

JUOSTINIŲ KOMPOZITINIŲ AVIAKONSTRUKCIJŲ VIENTISUMO PARAMETRŲ
TYRIMAS AKUSTINIAIS METODAIS

Timofej Kitov

VGTU Aviacinės mechanikos katedra

El.p. Timofej.Kitov@gmail.com

Santrauka. Straipsnyje aprašomas juostinių kompozitinių medžiagų taikymas aviacijoje bei defektų juose atsiradimo pobūdis. Taip pat – kompozitinių medžiagų vientisumo tyrimai taikant siuntimo–priėmimo (Pitch-Catch), impedansinį bei rezonansinį akustinį metodus. Apartas naudojamų metodų efektyvumas, įvairių defektų klasifikavimas, pavaizdavimas ir jų atpažinimas.

Reikšminiai žodžiai: juostinės kompozitinės medžiagos, vientisumo tyrimai, impedansinis akustinis metodas, rezonansinis akustinis metodas, defektų klasifikavimas.

1. Įvadas

Šiuolaikinėje aviacijoje plačiai yra naudojamos kompozitinės medžiagos dėl jų specifinių savybių, kurios leidžia projektuoti tvirtesnes, lengvesnes, jėgoms atsparesnes konstrukcijas.

Tokios kompozitų savybės turi įtakos bendrajam gaminių orlaivių patikimumui ir efektingumui (Bogušienė, Bendorienė 2008). Pavyzdžiui, orlaivių gamintojas gigantas „Boeing“ gamina modeli B787, kurio 50% masės sudaro kompozitinės medžiagos.

Kompozitai, kaip ir visos kitos medžiagos, turi trūkumų; dažniausiai defektai atsiranda gamybos proceso metu, taip pat eksploatacijoje metu dažniausiai pasitaikantis defektų atsiradimo šaltinis yra smūgio sukeltos medžiagos deformacijos, kurios gali sumažinti konstrukcijos stiprumą apie 50% nuo pradinės vertės (Polimerinės...2013a). Tokie medžiagos defektai dažniausiai negali būti atpažinti vizualiai, tad laikui bėgant konstrukcija tampa silpnėsi ir kai defektų skaičius pasiekia kritinę ribą, konstrukcija lūžta nuo apkrovos (Polimerinės...2013b). Siekiant išvengti konstrukcijų iširimui turi būti atliekami pastovūs patikrinimai, naudojant specialią neardomosios kontrolės (angl. – *Non-Destructive Testing*; toliau – NDT) technologiją (Smirnov 1971).

Neardomosios kontrolės metodas yra vienas ekonomiškiausių tyrimo metodų, nes tyrimas gali būti atliktas nenuimant tiriamos konstrukcijos arba detalės nuo orlaivio, o tai sutaupo daug laiko ir žmonių darbo, kuris yra labai brangus (Sajauskas 2000). Vienas paprasčiausių ir mažiausiai laiko užimantis akustinės NDT metodas yra impulsinis echo metodas, naudojamas paviršiniams defektams tirti.

Darbe nagrinėjami juostinių aviakonstrukcijų NDT akustiniai metodai ir defektų atpažinimo technika. Aptiriamos kompozitinių medžiagų charakteristikos ir ypatumai, jų pritaikymo aviacijos pramonėje pavyzdžiai. Apžvelgiamos ultragarsinės NDT bendrieji principai ir galimybės, pritaikant juos kompozitinių medžiagų ir juostinių aviakonstrukcijų tyrimui (Beda 1978).

Tyrimo tikslas – sudaryti ir išnagrinėti greičio pokyčių analizatoriaus (defektoskopo) struktūrinę schemą ir ištirti jo veikimą. Ištirti ir palyginti skirtingo storio kompoziti-

nėse medžiagose susidariusius defektus naudojant impulsinį echo metodą.

2. Kompozitinių medžiagų defektai ir jų atsiradimo priežastys

Didelės orlaivių apkrovos, daugelio mazgų darbas agresyvioje aplinkoje bei ilgalaikė eksploatacija mažina medžiagų ir atskirų mazgų bei agregatų darbingumą. Tai sudaro prielaidas atsirasti defektams ir prasidėti irimui. Dalis defektų atsiranda ir gamybos metu. Taigi neardomosios kontrolės metu nustatytus detalių ir mazgų defektus galima suskirstyti į gamybinius technologinius ir eksploatacinius.

