

**УЛЬТРАЗВУКОВИЙ НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ВИРОБІВ
З ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ
РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ**

Анотація. Розглянуто спосіб традиційного ультразвукового контролю виробів ракетно-космічної техніки виготовлених з полімерних композитних матеріалів. Пропонується використовувати замість спеціалізованого обладнання дефектоскоп вітчизняного виробництва з високочастотним роздільно-суміщеним перетворювачем. Даний спосіб скоротить фінансові витрати для закупівлі імпортного спеціалізованого устаткування, та комплектуючих матеріалів. Показана можливість використання даного способу на прикладі порівнянь результатів контролю з використанням імпортного дефектоскопа фірми Olympus EPOCH® 650 з прямим перетворювачем частотою 0,5 МГц і дефектоскопа вітчизняного виробництва УД2-41 з роздільно-суміщеним перетворювачем 5МГц, на контрольному зразку виготовленого з полімерного композитного матеріалу з дефектом в вигляді розшарування. Представлений спосіб дозволяє виявляти ламінарні тріщини в структурах зі склопластику, резервуарах, трубах, корпусах, лопатках турбін і т. ін. при односторонньому доступі поверхні об'єкту контролю

Ключові слова: полімерні композитні матеріали (ПКМ), ультразвуковий контроль, ракетно-космічна техніка (РКТ), неруйнівний контроль (НК).

Вступ. Сучасна ракетно-космічна техніка немислима без композиційних матеріалів (КМ). При розробці засобів дослідження космічного простору потрібні нові матеріали, що витримують навантаження космічних польотів (високі температури і тиск, вібраційні навантаження, глибокий вакуум, радіаційної вплив і т. д.), маючи при цьому низьку масу. Застосування КМ дозволяє знизити вагу виробу на 10...50% і скоротити витрати палива, підвищивши при цьому надійність. Основними напрямками застосування КМ є: силові конструкційні елементи; теплозахисні та теплоізоляційні покриття; ерозійної стійкості елементи конструкцій.

Застосування КМ конструкційного призначення, розробка та відпрацювання нових технологій, дозволяють створювати конкурентоспроможні, ефективні по масі і міцності властивостями виробу, такі як: розміростабільні конструкції космічного призначення з тривалим

терміном експлуатації, каркаси сонячних батарей полегшеної маси до 1 кг/м², теплові екрани космічних апаратів, комплекти конструктивних елементів корпусу об'єктів, конструкції-ферми для космічних апаратів, без фітингові ферми та інші вироби [1]. В силу того, що з освоєнням нових матеріалів, з'являється необхідність технічної діагностики конструкцій космічного призначення. Процес діагностики виробів із композитів додатково ускладнюється тим фактом, що КМ мають широкий спектр можливих дефектів. Існують дефекти, властиві тільки певним композитам, наприклад, неправильний тип волокон, дезорієнтація волокон у просторі, руйнування стільникового заповнювача та інші. А є дефекти, що властиві всім КМ – це сторонні включення, розшарування, пористість, низька міцність зв'язку між наповнювачем і в'язучою речовиною. На рис.1. наведені різновиди композитних матеріалів відповідно до геометрії армуючих елементів (порошки або гранули, волокна, пластини).

