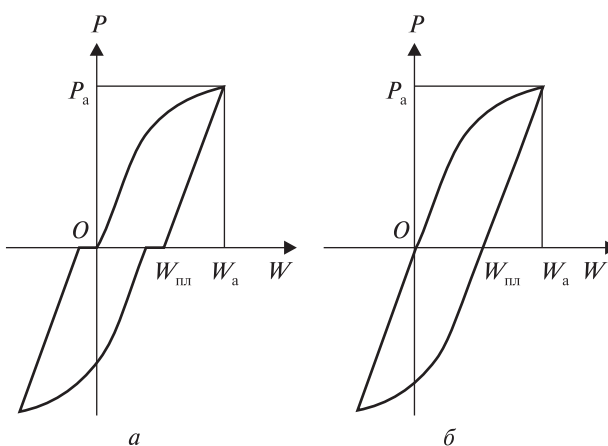


Рис. 3. Діаграми деформування: первинна (а) і оброблена (б) (P — сила, P_a — амплітуда сили на зразку, W — переміщення, W_a — амплітуда переміщення точки прикладання сили, $W_{пл}$ — залишкове переміщення після розвантаження)

вається деформування пружного елемента 4, що фіксує індикатор 7, прокалібрований в одиницях сили. Лінійні переміщення повзуна і зразка фіксує індикатор 1, нерухомо закріплений в кронштейні 3. Тарувальний пристрій закріплюється

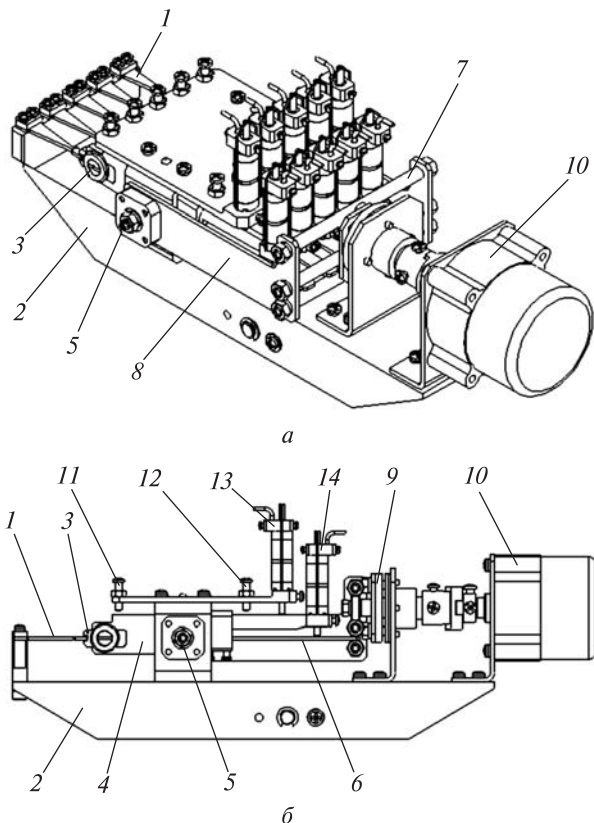


Рис. 4. Прилад для випробувань на циклічну втому: *а* — аксонометрія, *б* — фронтальний вид (1 — зразки, 2 — каркас, 3 — наконечник, 4 — коромисло, 5 — вісь, 6 — пружний елемент, 7 — траверса, 8 — шатун, 9 — ексцентрик, 10 — привод, 11 і 12 — упори, 13 — давачі деформації, 14 — давач сили)

на касеті 14 проти обраного зразка за допомогою притискних гвинтів 2. Є можливість використувувати замість індикаторів давачі перемішень і реєструвати відповідні діаграми деформування на комп'ютері.