Lentelė. Kompozitinių medžiagų defektai

Table. Composite materials defects

Defektas	Paaškinimas
Sluoksnių separacija	Atsiskyrimo plotas tarp dviejų kompozito sluoksnių
Sujungimo nesukibimas	Plotas, kur jungiamos sluoksnių vietos nesukibo
Sluoksnių atsiskyrimas	Plotas su atsiskyrusiomis sluoksnių vietomis
Akytumas	Kietos medžiagos tūryje susidariusių oro ar kitokių dujų ertmės
Šerdies susispaudimas	Šerdies pažeidimas, susidaręs dėl smūgio ar pastovaus slėgio poveikio
Pašalinis objektas	Gamybos metu į kompozitą patekusios pašalinės medžiagos

3. Tyrimo metodika

Ultragarasas – tai elastinės bangos, kurių dažnis viršija žmogaus girdos slenkščio viršutinę ribą (15-20 kHz). Ultragarso dažnio viršutinę ribą lemia medžiagos sandara: dujų elastinės bangos yra ilgesnės už molekulių laisvojo kelio ilgį, o skysčių ir kietųjų kūnų – už nuotolį tarp atomų. Ultragarso dažnių diapazonas skirstomas į tris sritis žemo, vidutinio, aukšto dažnio ultragarso. Dujose ir skysčiuose gali sklirti tik išilginės, kietuosiuose kūnuose – išilginės ir skersinės elastinės bangos. Jos sklinda kryptingai, nes dažniausiai, palyginti su ultragarso šaltinio

skersmeniu, yra trumpos. Ultragarso sklaidimo kryptis tiriama geometrinės akustikos metodais. Ultragarsas nuo didelių aplinkos nevienalytiškumų atspindi ir lūžta. Ultragarsą galima fokusuoti akustiniais lęšiais ir reflektoriais. Jo sklaidimo greitis priklauso nuo medžiagos tankumo ir tankio; kai kuriose medžiagose jis priklauso ir nuo bangų dažnio – pasireiškia ultragarso greičio dispersija. Ultragarsas slopsta daugiau už žemesnio dažnio bangas (Domarkas, Pileckas 1988).

Ultragarsą skleidžia gamtiniai triukšmo šaltiniai (lietus, griautinis ir pan.), gyvūnai (šikšnosparniai, delfinai, kai kurių rūšių banginiai). Jį sužadina mechaniniai ultragarso generatoriai (švilpukai, sirena, hidrodinaminiai vibratoriai), kurie mechaninę skysčio ar dujų energiją paverčia ultragarso energija.

Ultragarso naudojimo sritys: medicina (fizioterapija, ultragarsinė diagnostika, chirurgija, medicininių aerozolių gamyba, medicininių instrumentų ir vaistinių medžiagų sterilizavimas), technika (detalių ultragarsinis valymas, ultragarsinis apdirbimas, ultragarsinis suvirinimas, aliuminio dirbinių litavimas, šilumos ir masės mainų bei elektrocheminių procesų spartinimas, dūmų ir aerozolių nusodinimas). Ultragarsu naudojama kietojo kūno fizikoje, hidrolokacijoje, defektoskopijoje, mikroskopijoje, kasyboje.

Ultragarso technika. Skiriami kontrolės ir matavimo ultragarsiniai įrenginiai ir technologiniai ultragarsiniai įrenginiai. Technologinio ultragarsinio įrenginio pagrindinė dalis yra ultragarso šaltinis. Pramonėje vartojami šie technologiniai ultragarsiniai įrenginiai: plovimo ir galvaninės vonios; gręžimo įrenginiai, graviravimo ir suvirinimo staklės; emulgatoriai; dispergatoriai; lituokliai; dulkių, suodžių, aerozolių ir suspensijų filtrai; kristalizatoriai; medicinoje – fizioterapijos aparatai; chirurginiai prietaisai; ultragarsiniai vibraciniai mikromanipuliatoriai; inhaliatoriai; chirurginių instrumentų, mėgintuvėlių, pipetų plovimo vonios. Kauno politechnikos institute kuriami: ultragarsiniai interferometrai; nuotolio, temperatūros, srauto greičio matuokliai; sklaidimo sistemos medicinos diagnostikos prietaisams; ultragarso intensyvumo matuokliai; vibraciniai varikliai. Vilniaus universitete tiriami akustoelektroniniai ir akustooptiniai keitikliai. Vilniaus radijo matavimų prietaisų mokslinio tyrimo institute kuriami medicinos diagnostikos prietaisai (Sajauskas 2000).