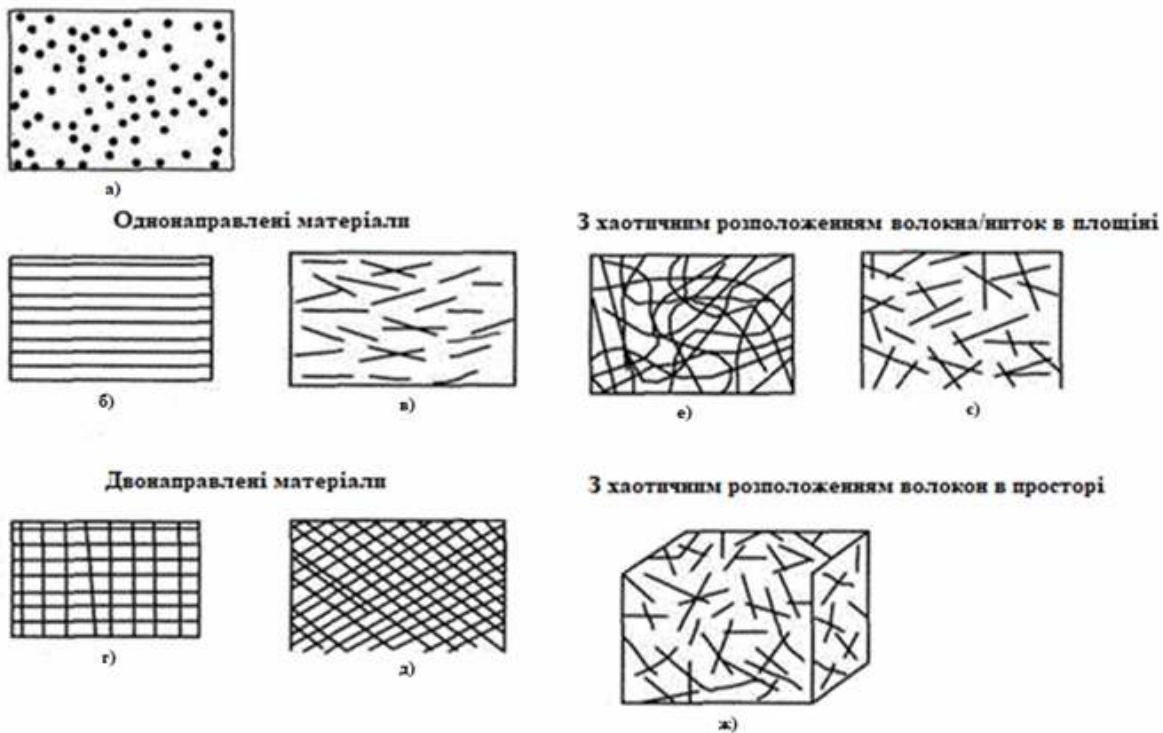


Рисунок 1 - Види виконання композитних матеріалів: а) матеріали, наповнені порошкоподібними частками, б) матеріали, на основі нитки, в) матеріали, на основі волокна, г) тканини, перехресно укладені нитки і армовані ними матеріали, д) плетені матеріали, перехресно укладені нитки і армовані ними матеріали, е) неткані матеріали на основі ниток, є) папери, армовані волокнами плівки, ж) матеріали, армовані волокнами

Відповідно до цієї класифікації КМ діляться на групи з матричною, шаруватою, каркасною і комбінованою структурою. Матричну структуру мають дисперсно-зміцнені і армовані КМ. До матеріалів з шаруватою структурою відносяться композиції, отримані з набору шарів, що чергуються з матеріалів різної природи і складу. До композиційних матеріалів із каркасною структурою відносяться матеріали, отримані методом просочування. Комбіновану структуру мають матеріали, що містять комбінації перших трьох груп [2, 3].

Класифікація ПКМ за призначенням досить умовна, оскільки часто композити є багатофункціональними матеріалами [3]. Проте, серед безлічі ПКМ виділяють матеріали загального конструкційного призначення (несучі конструкції космічних суден, літаків, автомобілів та ін.), жароміцні матеріали (лопатки турбін, камери згоряння), термостійкі матеріали (вироби, що працюють в умовах частих теплових змін), фрикційні матеріали (гальмівні колодки), антифрикційні матеріали (підшипники ковзання), міцні матеріали (броня літаків, танків), теплозахисні матеріали, матеріали зі спеціальними властивостями (магнітними, електричними) і ін. [4,5]. При виробництві композитів найбільш поширеними є дефекти типу порушення цілісності, до яких відносяться: розшарування, непроклеї, тріщини, повітряні або газові раковини, сторонні вclusions, зламані пучки.

На даний час не існує єдиного універсального методу НК КМ, який би дозволяв виявляти всі можливі типи дефектів. При розробці методик і систем діагностики необхідно базуватися на кількох взаємодоповнюючих фізичних методах, які дають можливість визначити найбільшу кількість небезпечних для КМ і виробу дефектів [2].

Аналіз останніх дослідів та публікацій. Згідно із ГОСТ 18353-79 [6] існує 9 видів НК: магнітний, електричний, вихрострумний, радіохвильовий, тепловий, оптичний, радіаційний, акустичний (ультразвуковий) і проникаючими речовинами. Згідно із ДСТУ 2865-94 [7], окрім вказаних вище видів НК розрізняють органолептичний, візуальний, електрогазодинамічний і газорозрядну візуалізацію та фотографування у полях високої напруги. Кожний з них поділяється на методи, кількість яких може бути досить значною (наприклад, в акустичному контролі ГОСТ 23829-85 виділяє 16 основних методів, в більш пізніх джерелах згадані вже до 25 методів) [8]. Проте, як уже відмічалось раніше, для контролю якості конструкцій із КМ можуть застосовуватися лише деякі з цих методів. Коротко розглянемо основні МНК, які можуть застосовуватися для контролю якості виробів з КМ. Візуальні МНК застосовуються не