Для всебічного дослідження в лабораторних умовах циклічних властивостей матеріалів на зразках обраного типу розроблений спеціальний прилад (рис. 4). Зразки 1 (їх п'ять) нерухомо закріплені на каркасі 2. Вільні кінці зразків із визначеним зазором входять в пази наконечників 3, які є змінними елементами навантажувальних коромисел 4 (їх також п'ять). Коромисла в середній частині шарнірно змонтовані на нерухомій осі 5. До коромисла приєднано пруж-

ний елемент 6, який взаємодіє з двома нижніми траверсами 7 шатуна 8. Дві верхні траверси шатуна взаємодіють з ексцентриком 9, який обертається від приводу 10 і приводить шатун в коливальний рух навколо осі 5. Ці коливання через траверси і пружний елемент 6 передаються коромислам і далі на зразки. Радіус ексцентрика в межах одного експерименту є сталим, тому також сталою є амплітуда коливань шатуна і контактних точок пружних елементів коромисел. Режими навантаження і деформування для кожного зразка налаштовуються індивідуально підбором наконечників 3 з відповідним пазом, а також установкою упорів 11 і 12. Контроль за налаштуванням режимів здійснюється за показами давачів деформації зразків 13 і давачів прикладеної до зразків сили 14. Розроблені давачі належать до типу соленоїдних індуктивних. Після налаштування режимів у процесі експерименту сигнали давачів реєструються в електронній системі вимірювання і керування з використанням комп'ютера.

Спеціальний штатив (не показано) дозволяє встановлювати прилад у положення, зручні для конкретних умов випробувань. Так, положення з орієнтацією зразків вниз можна використати для випробувань у посудинах, наприклад, із зрідженим азотом або електролітом. Орієнтація зразками вгору — у нагрівальних пристроях, під кутом 45° — при випробуваннях із зануренням в агресивне середовище і одночасним спостереженням через мікроскоп, приєднаним до комп'ютера. Горизонтальне положення на штативі може бути використане для тарувальних процедур.

Робота виконувалась в рамках проекту «Розробка комплексу експериментальних засобів для дослідження впливу факторів навколоземного космічного простору на міцність конструкційних матеріалів» Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень на 2012—2016 рр.

1. Стрижало В. А., Скрипник Ю. Д. Методика испытаний конструкционных материалов на циклическую прочность в условиях околоземного космического пространства // Космічна наука і технологія. — 1996. — 2, № 5—6. — С. 38—45.

Стаття надійшла до редакції 19.12.14

В. А. Стрижало, Ю. Д. Скрипник

Институт проблем прочности им. Г. С. Писаренко
Национальной академии наук Украины, Киев

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА
ИССЛЕДОВАНИЯ ЦИКЛИЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Описаны две экспериментальные установки для исследования циклической усталости конструкционных материалов в лабораторных условиях. Конструкция первой имитирует орбитальную установку и реализует соответствующую методику испытаний в космических условиях. Для упрощения методика предусматривает испытания лишь в жестком режиме — при заданной в цикле амплитуде общей (упругой и пластической) деформации. Вторая установка предназначена для всестороннего изучения циклических свойств материалов с получением циклических диаграмм деформирования и данных о влиянии доступных видов внешней среды.

Ключевые слова: экспериментальная установка, циклическая усталость, космические условия, образец, конструкционные материалы, диаграмма деформирования.

V. O. Strizhalo, Yu. D. Skrypnyk

Pisarenko Institute of Problems of Strength
of the National Academy of Science of Ukraine, Kyiv

**EXPERIMENTAL SETUP
FOR THE INVESTIGATION OF CYCLIC
FATIGUE OF STRUCTURAL MATERIALS
FOR SPACE APPLICATIONS**

Two experimental setups for the investigation of cycle fatigue of structural materials under laboratory conditions are described. The first one simulates the orbital complex with appropriate test methods under space conditions. To simplify experimental means the methods provide only strain control mode with the specified predetermined total cycle amplitude (elastic and plastic) of strain. The second setup was designed for a comprehensive study of materials' cyclic properties with obtaining of cyclic strain diagrams along with the data on the influence of available types of environment.

Key words: experimental facility, cyclic fatigue, space conditions, sample, construction materials, stress-strain diagram.