Ultragarsinė defektoskopija – defektoskopija, kuria ieškoma gaminio paviršinių bei vidinių defektų ultragarso virpesiais. Jie sukeliami ir priimami ultragarsiniu keitikliu. Defektų ieškoma šiais metodais: aido (pakinta atspindėtų bangų intensyvumas), šešėlio (pakinta pro defektinę vietą praėjusių bangų intensyvumas arba fazė), rezonanso (pakinta rezonansinių virpesių dažnis: jis defektinėse vietose mažesnis), laisvųjų virpesių (pakinta virpesių spektras), impedanso (pakinta mechaninis pasipriešinimas), velosimetriniu (pakinta bangų sklaidimo greitis). Matavimo rezultatai matomi osciloskopo ekrane, registruojami savirašiu prietaisu arba apdorojami elektroniniais skaičiavimo įrenginiais. Šiuo būdu randami suvirintųjų siūlių, bėgių, daugiasluoksnių konstrukcijų ir kitų metalinių ir nemetališkųjų gaminių defektai.

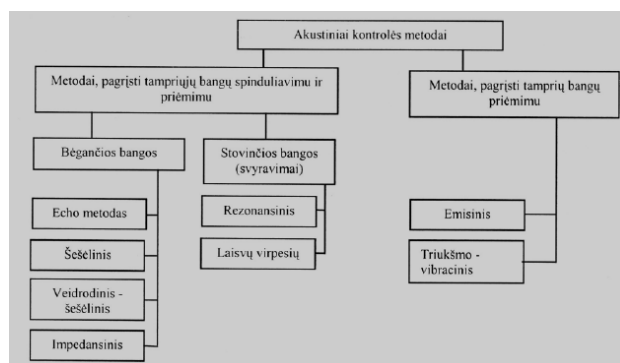
Ultragarsiniai matavimo prietaisai – tai ultragarsiniai prietaisai informacijai gauti ir apdoroti informacinėmis

skaičiavimo sistemomis. Sudaryti dažniausiai iš dviejų ultragarsinių pjezoelektrinių keitiklių – siūstuvo ir imtuvo, elektrinių signalų generatoriaus, komutacinės ir informacijos apdorojimo sistemos (mikroprocesoriaus) ir rezultatų rodymo, spausdinimo arba įvedimo į elektroninę skaičiavimo mašiną įrenginio. Ultragarso siūstuvą skleidžia ultragarsą, kuris, atspindėjęs nuo tiriamo objekto arba per jį praėjęs, patenka į ultragarso imtuvą.

Palyginus išsiųstąjį signalą su atspindėtu arba per objektą praėjusiu signalu, gaunama reikiama informacija. Ultragarsiniai matavimo prietaisai yra medžiagos savybių ir sudėties (kietumo, struktūros, anizotropijos, koncentracijos) analizatoriai, atstumo matuokliai – echolotai, lygio signalizatoriai, altimetrai, profilografai, termometrai. Vartojami technologiniams ir biocheminiams procesams kontroliuoti (pvz., medicininiuose tyrimuose).

4. Rezultatai ir jų analizė

Paprastai akustiniai NDT metodai skirstomi į dvi dideles grupes: naudojantys akstinių bangų spinduliavimą ir priėmimą (aktyvūs metodai) ir pagrįsti tik bangų priėmimu (pasyvūs metodai). Kiekvienoje grupėje galima išskirti metodus, pagrįstus bėgančių ir stovinčių bangų arba svyravimų tyrimo objekte atsiradimu. Akstinių metodų klasifikavimas matyti 1 paveiksle.



1 pav. Akstinių kontrolės metodų klasifikavimas

Fig. 1. Acoustic control methods classification

Aktyvūs akustiniai metodai, kuriuose naudojamos bėgančios bangos, dalijami į du pogrupius, naudojančius bangų praėjimą ir atspindį. Naudojamas kaip nuolatinis, taip ir impulsinis spinduliavimas. Praėjimo metodai yra tokie:

1. Šešėlių metodas. Šis metodas pagrįstas praėjusios bangos amplitudės sumažėjimu dėl defekto. Laikinis šešėlinis metodas pagrįstas impulso vėlavimu dėl defekto aplenkimo.
2. Veidrodinis-šešėlinis metodas pagrįstas signalo, atspindėto nuo priešingos gaminio pusės (dugninio signalo), susilpnėjimu.
3. Velosimetrinis metodas pagrįstas tamprųjų bangų greičio pasikeitimu dėl defekto. Pavyzdžiui, jeigu plona gaminyje sklinda išgaubtinė banga, tai išsisluoksnavimo atsiradimas sumažina jos greitį, kuris paprastai išmatuojamas pagal praėjusios bangos fazės poslinkį. Atspindžio metoduose naudojamas impulsinis spinduliavimas. Šiam pogrupiui priskiriami šie defektoskopijos metodai:

1. Echo metodas registruoja atspindžius nuo defektų.

2. Veidrodinis echo metodas pagrįstas impulsų veidrodiniu atspindžiu nuo defektų, orientuotų vertikaliai paviršiui, nuo kurio kontroliuojama.