тільки для армованих пластиків. Використання КМ в шаруватих конструкціях також вимагає застосовування таких МНК. Візуальний огляд безпосередньо після затвердіння ще не охололих стільникових конструкцій дозволяє виявити бульбашки, непроклеї або розшаровані ділянки. Електричними методами НК можна визначати вміст компонентів в гетерогенних системах, вологість, ступінь полімеризації і старіння, поперечні розміри лінійно-протяжних діелектричних виробів, локалізацію провідникових і непровідних включень у структурі шаруватого пакета. Методами теплового контролю можна виявити такі дефекти, як пропуски армуючих ниток в каркасах, порівняно великі сторонні включення. Однак ці методи не дозволяють виявляти дрібні структурні дефекти, так як геометрична роздільна здатність сучасної апаратури складає приблизно 0,5 мм. Найбільш досконалим з усіх радіаційних методів є метод обчислювальної томографії. На базі томографів створюються промислові установки для контролю та документального відображення внутрішньої структури великогабаритних корпусів ракетних двигунів твердого палива з КМ. Радіотехнічні методи (радіохвильовий і радіоспектроскопічний) широко застосовуються для контролю якості виробів з ПКМ. На практиці найбільшого поширення набули надвисокочастотні методи, що застосовують діапазони довжин хвиль від 1 до 100 мм, що відповідає інтервалу частот від 0,3 до 300 ГГц. Переважна область застосування методів і техніки надчастот – це контроль напівфабрикатів, виробів і конструкцій з КМ, в яких поширюються радіохвилі. Акустичні методи (АМ) дозволяють контролювати суцільність КМ, якість зварних і клеєних з'єднань. Серед МНК ПКМ та багат шарових клейових конструкцій АМ за обсягом застосування займають перше місце [8]. Точність вимірювань становить від 3 до 8% від еквівалентної або умовної чутливості, що задається еталонними зразками. АМ дуже чутливі до форми контрольованих об'єктів (до сферичних, конічних) невеликих розмірів. Найбільше застосування при контролі якості виробів з КМ знайшли методи УЗ дефектоскопії, які дозволяють виявити розриви армуючих волокон, бульбашки повітря і скупчення смоли при контролі виробів різної форми. АМ поділяють на дві великі групи: активні, що використовують випромінювання і прийом акустичних хвиль, і пасивні, засновані тільки на прийомі хвиль. У кожній з цих груп можна виділити методи, що досліджують виникнення в об'єкті контролю біжучих і стоячих хвиль.

В даний час в практиці НК ПКМ для виявлення дефектів знайшли застосування практично всі методи і способи, що традиційно застосовуються в умовах

виробництва, випробуванні та експлуатації деталей і агрегатів. Це оптичні, електричні, акустичні, радіаційні, магнітні, теплові, голографічні, мікрорадіохвильові і інші методи контролю [9, 13].

Наприклад для контролю виробів з ПКМ, компанія Olympus [11] пропонує використовувати будь-який дефектоскоп власного виробництва серії EPOCH®, EPOCH® 650 або EPOCH 6LT, разом зі спеціальними перетворювачами. Тип використовуваного перетворювача залежить від геометрії і товщини деталі. Спеціальний перетворювач з лінією затримки M2008 (частотою 0,5 МГц, діам. 25,4 мм) призначений для контролю виробів з товстого склопластику і композиційних матеріалів (товщиною більше 12,5 мм).

На рис. 2 представлений приклад виявлення великих ламінарних тріщин в стінках паливного бака з товстого склопластику (товщиною 25 мм) за допомогою дефектоскопа EPOCH® 650 і перетворювача на 500 КГц. Перетворювач встановлюють на поверхню об'єкту. У бездефектному зразку, ультразвук доходить до нижньої поверхні і генерує луна-сигнал з глибини 25 мм. Зліва на рис. 2 представлено пік, справа – А-скан. При наявності тріщини, ультразвук відбивається від дефекту і створює пік в межах зони екрану, зазначеної червоним стробом, яка являє середину об'єкту контролю. Сильний луна-сигнал в даній зоні вказує на наявність великої несущільності в об'єкті [11].