3. Delta metodo ypatumas tas, kad išsisklaidžiusios nuo defekto bangos priimamos tiesiog virš defekto. Šis metodas leidžia gauti suvirinimo siūlių defektų atvaizdus.

4. Reverberacinis metodas skirtas sluoksninių konstrukcijų, tokių kaip metalas-plastikas, kontrolei. Šis metodas pagrįstas ultragarsinių impulsų reverberacijos trukmės viename iš sluoksnių analize. Pavyzdžiui, kai keitiklis yra ant metalo sluoksnio, ultragarsinės bangos iš dalies atspindi nuo metalo ir plastmasės ribos, iš dalies pereina į plastmasę, kas apsprendžia reverberacijų slopinimą. Jei medžiagos sujungiamos nekokybiškai, atspindėjimas nuo jų atsiskyrimo ribos yra didesnis ir reverberacijos trunka ilgiau.

Impedansinis metodas iš esmės skiriasi nuo kitų akustinių NDT metodų. Jis pagrįstas kontroliuojamo paviršiaus, su kuriuo sąveikauja keitiklis, mechaninio impedanso pasikeitimu. Apie impedanso pokytį sprendžiama pagal keitiklio svyravimų charakteristikas: dažnį, amplitudę, fazę. Keitikliai būna pjezoelektrinio strypo arba plokštelės pavidalo.

Naudojant stovinčias bangas sužadinami laisvi arba priverstiniai svyravimai visame kontrolės objekte (integralinis metodas) arba tik jo dalyje (lokaliniai metodai). Laisvieji svyravimai objekte dažniausiai sužadinami mechaniniu smūgiu, o priverstiniai - veikiant harmoninei jėgai, kurios dažnis keičiasi. Objekto būseną (defektų nebuvimas) analizuojamas pagal jo laisvų svyravimų dažnį arba pagal priverstinių svyravimų rezonansus. Rečiau naudojamos atitinkamų svyravimų amplitudės. Stovinčių bangų naudojimu pagrįsti šie metodai:

1. Laisvųjų svyravimų lokalinis metodas. Kontroliuojamo gaminio dalyje vibraciniu plaktuku sužadinami mechaniniai svyravimai ir analizuojamas sužadinamų dažnių spektras. Gaminuose su defektais spektras pasislenka į aukštesnio dažnio pusę.

2. Laisvųjų svyravimų integralinis metodas. Vibracijos sukliamos mechaniniu smūgiu visame arba didesnėje gaminio dalyje.

3. Lokalinis rezonansinis metodas plačiai naudojamas storio matavimui. Gaminio sienelėje keitikliu sužadinamos ultragarsinės bangos. Pagal rezonansinius dažnius nustatomas sienelės storis.

4. Integralinis rezonansinis metodas naudojamas paprastų geometrinių formų gaminių tamprumo modulių nustatymui. Nustatomi gaminio išilginių, išlenktinių arba sukamųjų svyravimų rezonansiniai dažniai.

Priverstinių svyravimų metodui priskiriamas akustinis-topografinis metodas. Jo esmė yra tokia: kontroliuojamas paviršius padengiamas milteliais ir taip registruojamas tamprųjų svyravimų amplitudžių pasiskirstymas kontroliuojamame paviršiuje. Defektiniame ruože dėl rezonan-

sinių reiškinių padidėja svyravimo amplitudės, dėl to ant jo mažiau nusėda miltelių.

Charakteringiausias pasyvus metodas, naudojantis bėgančias bangas, yra akustinis-emisinis metodas. Vykstant akustinei emisijai tampriąsias bangas spinduliuoja pati medžiaga, nes joje įvyksta vidinės struktūros dinaminis lokalinis persitvarkymas. Kontaktuojantys su gaminiu pjezokeitikliai priima tampriąsias bangas ir leidžia nustatyti jų šaltinio (defekto) vietą.

Pasyvūs akustiniai metodai, pagrįsti stovinčių bangų arba svyravimų kontrolės objekte sužadinimu, yra tokie:

1. Vibracinis-diagnostinis metodas. Tai detalės vibracijos parametru analizė naudojant kontaktinio tipo imtuvus.

2. Triukšmo diagnostinis metodas. Dirbančio mechanizmo triukšmai analizuojami mikrofonais.

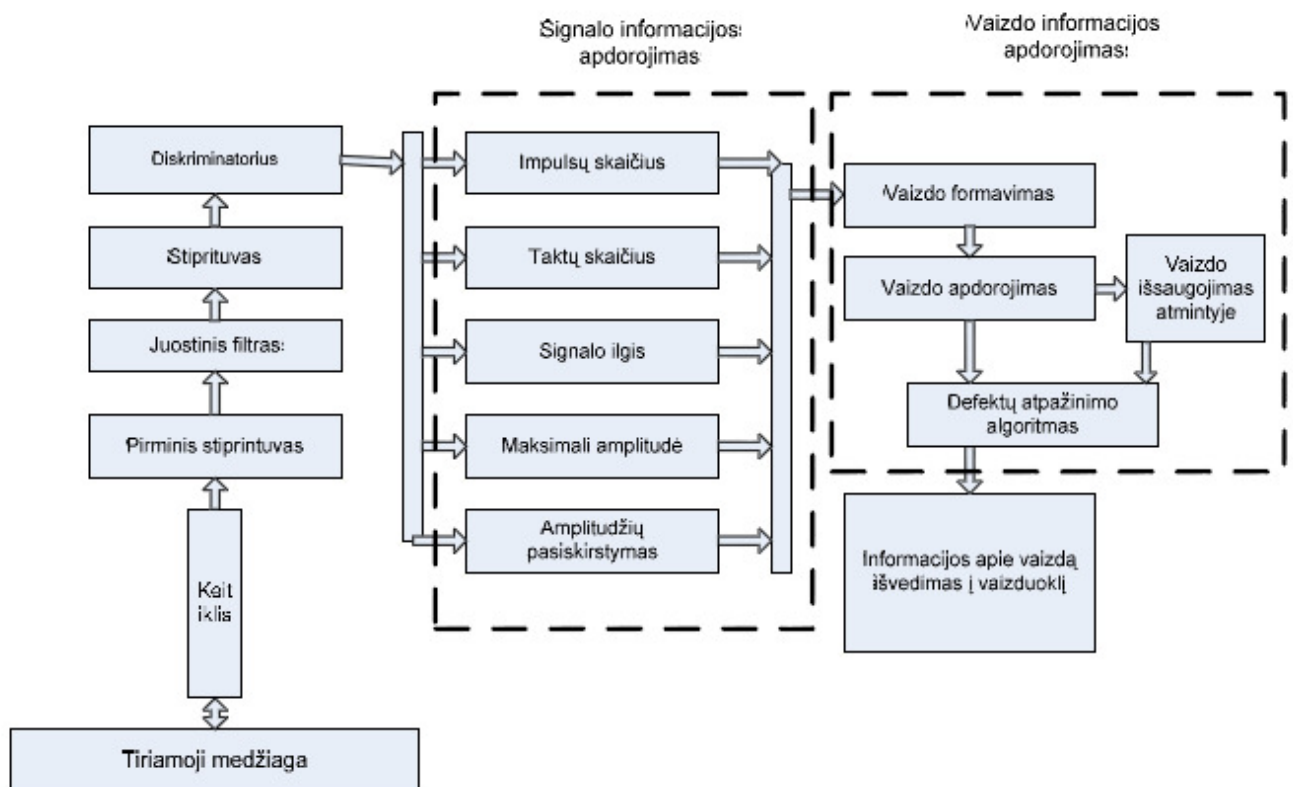
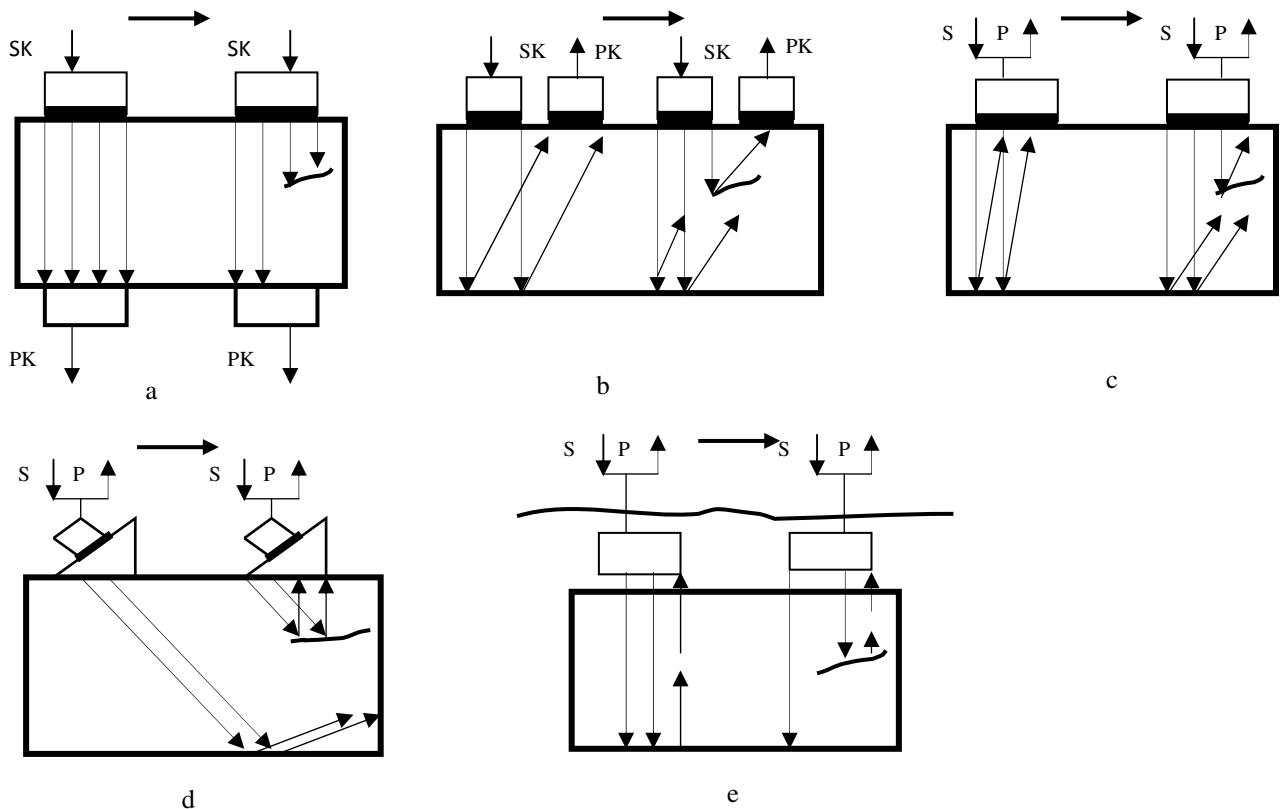
5. Defektoskopas, jo struktūrinė schema ir analizė