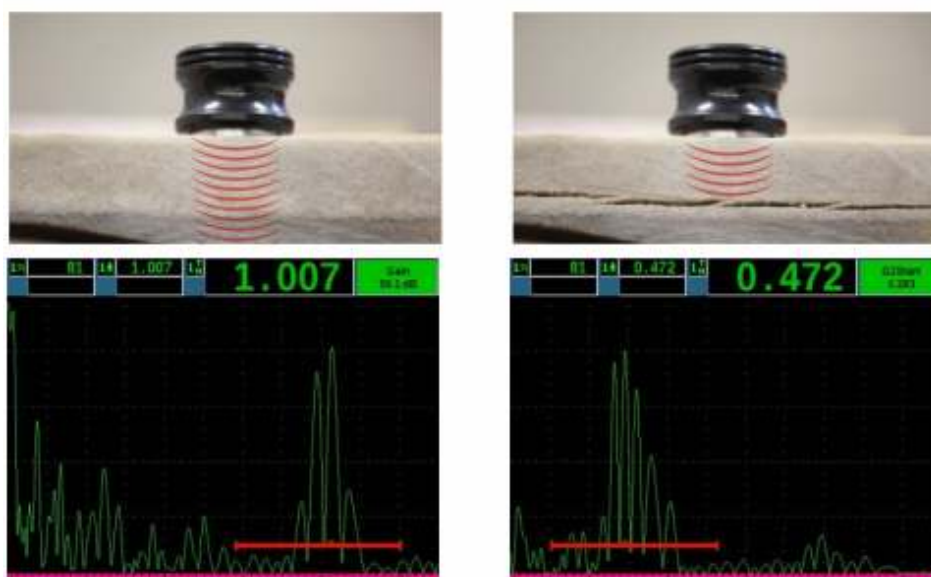


Рисунок 2 - Луна-сигнали дефектоскопа серії EPOCH®

Ціль і матеріали досліджень. Методи неруйнівного контролю ПКМ, що застосовуються можна розділити на кілька груп:

- методи дефектоскопії та товщинометрії, що дозволяють виявити внутрішні макродефектів, такі як: розшарування, тріщини, раковини, сторонні вклучення, викришування по крайках отворів і гнізд, а також відрив поверхневих шарів при механічній обробці деталей з композиційних матеріалів. До цих методів належать ехо-імпульсний, тіньовий, імпедансний, велосиметричний, змушених коливань, вільних коливань, ревербераційний та ін.

- методи дефектоскопії, що дозволяють виявити поверхневі макродефекти деталей з ПКМ: підминання, подряпини, а також внутрішні дефекти, що виходять на поверхню деталі. Поверхневі дефекти деталей з ПКМ виявляються візуально-оптичним методом, а в деяких випадках люмінесцентним методом дефектоскопії.

Нерівності поверхні і глибина поверхневих ушкоджень можуть бути оцінені за допомогою профілометра і профілографу:

- методи, що дозволяють візуалізувати внутрішню структуру матеріалу в досліджуваній зоні і виявити складки, звили, відхилення кута армування, викривлення волокон в площині шарів і інші порушення макроструктури. Виявлення внутрішніх мікродефектів структури ПКМ можливо методом акустичної мікроскопії;

- методи діагностики, що дозволяють визначати фізико-механічні характеристики ПКМ і прогнозувати ресурс роботи деталі або конструкції [6].

Таким чином, представлені основні методи неруйнівного контролю, що дозволяють отримати інформацію про наявність чи відсутність в відповідальних деталях і вузлах, експлуатованих об'єктів, дефектів, таких як тріщини, задираки, локальні вм'ятини, обірвані нитки, складки і смуги, а також дефекти внутрішньої структури.

Щодо виявлення дефектів внутрішньої структури, найбільш результативним є саме ультразвукова дефектоскопія, яка набула широкого поширення у виробництві металоконструкцій. Однак, застосування композитних матеріалів надають виклик традиційним способам ультразвукової дефектоскопії.

Ультразвукова дефектоскопія заснована на техніці порівняння луна-сигналів які проходять крізь контрольований об'єкт з луна-сигналами у тестовому зразку [7]. Оскільки звукові хвилі відбиваються від пустот і тріщин, будь-які зміни в структурі луна-сигналу вказують на зміни у внутрішній структурі матеріалу. При контролі паливного баку ПКМ РКТ, звертається увага на наявність луна-сигналів в зазначеному «стробі» або вікні, що представляє внутрішню частину досліджуваного об'єкту. Неоднорідна структура ПКМ часто

генерує шум, обумовлений розсіюванням звукових хвиль, навіть в твердих матеріалах. Однак, тріщини, площа яких наближається до діаметра променю ультразвуку, відображають сильні локалізовані сигнали і швидко детектуються [8].

На рис.3 наведено приклад виявлення великих ламінарних тріщин в тестовому зразку виготовленого зі стінки паливного бака з тонкого вуглепластику (товщиною 3,6 мм) за допомогою портативного ручного дефектоскопа УД2-41 і прямого роздільно-суміщеного перетворювача на 5 МГц. Перетворювач встановлений на поверхні об'єкту. У бездефектній зоні, ультразвук доходить до нижньої поверхні і генерує луна-сигнал з глибини 3,6 мм. (Рис.3 а). При наявності тріщини, ультразвук відбивається від дефекту і створює пік в межах зони екрану, зазначеної червоним стробом, яка представляє середину об'єкта контролю (Рис.3 б). Сильний луна-сигнал ($H=2,1m$) в даній зоні вказує на наявність великої несучільності в деталі. Контроль займає всього кілька секунд в кожній точці виміру.