Keitiklis: pjezoelektrinis keitiklis, naudojamas pakeisti akustinius virpesius elektriniais signalais; keitiklio išėjimo įtampa yra tiesiogiai proporcinga keitiklio paviršiniam įtempimui ir tai nusako paviršinių bangų amplitudę. Keitikliai yra didelės varžos prietaisai, todėl gaunami silpni signalai.

Pirminis stiprintuvas: dėl mažos išėjimo įtampos kelias nuo keitiklio iki pirminio stiprintuvo turi būti kuo mažesnis, todėl pirminis stiprintuvas gali būti integruojamas į patį keitiklį. Paprastai toks stiprintuvas yra stiprinamas 40–60dB. Stiprinimas skaičiuojamas taip: $S=20\log(V/V_i)$ V_i yra įėjimo įtampa, o V yra išėjimo įtampa. Čia amplitudė sustiprinama nuo 100 iki 100 kartų. Juostinis filtras: skirtas nuslopinti pašalinius akustinius signalus, kurie nepatenka į nagrinėjamo dažnio diapazoną. Stiprintuvas dar kartą sustiprina signalą stiprinimo koeficientu nuo 20 iki 60dB. Diskriminatorius naudojamas priimamo signalo įtampos lygio apribojimui.

Elektrinio signalo apdorojimo dalyje yra nustatoma informacija, reikalinga akustinio vaizdo suformavimui. Suformavus akustinį vaizdą, jis yra išskaidomas į matricą. Matricos elementų reikšmės atitinka atskirų vaizdo elementų šviesumo reikšmes. Tokių būdu apdorojus vaizdą jis yra išsaugomas atmintyje, kur yra išsaugoti ir įvairių kompozitinių struktūrų etaloniniai vaizdai. Gavus apdorotą vaizdą bei pasitelkus defekto nustatymo algoritmą, nustatomas defektas, jo pobūdis bei vieta. Visa informacija yra išvedama į vaizduoklį (2 pav.).

Pagrindiniai ultragarsinės NDT metodai: a- praėjimo (šešėlių metodas, laikinis šešėlinis metodas, velosimetrinis metodas); b- dviejų keitiklių atspindžio; c- vieno keitiklio atspindžio; d- kampu įvedamo spindulio; e- panardinimo

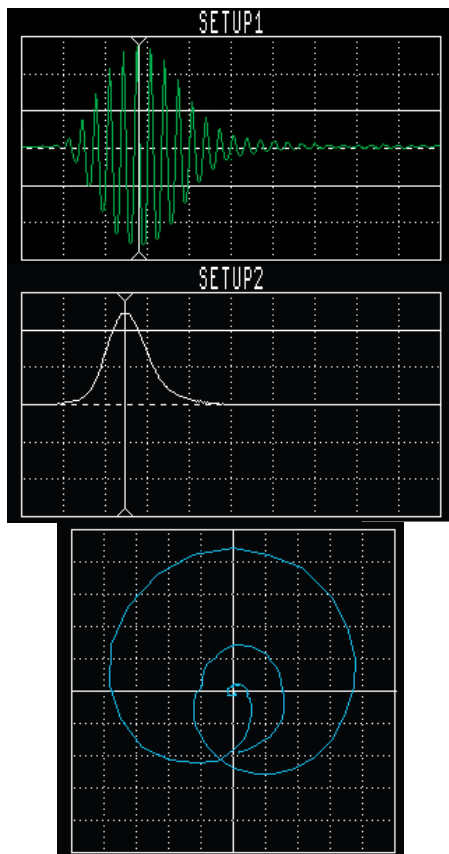


2 pav. Defektoskopo struktūrinė schema
Fig. 2. Flaw detector structural scheme

Pitch – Catch Swept metodas naudoja dažnių diapazoną nuo 5 kHz iki 100 kHz. Sklindanti banga pereina per dvi skirtingas medžiagas ir, esant priimtam fazės ir amplitudės pokyčiui, yra aptinkamas defektas.

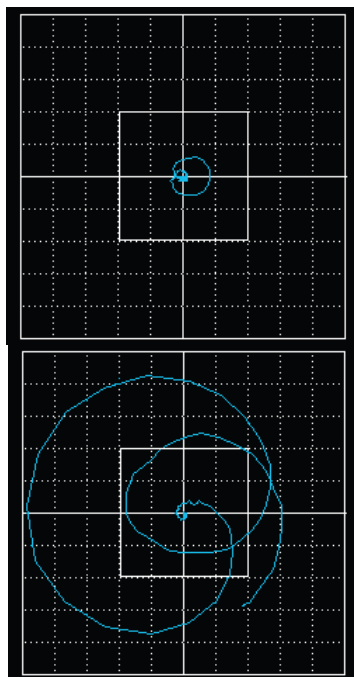
Pitch-Catch akustinis metodas skirstomas į tris grupes (3 pav.):

- amplitudinis metodas,
- impulsinis metodas,
- Swept metodas.



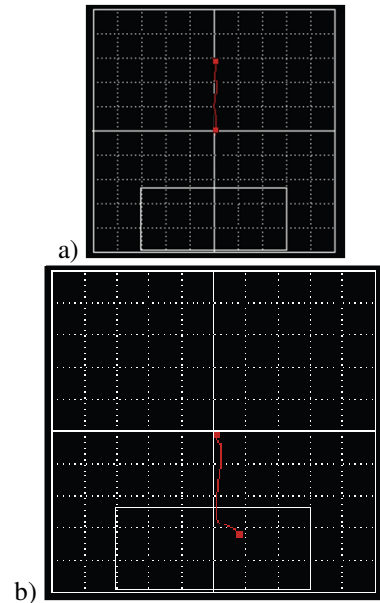
3 pav. Pitch-Catch akustinio metodo grupės
Fig. 3. Pitch-Catch acoustic method groups

Naudojant Pitch-Catch Swept akustinį metodą pagal gautą signalo modelį galima atskirti, kurioje kompozito vietoje yra defektas (4 pav.).



4 pav. Pitch – Catch Swept signalas esant geram sluoksnių suklįjavimui (a) ir sluoksnių atsiklijavimui (b).
4 Fig. Pitch – Catch Swept signal at good layers bonding (a) and layers disbonding (b)

Pitch – Catch Swept metode naudojamas dažnių diapazonas nuo 5 kHz iki 100 kHz. Sklindanti banga pereina per dvi skirtingas medžiagas ir jei fazės ir amplitudės pokyčiai yra priimti, aptinkamas defektas. Tiriant mechaniniu impedanciniu akustiniu metodu naudojamas dažnių diapazonas nuo 2 kHz iki 10 kHz. Veikimo principas pagrįstas fazės poslinkio skirtumu (5 pav.).

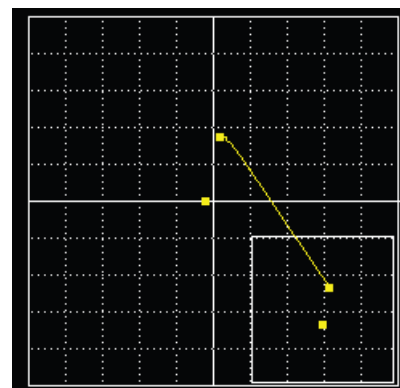


5 pav. Mechaninio impedansinio akustinio metodo veikimo principas
Fig. 5. Mechanical impedance acoustic method principle of operation

Kompozito vietoje, kurioje yra gerai suklįjuoti sluoksniai, fazės sutaps (a), o toje vietoje, kurioje bus atsiklijavimas, atsiras fazių skirtumas (b).

Šis akustinis metodas yra sudėtingesnis nei prieš tai aptartas, nes prieš kiekvieną tyrimą prietaisą reikia suderinti.

Rezonansiniu metodu, pagal jo signalo modelį, galima nustatyti defekto vietą. Amplitudės ir fazės signalo vektorius, esant medžiagų atsisluoksniavimui, bus nutolęs nuo taškų, žyminčių vietą, kurioje atsisluoksniavimo nėra (6 pav.).



6 pav. Rezonansinis tyrimo metodas
Fig. 6. Resonance analysis method

Tiriant rezonansiniu metodu naudojamas dažnių diapazonas nuo 35 kHz iki 500 kHz. Virpesių dažnis moduliuojamas ir fiksuojami dažniai, kuriems esant atsiranda rezonansai. Kompozito sienelės storyje išsidėsto lyginis ultragarsinių bangų ir pusbangių skaičius. Pagal rezonansinius dažnius nustatomas sienelės storis. Defektai nustomi tada, kai sienelės storis kinta arba tarp senelių yra susidaręs tarpas (atsisluoksniavimas).

6. Išvados

Tyrime buvo apžvelgtos literatūroje aprašytos kompozitinių medžiagų struktūros, defektų atsiradimas ir jų atpažinimas akustinės neardomosios defektoskopijos metodais. Gaminant orlaivius visuomet siekiama gauti kuo geresnį svorio ir kokybės santykį, todėl yra ekonomiškai tikslinga naudoti kompozitines medžiagas, nors jos ir yra pakankamai brangios. Kompozitinių medžiagų gamyboje būtina didelė kontrolė, kadangi atsiranda papildomų sunkumų dėl defektų atsiradimo. Šiems defektams pastebėti yra naudojami akustinės NDT metodai.

Literatūra

- Bogušienė, V.; Bendorienė, A. 2008. *Tarptautinių žodžių žodynas*. Vilnius: Alma littera. 792 p.
- Sajauskas, S. 2000. Šiurkštumo lyginamieji tyrimai paviršinėms skersinėms ir paviršinėms išilginėms ultragarso bangomis, *Ultragaras* 3(36): 33–35. ISSN 1392-1214.
- Беда, П. И. 1978. *Дефектоскопия деталей при эксплуатации авиационной техники* [Beda, P. I. Detalių defektoskopija naudojant aviacinę techniką]. Москва: Министерство обороны. 342 c.
- Домаркас, В. Й. ; Пилецкас, Э. Л. 1988. *Ультразвуковая эхоскопия* [Domarkas, V. J.; Pileckas, E. L. Ultragarsinė echoskopija], Ленинград: Машиностроение. 276 c.
- Полимерные композиционные материалы [Polimerinės kompozitinės medžiagos] 2013a. [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. vasario 13 d.]. Prieiga per internetą: <http://pslc.ws/russian/composit.htm>
- Полимерные композиционные материалы [Polimerinės kompozitinės medžiagos] 2013b. [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. vasario 13 d.]. Prieiga per internetą: http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/himiya/KO_MPOZITSIONNIE_MATERIALI.html?page=0,3
- Смирнов, В. И. 1971. Неразрушающие методы контроля судостроительных стеклопластиков [Smirnov, V. I. Neardomosios kontrolės metodų taikymas stiklaplaščių medžiagoms laivų statyboje]. Ленинград: Судостроение. 186 c.

RESEARCH ON RECOGNITION OF COMPOSITE MATERIAL DEFECTS DETECTED BY ACOUSTIC NON-DESTRUCTIVE TEST METHODS

Timofej Kitov

Summary

Application of composite materials structures in today's aviation, recognition of defects using NDT. Research of composite material using Pitch-catch impedance and resonant acoustic method. The effectiveness of testing methods. Classification of defects in composite materials, visualization, and recognition of these defects.

Keywords: bond, composite materials, integrity tests, impedance acoustic method, resonance acoustic method, defects classification.