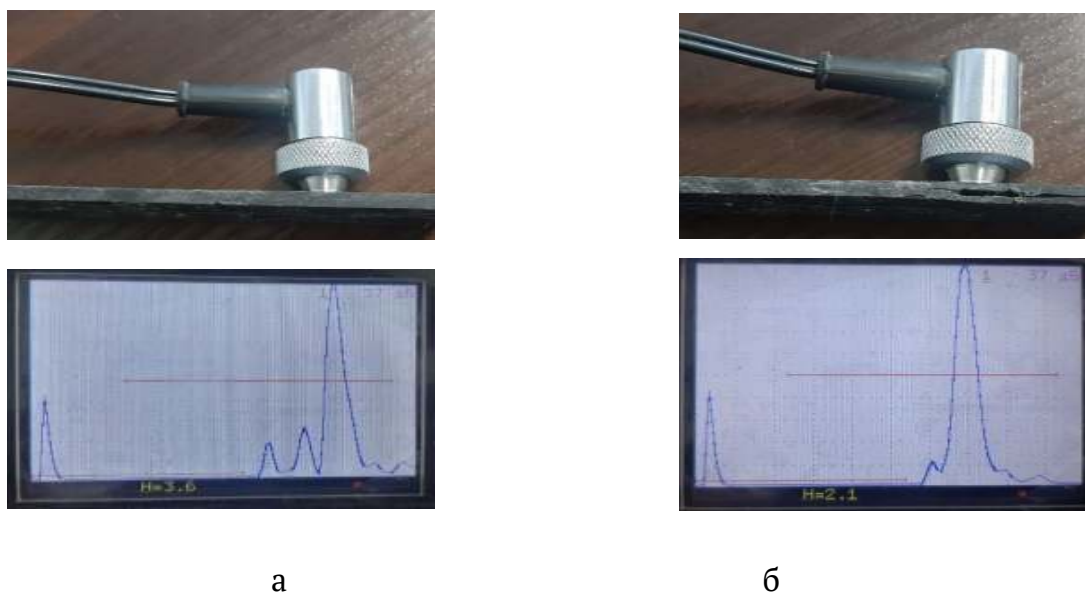


Рисунок 3 - Приклад дефектної (а) та бездефектної частини (б)

Але виявлення дефектів типу пор або мікротріщин в паливних баках ПКМ [9] в процесі контролю неможливо без удосконалення методів і засобів ультразвукового НК через фактори які впливають на проведення контролю:

Шорсткість поверхні контролю. Зі збільшенням шорсткості поверхні, підвищується рівень шумів при переміщенні перетворювача по поверхні об'єкта контролю. Для отримання більшого відношення сигнал / шум, при

контролі виробів з підвищеною шорсткістю необхідно знижувати швидкість сканування, і відповідно продуктивність [9].

Кривизна поверхні. Збільшення кривизни поверхні контрольованих об'єктів знижує чутливість ультразвукового методу. Це обумовлено тим, що з ростом кривизни поверхні зростає жорсткість а з нею і модуль акустичної властивості виробу в дефектних і доброякісних зонах, збільшуються власні частоти відокремлених дефектами зон виробів [9].

Малі габарити і маса контрольованих об'єктів. Розглянутий метод застосований в основному до виробів, довжина і ширина яких вимірюються не менше ніж десятками міліметрів. Зі зменшенням габаритів і маси контрольованих об'єктів змінюються умови збудження ультразвукових коливань [9].

Розкриття дефекту. Високочастотні УЗ перетворювачі дозволяють виявити дефекти типу порушення цілісності (розшарування, непроклеї та ін.), що мають заповнений газом зазор. Дефекти без такого зазору зазвичай не виявляються, так як механічний зв'язок відокремленої дефектом зони з іншою частиною конструкції не зменшується і, отже, проходження УЗ хвиль і швидкість поширення істотно не змінюються [9].

Неконтрольовані зони: Дефект розташований на глибині, що перевищує граничну глибину залягання для даного методу і матеріалу [9].

У місцях, де неможливий доступ перетворювача до поверхні виробу внаслідок складної форми (переходи, кути, таври та ін.).

Для деталей РКТ з металевих матеріалів база даних дефектів, виявлених за допомогою неруйнівного контролю, представлена повністю, і її можна застосувати для прогнозування їх технічного стану. То становище з деталями РКТ з ПКМ значно складніше.

ПКМ зазвичай має тенденцію до розтріскування паралельно поверхні, під впливом тиску або внаслідок виробничих дефектів. Ці приховані внутрішні дефекти суттєво впливають на міцність конструкції і зазвичай виявляються в ході УЗК [9].

В даний час існує ряд імпорتنних автоматизованих установок для проведення ультразвукового контролю конструкцій з полімерних композиційних матеріалів, таких як обладнання фірми «Теснатом» (Іспанія), що використовує тіньовий та луна-метод з введенням ультразвукової хвилі через шар контактної рідини [5].

Федеральна державна автономна установа «Науково-навчальний центр зварювання та контролю» при «Московському державному технічному

університету ім. Н. Е. Баумана» веде розробку високопродуктивного роботизованого пристрою (сканер-дефектоскопа) для автоматизованого контролю, як при виробництві, так і при експлуатації деталей і агрегатів з ПКМ. Сканер-дефектоскоп здатний проводити ультразвуковий контроль деталей і агрегатів з монолітних панелей ПКМ товщиною до 24 мм, з чутливістю близько 8 мм діаметра еквівалентного дискового відбивача; деталей і агрегатів зі стільникових панелей товщиною до 80 мм з чутливістю 14 мм, а також конструкцій замкнутого контуру з товщиною стінки від 2 мм і можливістю ідентифікації дефектів діаметром близько 8 мм [5].

Результати досліджень. Незважаючи на високі показники достовірності і якості контролю, ручні дефектоскопи та автоматизовані прилади мають ряд обмежень:

- проблемне застосування стаціонарних установок при проведенні експлуатаційного контролю;
- недостатня інформативність результатів контролю з точки зору оцінки потенційної небезпеки виявлених дефектів (при проведенні експлуатаційного контролю);
- застосовується, як правило, спосіб введення пружних коливань з використанням контактних рідин.

Проблеми автоматизації ультразвукового методу НК, що володіє достоїнствами перед іншими методами при НК ПКМ, деталей РКТ недостатньо вивчені, що ускладнює застосування автоматизованого УЗК ПКМ в експлуатаційних умовах [2].

Через свою ламінарну структуру, склопластик має тенденцію до розтріскування паралельно поверхні, під впливом стресових впливів або внаслідок виробничих дефектів. Ці приховані внутрішні дефекти суттєво впливають на міцність конструкції.

Висновки. На відміну від застосування існуючого способу контролю представленого компанією Olympus, використання вітчизняних дефектоскопів значно здешевить затрати на обладнання, обслуговування та придбання комплектуючих матеріалів і перетворювачів. Використання прямого роздільно-суміщеного перетворювача на 5 МГц, дозволить відмовитись від спеціальних перетворювачей, які розроблені під конкретний тип дефектоскопу.

Таким чином, представлений спосіб із застосуванням будь-якого дефектоскопу вітчизняного виробника, разом з роздільно-суміщеним перетворювачем на 5 МГц, дозволяє проводити традиційний ручний ультразвуковий контроль

тонкостінних виробів з ПКМ, задля виявлення ламінарних тріщин в структурах зі склопластику, резервуарах, трубах, корпусах, лопатках турбін і т. ін. при односторонньому доступі поверхні об'єкту контролю. При автоматизації даного способу, значно пришвидшиться час контролю.

Рекомендації. На відміну від застосування існуючого способу контролю представленого компанією Olympus, представлений спосіб із застосуванням будь-якого дефектоскопу вітчизняного виробника, разом з роздільно-суміщеним перетворювачем на 5 МГц, дозволяє проводити традиційний ручний ультразвуковий контроль тонкостінних виробів з ПКМ, задля виявлення ламінарних тріщин в структурах зі склопластику, резервуарах, трубах, корпусах, лопатках турбін і т. ін. при односторонньому доступі поверхні об'єкту контролю, та значно здешевить проведення контролю.

ЛИТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Потапов О.М. Композиты: перспективы использования в космической и ракетной технике // О.М. Потапов / Косм. наука і технології. 2015, 21;(5). С. 69-74.
2. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов: ГОСТ 18353-79. – [Чинний від 1980-07-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 12 с.
3. Мартыненко Е.В. Неразрушающий контроль авиационной техники. – Москва – 2018 - с.5-27.
4. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 14, №4(2), - 2012 - с.744.
5. Карташова Е.Д. Технологические дефекты полимерных слоистых композиционных материалов. - Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2017.
6. Контроль неруйнівний. Терміни та визначення: ДСТУ 2865-94. – [Чинний від 1996—01—01]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 52 с. – (Національний стандарт України).
7. Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения: ГОСТ 23829-85 – [Чинний від 1987-01- 01]. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 16 с.
8. Ермолов И.Н., Ланге Ю.В. Неразрушающий контроль. Справочник в 7 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т.3: Ультразвуковой контроль. – М.: Машиностроение, 2004. С. 29-140.
9. Актуальные проблемы авиации и космонавтики – 2015. Том 2 с.78-79.
10. Алешин Н. П., Григорьев М. В., Щипаков Н. А. Инженерный вестник Современное оборудование и технологии неразрушающего контроля ПКМ - 2015 - с.536

11. Электронный ресурс. Режим доступа:
<https://www.olympus-ims.com/ru/laminar-cracking-in-fiberglass-1/>
12. Jess M. Waller and Regor L. Saulsbury NASA-JSC White Sands Test Facility «Development of Standards for Nondestructive Evaluation of COPVs Used in Aerospace Applications» S.2 - 2012
13. Троицкий В.А., Карманов М.Н., Троицкая Н.В. «Неразрушающий контроль качества композиционных материалов» - 2014.
14. Новости мира композитов и композитных структур. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://fea.ru/news/5900>
15. Препреги. Электронный ресурс. Режим доступа:
<https://ru.wikipedia.org/wiki/Препреги>
16. Бондалетова Л.И., Бондалетов В.Г. Полимерные композиционные материалы: Издательство Томского политехнического университета. –2013, с.10-11
17. Андреев И.Д., Лобанова И.С. Секция «Перспективные материалы и технологии»: Методы неразрушающего контроля изделий из полимерно композиционных материалов. – Томск, 2016

REFERENCES

1. Potapov O.M. Kompozity: perspektivy ispol'zovaniya v kosmicheskoy i raketnoj tekhnike // O.M. Potapov / Kosm. nauka i tekhnologii. 2015, 21;(5). S. 69-74
2. Kontrol' nerazrushayushchij. Klassifikaciya vidov i metodov: GOST 18353-79. – [CHinnij vid 1980-07-01]. – М.: Izd-vo standartov, 1994. – 12 s.
3. Martynenko E.V. Nerazrushayushchij kontrol' aviacionnoj tekhniki. – Moskva – 2018 - s.5-27
4. Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk, t. 14, №4(2), - 2012 - s.744
5. Kartashova E. D. Tekhnologicheskie defekty polimernyh sloistyh kompozicionnyh materialov. - Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Tekhnicheskie nauki. – 2017.
6. Kontrol' nerujnivnij. Termini ta viznachennya: DSTU 2865-94. – [CHinnij vid 1996—01—01]. – К.: Derzhstandart Ukraïni, 1995. – 52 s. – (Nacional'nij standart Ukraïni).
7. Kontrol' nerazrushayushchij akusticheskij. Termini i opredeleniya: GOST 23829-85 – [CHinnij vid 1987-01- 01]. – М.: Izd-vo standartov, 1986. – 16 s.
8. Ermolov I.N., Lange YU.V. Nerazrushayushchij kontrol'. Spravochnik v 7 t. / Pod obshch. red. V.V. Klyueva. T. 3: Ul'trazvukovoj kontrol'. – М.: Mashinostroenie, 2004. S. 29-140.

9. Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavtiki – 2015. Tom 2 s.78-79.
10. Aleshin N.P., Grigor'ev M.V., SHCHipakov N.A. Inzhenernyj vestnik Sovremennoe oborudovanie i tekhnologii nerazrushayushchego kontrolya PKM - 2015 - s.536.
11. laminar-cracking-in-fiberglass-1. Elektronnyj resurs. Rezhim dostupa: <https://www.olympus-ims.com/ru/laminar-cracking-in-fiberglass-1/>
12. Jess M. Waller and Regor L. Saulsberry NASA-JSC White Sands Test Facility «Development of Standards for Nondestructive Evaluation of COPVs Used in Aerospace Applications» S.2 – 2012.
13. Troickij V.A., Karmanov M. N., Troickaya N.V. «Nerazrushayushchij kontrol' kachestva kompozicionnyh materialov» - 2014
14. Novosti mira kompozitov i kompozitnih struktur. Elektronnyj resurs. Rezhim dostupa: <https://fea.ru/news/5900>
15. Prepregi. Elektronnyj resurs. Rezhim dostupa: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Prepregi>
16. L.I. Bondaletova, V.G. Bondaletov. Polimernye kompozicionnye materialy - Izdatel'stvo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – 2013 – s.10-11.
17. I. D. Andreev, I. S. Lobanova Sekciya «Perspektivnye materialy i tekhnologii» - Metody nerazrushayushchego kontrolya izdelij iz polimerno kompozicionnyh materialov – Tomsk – 2016.

Received 18.03.2021.

Accepted 25.03.2021.

Ультразвуковий неруйнівний контроль якості виробів з полімерних композитних матеріалів ракетно-космічної техніки

Розвиток сучасної ракетно-космічної техніки (РКТ) характеризується постійним вдосконаленням: збільшенням швидкості, дальності і висоти польоту. Підвищення цих характеристик, шляхом модернізації, призвело до помітного ускладнення конструкції РКТ та її устаткування. До найбільш перспективних матеріалів для виготовлення конструкцій РКТ частіше використовують полімерні композиційні матеріали (ПКМ), які все частіше застосовують в сучасному машинобудуванні РКТ, особливо в тих випадках, коли жоден інший матеріал не відповідає новим вимогам. Контроль якості виробів РКТ залежить від визначення стану матеріалів, в цих об'єктах, як при виробництві, так і в умовах експлуатації, який необхідно проводити як в процесі виробництва (при відхиленні виробничих процесів можуть утворюватися різні види неоднорідності структури: пористість, сторонні включення, розшарування і тріщини), так і в процесі експлуатації. У полімерних композитних матеріалах РКТ, а саме для виявлення дефектів типу розшарування та тріщин використовують ультразвуковий неруйнівний контроль. Проведено аналіз щодо використання традиційного ультразвукового неруйнівного контролю за

допомогою портативного ультразвукового дефектоскопу з використанням високочастотних перетворювачів. Визначено, що для виявлення поздовжніх тріщин або розшарувань достатньо використовувати портативні ультразвукові дефектоскопи, але для більш надійного виявлення та реєстрації дефектів, повноти контролю слід використовувати автоматизовані системи ультразвукового контролю, що мають більшу чутливість та швидкість сканування, крім того дозволяють визначати розмір, площу та орієнтацію дефектних зон з можливістю побудови якісного зображення дефектної зони для подальшої оцінки працездатності всієї конструкції з ПКМ.

Ultrasonic non-destructive quality control of products made of polymeric composite materials rocket and space equipment

The development of modern rocket and space technology (RST) is characterized by constant improvement: increasing speed, range and altitude. Improving these characteristics, through modernization, has led to a significant complication of the design of RST and its equipment. Among the most promising materials for the manufacture of RST structures are more often used polymer composite materials (PCM), which are increasingly used in modern RST engineering, especially in cases where no other material meets the new requirements. Quality control of RST products depends on determining the condition of materials in these facilities, both in production and in operating conditions, which must be carried out both in the production process (with the deviation of production processes may form different types of structure heterogeneity: porosity, foreign inclusions, stratification and cracks) and during operation. In polymer composite materials RST, namely to detect defects such as delamination and cracks using ultrasonic non-destructive testing. An analysis of the use of traditional ultrasonic non-destructive testing using a portable ultrasonic flaw detector using high-frequency transducers. It has been determined that it is sufficient to use portable ultrasonic flaw detectors to detect longitudinal cracks or stratifications, but for more reliable detection and detection of defects, completeness of control should use automated ultrasonic control systems that have greater sensitivity and scanning speed. defective zones with the possibility of constructing a qualitative image of the defective zone for further assessment of the performance of the entire structure with PCM.

Клименко Світлана Володимирівна – к.т.н., доцент, доцент кафедри радіоелектронної автоматики фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, Україна.

Кисельов Павло Геннадійович – аспірант кафедри радіоелектронної автоматики фізико-технічного факультету Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара, Україна.

Кулик Олексій Володимирович – к.т.н., доцент, доцент кафедри технології виробництва фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, Україна.

Клименко Светлана Владимировна – к.т.н., доцент, доцент кафедры радиоэлектронной автоматики физико-технического факультета Днепропетровского национального университета имени Олеса Гончара, Украина.

Киселев Павел Геннадиевич - аспирант кафедры радиоэлектронной автоматики физико-технического факультета Днепропетровского национального университета имени Олеса Гончара, Украина.

Кулик Алексей Владимирович – к.т.н., доцент, доцент кафедры технологии производства физико-технического факультета Днепропетровского национального университета имени Олеса Гончара, Украина.

Klymenko Svitlana – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor department of radioelectronics automated, faculty of physics and technology, Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine.

Kiselyov Pavlo – graduate student of Department of radioelectronics automated, Faculty of Physics and Technology, Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine.

Kulyk Oleksii – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor department of production technology, faculty of physics and technology, Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine.