



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

ANTANO GUSTAIČIO AVIACIJOS INSTITUTAS

AVIACIJOS PRIETAISŲ KATEDRA

Maksim Timofejev

**DIFERENCINIS ULTRAGARSO GREIČIO MATAVIMO METODO
TAIKYMAS KOMPOZICINIŲ MEDŽIAGŲ STRUKTŪRAI TIRTI**

**METHOD OF DIFFERENTIAL ULTRASOUND SPEED MEASURING
FOR COMPOSITIONAL MATERIALS STRUCTURE TESTING**

Baigiamasis magistro darbas

Aviacinių elektros įrenginių studijų programa

Elektros inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2007

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ANTANO GUSTAČIO AVIACIJOS INSTITUTAS
AVIACIJOS PRIETAISŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

2007 - _____

Maksim Timofejev

**DIFERENCINIS ULTRAGARSO GREIČIO MATAVIMO METODO
TAIKYMAS KOMPOZICINIŲ MEDŽIAGŲ STRUKTŪRAI TIRTI**

**METHOD OF DIFFERENTIAL ULTRASOUND SPEED MEASURING
FOR COMPOSITIONAL MATERIALS STRUCTURE TESTING**

Baigiamasis magistro darbas

Aviacinių elektros įrenginių studijų programa

Elektros inžinerijos studijų kryptis

Magistrantas _____
(Vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vadovas _____
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Konsultantė _____
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2007

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Antano Gustaičio aviacijos institutas
Aviacinių prietaisų katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data

Baigiamasis magistro darbas

Diferencinis ultragarso greičio matavimo metodo taikymas kompozicinių medžiagų struktūrai tirti.

Maksim Timofejev

Kalba

☒ X lietuvių

☐ užsienio

Anotacija

Kompozicinių medžiagų konstrukcijų taikymas aviacijoje didėja. Saugumui aviacijoje užtikrinti reikalingos patikimos kontrolės sistemos. Šiame darbe pateiktas ultragarso greičio matavimo metodo taikymas kompozicinėms struktūroms tirti. Metodas numato akustinių gardelių panaudojimą, sudarant ultragarso bangų sklaidimo greičio matavimo kanalą tiriamame sluoksnyje. Šis metodas atitinka keliamus tikslumo, patikimumo ir operatyvumo reikalavimus.

Darbo apimtis – 65 p. teksto be priedų, 44 iliustr., 3 lent., 16 bibliografiniai šaltiniai

Reikšminiai žodžiai:

ultragarsas, defektas, kompozitinė medžiaga, neardomoji kontrolė.

Vilnius Gediminas technical university
Antanas Gustaitis institute of aviation
Department of aviation equipment

ISBN ISSN
No.of copies
Date

Final paper of master studies

**Method of differential ultrasound speed measuring for compositional materials
structure testing**

Maksim Timofejev

Language

☐ Lithuanian

☒ Foreign

Summary

Usage of compositional materials in aviation increases. To ensure safety in aviation - reliable control systems are required. Method of examination of compositional materials using ultrasound measuring system is introduced in this work. This method implies usage of acoustic lattice for measurement of created ultrasound waves in examined layer. This method complies with requirements for accuracy, reliability and effectiveness.

Basic words:

ultrasounds, defect, compositional material, non-destructive testing.

TURINYS

Paveikslų sąrašas.....	7
Lentelių sąrašas.....	9
Santrumpos.....	10
Įvadas.....	11
1. Šiuolaikinės kompozicinės medžiagos.....	12
1.1 Dispersiškai stiprinamos kompozicinės medžiagos.....	14
1.2 Kompozicinės medžiagos, armuotos siūlais ar pluoštu.....	15
1.3 Sluoksniuotosios kompozicinės medžiagos.....	16
1.4 Kompozitai su anglies matrica.....	17
1.5 AAK kompozitų gamyba.....	22
1.6 Kompozicinių konstrukcijų formavimas.....	26
2. Kompozicinių medžiagų taikymas aviacijoje.....	28
2.1 Kompozicinių konstrukcijų defektai.....	31
3. Ultragarsas ir jo panaudojimas.....	34
3.1 Garso bangų atspindys ir lūžimas.....	36
3.2 Akustiniai virpesiai ir bangos.....	38
3.3 Ultragarsiniai neardomosios kontrolės metodai.....	41
3.4 Kontrolės metodų klasifikacija.....	42
3.5 Ultragarsinė defektoskopija, panaudojant akustines gardeles.....	46
3.6 Pavyzdžių nagrinėjimas.....	57
Išvados.....	63
Literatūra.....	64

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Armuojančių komponentų forma ir jų pasiskirstymas matricoje.....	13
2 pav. Kompozicinių medžiagų mikrostruktūros.....	15
3 pav. Pluoštinių kompozicinių medžiagų klasifikavimas pagal jų konstrukcinius požymius.....	16
4 pav. Anglies pluošto armuojančių sistemų linijinės, plokštuminės ir erdvinės struktūros.....	18
5 pav. Termoplastinės dervos klampos pokyčiai kaitinimo metu	22
6 pav. Matricos sluoksninis išsidėstymas, susidarantis iš mezofazinės dervos	23
7 pav. Anglies matricos mikrostruktūros, susidaranti CVI proceso metu	25
8 pav. Kompozito elastingumo modulio priklausomybė nuo CVI sąlygų	25
9 pav. Anglies matricos mikrostruktūros, susidaranti CVI proceso metu, priklausomybė nuo slėgio ir temperatūros	25
10 pav. Kompozitus armuojančių pluoštų audinių klasifikavimas	26
11 pav. Korėta konstrukcija	27
12 pav. Šešiakampės formos korėtasis elementas	28
13 pav. Kompozicinių medžiagų panaudojimas <i>Boeing 737-300</i> orlaivyje	29
14 pav. Kompozicinių medžiagų panaudojimas <i>Airbus A310-300</i> orlaivyje	29
15 pav. Orlaivio elementai iš korinės konstrukcijos	30
16 pav. SAAB-340 sraigto išpjova	30
17 pav. Kompozicinių konstrukcijų defektų klasifikacija	31
18 pav. Orlaivio kompozitinė konstrukcija	31
19 pav. Paviršinių defektų pavyzdžiai	32
20 pav. Atsisluoksniavimų pavyzdžiai	33
21 pav. Skersinis audinio įtrūkimas	33
22 pav. Pašalinė medžiaga tarp sluoksnių	34
23 pav. Krentančios bangos pasiskirstymas į dvi dedamąsias	37
24 pav. Krentančios bangos pasiskirstymo priklausomybė nuo kritimo kampo	37
25 pav. Akustinių kontrolės metodų klasifikavimas	43
26 pav. Ultragarsinės defektoskopijos schema, panaudojant du keitiklius	46
27 pav. Matavimo signalai dviejų ultragarsinių keitiklių schemeje	47
28 pav. Ultragarsinės defektoskopijos schema, panaudojant tris keitiklius	47
29 pav. Matavimo signalai trijų ultragarsinių keitiklių schemeje	48
30 pav. Ultragarsinės defektoskopijos schema, panaudojant akustinę gardelę	49
31 pav. Akustinės gardelės elementų išdėstymas	49
32 pav. Ultragarsinis keitiklis	50
33 pav. Signalų keitiklio pjūvis	51

34 pav. Matavimo rezultatų signalų seka	52
35 pav. Ultragarsinės bangos greičio ir laiko intervalų kitimo charakteristika	54
36 pav. Leistina medžiagos matavimo paklaida	55
37 pav. Medžiagos skenavimo ultragarsiniu keitikliu eiliškumas	55
38 pav. Tiriamos medžiagos 3D vaizdas	56
39 pav. Atsisluoksniavimo medžiagoje tyrimas	57
40 pav. Ultragarsinės bangos greičio ir laiko kitimo charakteristika	58
41 pav. Įskilimo medžiagoje tyrimas	59
42 pav. Ultragarsinės bangos greičio ir laiko kitimo charakteristika	60
43 pav. Priemaišos medžiagoje tyrimas	61
44 pav. Ultragarsinės bangos greičio ir laiko kitimo charakteristika	62

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Anglies siūlų savybės.....	20
2 lentelė. Kompozicinės medžiagos struktūros užpildymo armuote koeficientai	21
3 lentelė. Įvairių aplinkų akustinės savybės.....	39

SANTRUPOS

AAK – anglies-anglies kompozitai

AS – armuojanti sistema

UG – ultragarsas

NDT – neardomoji kontrolė (Non-destructive testing)

CVI - cheminis garų infiltravimas (chemical vapour infiltration)

UGK – ultragarsinis keitiklis

IVADAS

Didėja kompozicinių konstrukcijų panaudojimas aviacijoje dėl savų ypatingų savybių. Plačiai naudojama hibridinė kompozicinė medžiaga, sudaryta iš plonų lakštų ir tarpinių iš polimerinės kompozicinės medžiagos. Šią medžiagą sudaro termoreaktyvinės klijuojančios ir termoplastinės rišamosios medžiagos, armuotos didelio stiprumo stiklo pluoštu. Šias medžiagas panaudojus vietoj monolitinių aliuminio lakštų, konstrukcija sumažėja 15-40%, padidėja konstrukcijos patikimumas, atpinga eksploatacija. Ši medžiaga naudojama lėktuvų fiuziliažams, sparnams gaminti, ja dengiami durys, liukai. Tačiau tokių konstrukcijų gamyba yra sudėtinga. Gamyba sudaryta iš daugeliu sudėtingų procesų, pakeitimas vieno iš proceso etapų gali pakeisti gatavos konstrukcijos mechanines savybes. Dėl aukštų saugos reikalavimų toks sudėtingas gamybos procesas reikalauja sudėtingų kontrolės metodų. Eksploatavimo metų daugelis orlaivio mazgai yra apkraunami dideliem jėgom. Yra būtina periodiška orlaivio mazgų defektoskopija eksploatavimo metu. Metodai pagrįsti ultragarsiniu bangu medžiagoje sklidimu yra perspektyvus diagnostikoje, todėl reikia šiuos metodus tobulinti.

Darbe numatomas naujas kompozitinių struktūrų tyrimo metodas, kuris bus pagrįstas ultragarsinės bangos sklidimu medžiagoje. Užduotas tikslas, sukurti prietaisą, kuris tiktu vykdyti defektoskopiją mazgų gamybos metu, o taip pat ir eksploatavimo metu. Gaunama informacija privalo būti gaunama skaitmeniniame pavidale ir būti lengvai prieinama operatoriui. Pagaminus diagnostikos prietaisus pagal pasiūlytą metodą ir pritaikius aviacijoje, turi padidinti šiuolaikinių testavimo metodų patikimumą, prieinamumą, ekonominius rodiklius, bei aplinks saugumą.

1 ŠIUOLAIKINĖS KOMPOZICINĖS MEDŽIAGOS

Kompozicine medžiaga vadiname dviejų ar daugiau chemiškai skirtingų medžiagų, tarp kurių yra ryškūs skiriamieji paviršiai, derinį. Kompozitai pasižymi unikaliomis savybėmis, kurios kiekybiškai ir kokybiškai skiriasi nuo kiekvieno iš jų sudarančių komponentų. Šie komponentai parenkami taip, kad jie optimaliai papildytų vieni kitus, suteikdami bendrai medžiagai geresnių arba visai naujų savybių.

Kompozicinę medžiagą sudaro:

- **Matrica** (rišamoji medžiaga) – ištisinis viso medžiagos tūrio komponentas. Ji garantuoja gaminio vienalytiškumą, fiksuoja gaminio formą ir armuojančių elementų tarpusavio išsidėstymą, apkrovos tolygų pasiskirstymą visam kompozitui ir jos pasiskirstymą suirus daliai pluošto. Nuo matricos medžiagos (metalinė ar nemetalinė) priklauso dirbinių gamybos metodo bei technologinių procesų parinkimas. Metalinę matricą sudaro metalai ar jų lydiniai, nemetalinę - polimerai, keramika, anglis, stiklas bei įvairūs jų deriniai.
- **Armuojantys komponentai** (užpildai, armatūra arba kompozitą stiprinantys komponentai). Jų paskirtis - didinti matricos stiprumą (turi būti bent 2-3 kartus stipresni už matricą ir aukštesnės lydymosi temperatūros) ir standumą, keisti šilumines ir elektrines medžiagos charakteristikas ir kt. Šis poveikis gali būti skirtingas įvairiomis kryptimis visame tūryje arba tam tikroje kompozito dalyje.

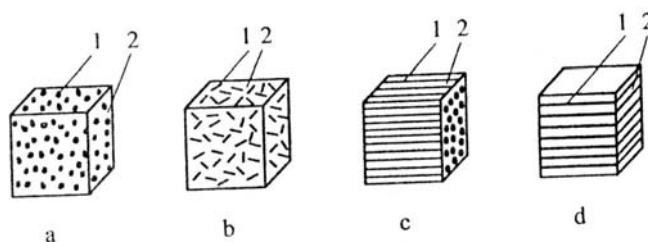
Kompozitų mechaninės savybės priklauso nuo armuojančių elementų stiprumo, matricos standumo, kontakto ribos tarp matricos ir armuojančio elemento stiprumo.

Matricos medžiagai keliami šie reikalavimai:

Eksplotaciniai. Matricos medžiagos mechaninės, fizikinės ir cheminės savybės turi užtikrinti jos ir armuojančių elementų sąveiką esant įvairiems apkrovimo būdams. Nuo jos priklauso kompozito atsparumas šlyčiai bei temperatūros ir aplinkos poveikiui, ciklinis stiprumas ir kt.

Technologiniai reikalavimai susiję su kompozito gamybos procesais. Technologinis procesas turi užtikrinti tolygų pluošto išdėstymą jo elementams nesiliečiant tarpusavyje, išlaikyti reikiamą tūrio santykį, garantuoti pakankamą stiprumą pluošto ir matricos sandūroje. Todėl matricos medžiaga turi gerai vilgyti pluoštą, kokybiškai sujungti kompozito sluoksnius, būti žemos formavimo temperatūros, slėgio ir kt.

Kontakto ribos savybės. Nuo pluošto ir matricos adhezijos (sukibimo) priklauso kompozito savybių kitimas eksploatacijos metu. Matricos ir armuojančio elemento adhezija turi užtikrinti efektyvų apkrovos perdavimą armuojančiam elementui ir atlaikyti įtempimus, atsirandančius dėl skirtingų temperatūrinių plėtimosi koeficientų ir deformacijų traukiantis matricai. Esant blogai matricos ir užpildo adhezijai, kompozite susidaro mikroporos. Jos sumažina medžiagos stiprumą [1].



1 pav. Armuojančių komponentų forma ir jų pasiskirstymas matricoje:
a – miltelinis užpildas; *b* – chaotiškas trumpapluostis užpildas, *c* - kryptinga ilgapluostė armatūra; *d*- sluoksninė armatūra; 1 - armuojantis komponentas, 2 - matrica

Pagal armuojančių komponentų formą ir jų pasiskirstymą matricoje kompozitai skirstomi į tris pagrindines grupes (1 pav.):

1. *Dispersinės medžiagos* (1 pav., *a*). Susideda iš vieno ar kelių labai smulkių komponentų, išsidėsčiusių matricoje.
2. *Medžiagos su pluoštiniu užpildu* (1 pav., *b, c*). Dažniausiai naudojami didelio stiprumo stiklo, anglies, boro pluoštai, metalinės vielės, karbidų, oksidų, nitridų ir kitų junginių siūliniai kristalai.
3. *Sluoksniuotosios medžiagos* (1 pav., *d*). Susideda iš dviejų ar daugiau įvairių komponentų sluoksnių (asbesto, medvilnės, anglies pluošto audinio, popieriaus ir kt.). Šiems kompozitams priskiriami bimetalai.

Pagal matricai naudojamą medžiagą kompozitai skirstomi:

- kompozitai su polimerine matrica (plastikai);
- kompozitai su anglies matrica;
- kompozitai su metaline matrica;
- kompozitai su keramine matrica;
- kompozitai su kombinuota matrica.

Metalinės – tai dažniausiai aliuminis, magnis, titanas, varis ir jų lydiniai. Bandoma matricą gaminti iš didelio stiprio plieno, sunkiai lydžių metalų ir lydinių.

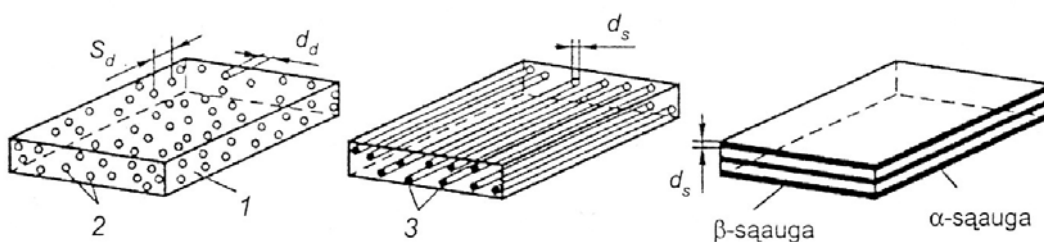
- kompozicinės medžiagos, kurių pagrindas yra metališkieji junginiai. Šių medžiagų matricą sudaro cheminiai metalų junginiai su metalais. Tai palyginti nauja kompozicinių medžiagų klasė. Šių medžiagų matricai naudojami karštyje atsparūs metališkieji titano, aliuminio junginiai - Ti_3Al , $NiAl$, $NiAl$ ir kt. Kartais šiai grupei priskiriami metalų silicidai $MoSi_2$, Nb_5Si_3 ir kt.
- keraminės kompozicinės medžiagos. Šių medžiagų matrica daroma iš oksidų, karbidų, nitridų. Ši medžiagų klasė yra ypač atspari aukštoje temperatūroje.
- kompozicinės medžiagos, kurių pagrindas yra nemetalinės medžiagos. Šių kompozicinių medžiagų pagrindą sudaro anglis.
- kompozicinės medžiagos, turinčios polimerinę matricą. Šių medžiagų matricai naudojamos epoksidinės, polieterinės ir kai kurios termoaktyviosios dervos ir polimeriniai termoplastai [2].

1.1 DISPERSIŠKAI STIPRINAMOS KOMPOZITINĖS MEDŽIAGOS

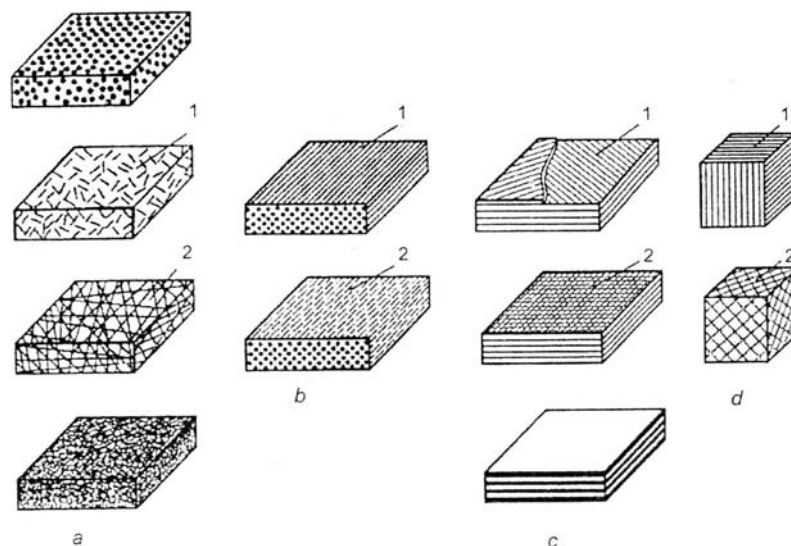
Pagal geometrinį armavimo pobūdį šios kompozicines medžiagas priklauso vienai klasei, nes armuojantieji elementai visomis trimis erdvinėmis kryptimis turi tokio pat dydžio matmenis. Antrojo komponento dalelės yra netvarkingai pasiskirsčiusios matricoje ir, priklausomai nuo kiekio, jos arba sustiprina matricą, arba trukdo dislokaciniam slydimui, arba „nukrauna“ matricą, priimdamos dalį išorinės veikiančios apkrovos. Vienu atveju armuojančiosios dalelės yra dispersiškai stiprinanti medžiaga, kitu atveju - armuojanti. Dispersiškai sustiprintose kompozicinėse medžiagose dalelių dydis yra mažesnis už $1\ \mu m$, ir jos užima nuo 1-15 % medžiagos tūrio. Dispersinė fazę dažniausiai sudaro oksidai, karbidai, silicidai, boridai, metališkieji junginiai. Dispersinių dalelių stiprinamasis poveikis priklauso nuo jų matmenų ir atstumo nuo gretimų dalelių. Didžiausias efektas gaunamas, kai dalelių dydis yra mažesnis negu $0,1\ \mu m$, atstumas tarp dalelių - $0,01...0,3\ \mu m$ ir jos užima 15 % medžiagos tūrio. Dispersiškai sustiprintos kompozicinės medžiagos yra panašios į dispersiškai sukietintas metalines medžiagas, kuriose dispersinės dalelės išsiskiria medžiagos sendinimo metu ir ją sustiprina. Šis efektas metalinėms medžiagoms kaistant mažėja, nes dispersinės dalelės tirpsta, koaguliuoja ir jų stiprinamasis poveikis išnyksta. Dispersinės dalelės padeda kompozicinėms medžiagoms išlaikyti aukštą takumo ribą ir stiprį, esant dideliame temperatūrų intervalui, todėl disperguotos dalelės neturi tirpti matricoje arba turėti su ja koherentinių ryšių. Armavimo dalelės kompozicinėje medžiagoje ne tik sustiprina matricą, bet ir perskirsto tarp matricos ir užpildo veikiančią išorinę apkrovą, todėl labai svarbu, kaip efektyviai matricos medžiaga perduoda apkrovą armavimo dalelėms. Armavimo dalelių poveikis yra efektyvus tuomet, kai jos matricoje užima $> 25\ %$ medžiagos tūrio.

1.2 KOMPOZICINĖS MEDŽIAGOS, ARMUOTOS SIŪLAIS AR PLUOŠTU

Tai kompozicinės medžiagos, kuriose armuojantys elementai yra vienmačiai intarpai, kurių vienas matmuo yra gerokai didesnis už kitus du matmenis. Kompozicinėse medžiagose plastiškoji matrica yra armuojama plonu pluoštu, kurio storis yra nuo kelių iki 100 μm . Armavimui naudojama plona metalinė viela, kryptingai išauginti fazių kristalai, nemetalinių medžiagų pluoštas (anglies, boro), keraminis pluoštas, stiklo pluoštas, organinis pluoštas (poliamidas, polietilenas), deimanto siūlai ir kt.. Armavimo pluošto kiekis medžiagoje gali būti gana skirtingas ir kartais jis užima 91 % medžiagos tūrio. Visgi realiomis sąlygomis armavimo pluošto kiekiui padidėjus daugiau kaip 80 % pluošto ir matricos tarpusavio sukibimas ir medžiagos savybės blogėja. Pluošto pasirinkimas priklauso nuo kompozicinės medžiagos paskirties, reikiamų fizinių ir cheminių savybių. Pluoštinės kompozicinės medžiagos savybės didele dalimi priklauso nuo armavimo geometrinės schemos (2 pav.). Chaotiškas armavimas trumpu pluoštu, armavimas trumpo ir ilgo pluošto mišiniu gali būti naudojamas beveik visų rūšių matricose. Kiti pluoštai dažniausiai naudojami tik tai polimerinės matricos kompozicinėse medžiagose.



2 pav. Kompozicinių medžiagų mikrostruktūros:
1 - matrica, 2- armuojančiosios dalelės, 3- armuojantysis pluoštas



3 pav. Pluoštinių kompozicinių medžiagų klasifikavimas pagal jų konstrukcinius požymius:
a) chaotiškai armuotos: 1 - trumpas pluoštas, 2 - ilgas pluoštas, b) armuotos vieno matmens armuojančiaisiais elementais (plonu pluoštu): 1 - nepertraukiamas vienkryptis armavimas, 2 - vienkryptis armavimas trumpu pluoštu; c) armuotos dviejų matmenų armuojančiaisiais elementais: 1 - ilgais siūlais, 2 - audiniu; d) erdvinio armavimo: 1 - trijų krypčių siūlais, 2 - daugelio krypčių siūlais.

1.3 SLUOKSNIOTOS KOMPOZICINĖS MEDŽIAGOS

Šiose medžiagose fazės arba komponentai yra išsidėstę sluoksniais (3 pav.). Šių komponentų du matmenys gerokai viršija trečiąjį. Tokiais atvejais nėra prasmės medžiagoje skirti matricą ir armatūrą. Substruktūriniu lygmeniu sluoksninės kompozicinės medžiagos gali būti kuriamos, nusodinant medžiagos sluoksnį iš garinės fazės, o mikrostruktūriniu lygmeniu - išauginant medžiagos sluoksnį kryptingąja kristalizacija. Makrostruktūriniu lygmeniu kompozicinės medžiagos sluoksniai gali būti gaunami iš garinės fazės metalas-metalas, polimeras-polimeras, metalas-polimeras. Sluoksniuotoje kompozicinėje medžiagoje skirtingų medžiagų sluoksnių storis yra nuo 100 iki 1000 μm . Skirtingų medžiagų sluoksnių paviršiniai ryšiai turi būti pakankamai stiprūs, kad veikiant temperatūrai ir apkrovai medžiagos komponentai neslystų vienas kito paviršiumi [1].

Tai nauja konstrukcinių medžiagų klasė, turinti unikalų fizinių (elektrinių, šiluminių, magnetinių ir kt.) ir mechaninių (stipris, atsparumas karštyje ir kt.) savybių rinkinį. Šios medžiagos turi optimaliai sukonstruotą struktūrą, kurioje pagal medžiagos storį kaitaliojasi ištisi pagrindinės ir armuojančiosios metalinių junginių medžiagos sluoksniai. Pagrindinei medžiagai naudojami

įvairūs metalai ar jų deriniai: magnis-aliuminis, varis-aliuminis, titanas-geležis, niobis-geležis ir kiti. Šie metalai dėl reakcinės difuzijos aukštoje temperatūroje sudaro metališkųjų junginių tarp sluoksnius, kurių storį galima reguliuoti keičiant gamybos proceso parametrus. Tinkamai parinkus metališkųjų junginių tarp sluoksnių sudėtį ir storį, galima gauti labai geras fizines ir mechanines medžiagos savybes. Pavyzdžiui, titano-geležies kompozicinė medžiaga 600-850 °C temperatūroje yra 4-9 kartus atsparesnė karščiui negu sudarantys baziniai metalai. Titano-plieno kompozicinė medžiaga 20-400 °C temperatūroje yra „šilumos izoliatorius“, nes jos šiluminis laidumas yra 48-62 kartus mažesnis negu plieno ir 16-18 kartų- negu titano. Naudojant įvairias gamybos technologijas (suvirinimą sprogimu, valcavimą, štapavimą) galima pagaminti plokščias ir tūrines titano-plieno konstrukcijas arba įvairius profilius. Jau nuo aštuntojo praeito šimtmečio dešimtmečio kompozicinėms medžiagoms pradėtos naudoti polimerinės medžiagos. Tokią medžiagą sudaro rišami adhezijos jėgų, besikeičiantys polimero ir metalo sluoksniai. Skraidymo aparatams gaminti naudojama šios rūšies kompozicinė medžiaga, sudaryta iš aliuminio lydinio ir organinio polimero. Šios medžiagos mechaninės savybės panašios į aliuminio lydinio, tačiau medžiaga yra lengvesnė. Atsiradę nuovargio plyšiai tokioje medžiagoje plinta daug mažesniu greičiu.

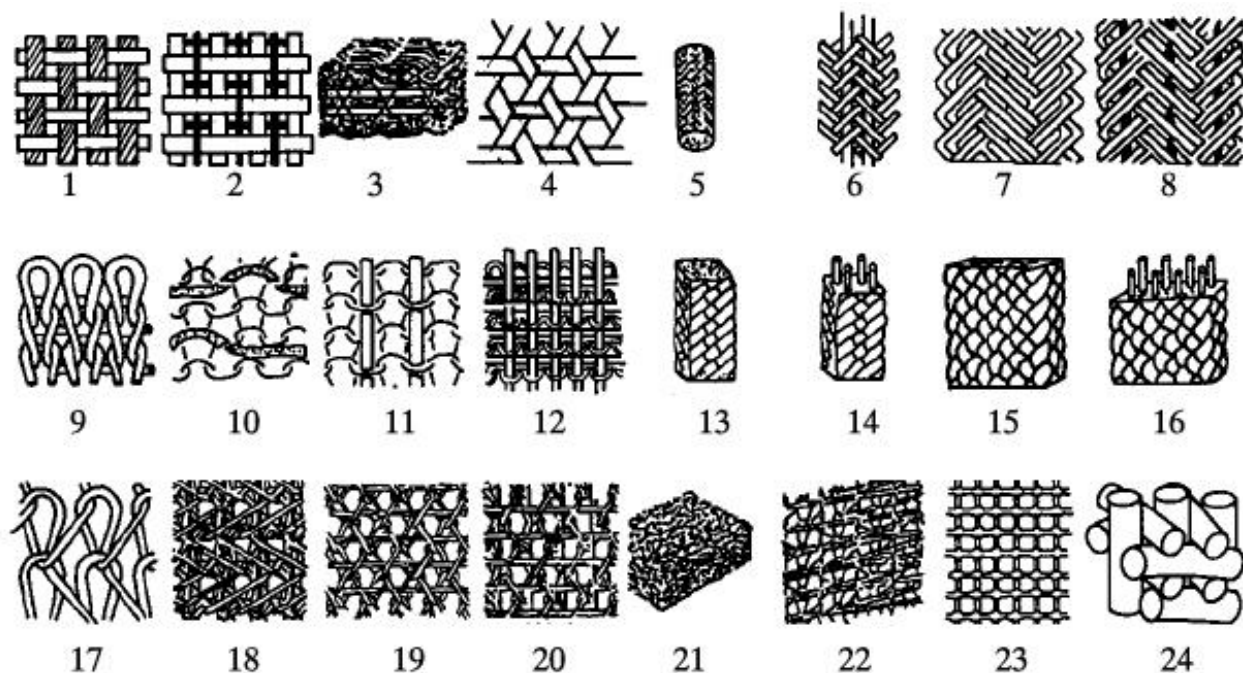
1.4 KOMPOZITAI SU ANGLIES MATRICA

Anglies – anglies kompozitai (AAK) pradžia galima laikyti 1958 metus, kai buvo pradėta JAV oro pajėgų kosminė programa, kurios įgyvendinimui reikėjo įvairių savybių kompleksu pasižyminčių medžiagų. AAK susideda iš anglies pluošto anglies matricoje. Nors abi sudėtinės dalys yra iš to paties elemento, kompozitų savybės gali būti labai skirtingos, priklausomai nuo anglies struktūros ir pluošto struktūros.

Armavimo karkasas audžiamas iš sausų anglies siūlų arba persiūtų anglies audinių. Anglies matrica (aukštoje temperatūroje įanglinta polimerinė matrica) yra panašių savybių, kaip ir anglies pluoštas. Ji perduoda apkrovą armuojantiems elementams, apsaugo pluoštą nuo aplinkos poveikio, izoliuoja vieną siūlą nuo kito bei varžo jų poslinkius.

AAK gamyba prasideda nuo tekstilinės preformos paruošimo, ant kurios vėliau suformuojama anglies matrica. Tekstilinė preforma reikalinga pluoštui išdėstyti tokia tvarka, kokia turi išlikti kompozito armuojančioje sistemoje po kompozito suformavimo. Armuojančią sistemą galima suskirstyti 4 grupes. Pirmajai grupei priskiriamos AS sudarytos iš neištisinio pluošto. Tokiose armuojančiose sistemose kontroliuoti pluoštinių dalelių orientaciją yra gana sunku. Antrai grupei priskiriamos AS, kurios ištisinis pluoštas turi vienkryptę orientaciją. Trečiai

grupei priskiriamos AS, kuriose ištisinis pluoštas sudaro plokštuminę susimaizgusią arba persipynusią sistemą (2-D). Ketvirtai grupei priskiriamos AS, ištisinis pluoštas yra įvairiai orientuotas, tiek plokštumoje, tiek erdvėje (3-D). Tekstilinės preformos apima paskutines tris grupes. AS dar gali būti skirstomos pagal įvairius požymius (4. pav.).



4 pav. Anglies pluošto armuojančių sistemų linijinės, plokštuminės ir erdvinės struktūros.
 1 –dviašis audinys, 2 – didelio modulio audinys, 3 – daugiasluoksnis audinys, 4 – triašis audinys, 5 –vamzdinis pynimas, 6 – vamzdinis pynimas su metmenimis, 7 – plokštuminis pynimas, 8 – plokštuminis pynimas su metmenimis, 9 – ataudų įmezgimas, 10 – ataudų įmezgimas su ataudais, 11 – ataudų įmezgimas su metmenimis, 12 – ataudų įmezgimas su ataudais ir metmenimis, 13 – kvadratinis pynimas, 14 – kvadratinis pynimas su metmenimis, 15 – erdvinis (3-D) pynimas, 16 – 3-D pynimas su metmenimis, 17 – metmenų pynimas, 18 – metmenų pynimas su metmenimis, 19 – ataudai įterpti į metmenų pynimą, 20 – ataudai įterpti į metmenų pynimą su metmenimis, 21 – panamos pynimas, 22 – kilpinis apjungimas metmenų kryptimi, 23 – dviašis apjungimas, 24 – XYZ išdėstymas.

Kompozitų su anglies matrica savybės priklauso nuo naudojamos dervos (fenolio formaldehidinė, epoksidinė fenolinė, poliimidinė ir kt.) savybių ir armuojančio pluošto išsidėstymo (chaotiškas, sluoksniuotas, erdvinis spiralinis).

Anglies ir anglies pluošto kompozitai atsparūs cheminiam poveikiui aukštesnėje temperatūroje (iki 227°C), o mechaninės savybės kinta nežymiai iki 2500°C. Jų stiprumo riba tempiant $\sigma_{ut} \approx 600$ MPa. Šie kompozitai naudojami chemijos įrengimuose, aviacijoje, raketų varikliuose ir kt.

AAK klasifikavimas

Kompozicinės medžiagos klasifikuojamos pagal kelis požymius:

- a) pagal matricos ir armavimo komponentų medžiagą;
- b) pagal struktūrą, t. y. komponentų tarpusavio išsidėstymą, geometriją;
- c) gamybos būdą;
- d) naudojimo sritį.

Kompozicinės medžiagos užpildas arba armuote dažniausiai būna kietos medžiagos: įvairaus ilgio pluoštas, audiniai, neaustinės medžiagos. Smulkūs užpildai vadinami nulinio matmens armavimo elementais. Jiems priskiriami medžio miltai, mineralų bei metalų milteliai, suodžiai ir kt. Labai paplitusios polimerinės kompozicinės medžiagos armuotos stiklo, anglies, boro, organiniais pluoštais. Armuojančiosios medžiagos - tai metalai ir jų lydiniai (plienas, berilis, titanas ir kt.), ne metalai (anglis, boras), keramika (AUO, TiC, SiC, AlN, TiB₂), stiklas (stiklas E, stiklas S), organinės medžiagos (iavsanas, kevlaras, polietilenas ir kt.).

Kompozicinių medžiagų klasifikacija yra gana sudėtinga, tačiau jas galima klasifikuoti priklausomai nuo fazių morfologijos ar komponentų geometrijos. Pagal šią klasifikaciją kompozicines medžiagas galima skirstyti į šias klases:

- dispersiškai sustiprintos kompozicinės medžiagos ir kompozicinės medžiagos, armuotos smulkiomis užpildo dalelėmis;
- pluoštinės kompozicinės medžiagos;
- sluoksniuotosios kompozicinės medžiagos.

Priklausomai nuo armuojančiųjų komponentų išsidėstymo ir jų dydžio kiekvienoje klasėje galima išskirti kelias poklases:

- submikrostruktūrinės kompozicinės medžiagos, kuriose dalelių dydis ar armuojančio plaušo storis mažesnis kaip 1 μm;
- mikrostruktūrinės kompozicinės medžiagos, kuriose armuojančiųjų elementų matmenys ar sluoksnio storis yra kaip 1 μm;
- makrostruktūrinės kompozicinės medžiagos, kuriose armuojančiųjų elementų matmenys yra mažesni arba plonesni už 0,1 mm.

Tai chemiškai labai inertiškų, mažo savitojo tankio, gerų elektrolizinių savybių, nemetalinių medžiagų grupė. Šių medžiagų šiluminio laidumo ir elektrinės varžos keitimo ribos yra labai plačios. Technikoje „anglinės medžiagos“ sąvoka tradiciškai siejama su medžiagomis,

turinčiomis grafito struktūrą, kuri gali būti tiek kristalinė, tiek visiškai amorfinė. Anglies pluošto-anglies substrato kompozicinės medžiagos klasifikuojamos pagal kelis požymius:

- bazinių medžiagų sudėtį;
- gamybos būdą;
- struktūrą; funkcinę paskirtį;
- naudojimo sritį.

Šios medžiagos yra palyginti brangios ir dažniausiai naudojamos medicinoje, aviacijoje, kosminiams aparatams, termobranduolinės sintezės aparatų mazgams, automobiliams, sportiniam inventoriui gaminti. Šias medžiagas sudaro armatūrinis karkasas ir šį karkasą užpildanti anglinė matrica [2].

Armavimo karkasui naudojami anglies siūlai ar pluoštas, iš kurių daroma erdvinė konstrukcija, suteikianti galutiniam produktui kryptingą savybių anizotropiją. Čia svarbu ne tik anglies pluošto charakteristikos, bet ir erdvinė kompozicinės medžiagos armuotės konstrukcija, kuri turi didelę įtaką užpildant karkasą angline matrica.

Pagal savo mechaninių savybių lygmenį anglies pluoštas skirstomas į mažo (7-104 MPa) ir didelio (15-104-45-104MPa) tamprio modulių pluoštus. Pluoštas (siūlai) skirstomi į tris pagrindines grupes: didelio tamprio modulio, didelio stiprio ir didelio pailgėjimo siūlus (1 lentelė). Anglies pluošto mechaninės savybės priklauso nuo žaliavos rūšies ir gamybos technologijos.

1 lentelė. Anglies siūlų savybės

Siūlų rūšis	d, μm	p, kg/m^3	σ , MPa (nutraukimo)	E_x , GPa
Aukštamodulis	8,3	2000	2100	413
Didelio stiprio	7,7	1800	2400...3200	240...290
Didelio pailgėjimo	6,9...7,4	1750	2300...2900	170...200

Tūriniai anglies pluošto karkasai gaminami įvairiais metodais: sausų siūlų audimu, siūlų apvyniojimu, susiuvimu, karkaso surinkimu iš standžių strypų arba taikant įvairių metodų kombinacijas. Kompozicinės medžiagos anizotropinės savybės gaunamos keičiant armuotės klojimo architektūrą. Kokią pasirinkti armuotės schemą sprendžiama pagal temperatūros ir jėgos laukų, veikiančių konstrukciją, pobūdį. Armavimui plačiai naudojami audiniai, turintys du, tris ar

daug (n kiekį) siūlų. Karkasams, audžiams iš trijų ir daugiau siūlų, reikalinga sudėtinga audimo įranga. Daug paprasčiau armavimo sistemos sudaromos iš tiesialinijinių elementų (strypų). Šiuo atveju siūlų ar plaušo pluoštas pratraukiamas pro akutes ir vėliau padengiamas kietikliu. Iš kietikliu sukietintų ruošinių daromi reikiamo profilio strypai. Iš strypų daromos vienos, dviejų, trijų ir daugiau krypčių armavimo konstrukcijos. Vienakrypčio pluošto išdėstymo kompozicinės medžiagos naudojamos kaip modelinės, kurias tiriant nustatomos medžiagos savybės, sąveika tarp plaušo ir matricos, medžiagos stiprumo ir struktūrinės charakteristikos. Plonalakščiams gaminiams naudojamos dvikrypčio armavimo karkasinės medžiagos. Efektyviausias yra daugiakryptis armavimas (2 lentelė). Didžiausias medžiagos užpildymo tankis gaunamas naudojant vienakryptę heksagoninę armavimo schemą. Visos kitos armavimo schemas turi mažesnę tūrinio užpildymo armuojančiąja medžiaga koeficientą.

2 lentelė. Kompozicinės medžiagos struktūros užpildymo armuote koeficientai

Armavimo krypčių skaičius	Siūlų klojimo būdas	Užpildymo armuote koeficientas μ_{ar}
Viena	Heksagoninis	0,97
Viena	Stačiakampis	0,785
Dvi	Sluoksninis (laisvas)	0,785
Trys	Stačiakampis (visose plokštumose)	0,589
Keturi	Heksagoninis transversinis-izotropinis	0,563

Pagal anglies matricos suformavimo būdą ant preformos, AAK gamybos būdai skirstomi į tris grupes:

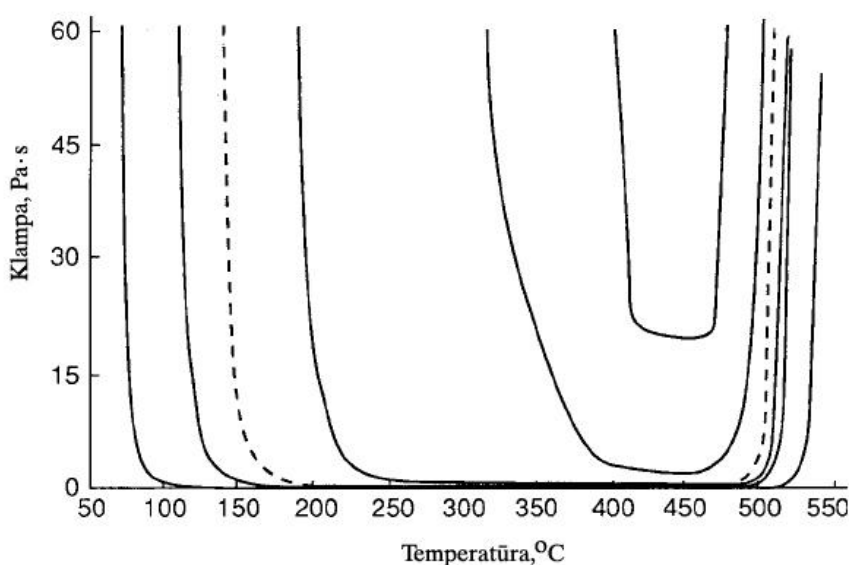
- 1) termoplastinės (mezofazinės) dervos infiltravimas-pirolizė;
- 2) termoreaktyvios dervos infiltravimas-pirolizė;
- 3) cheminis garų infiltravimas (CVI – chemical vapour infiltration).

Koks AAK gamybos būdas tinkamiausias didžia dalimi priklauso nuo gaminio geometrijos.

Ploniems gaminiais tinkamiausias yra CVI, o storiems – dervų infiltravimo-pirolizės būdai.

1.5 AAK KOMPOZITŲ GAMYBA

Gaminant AAK šiuo būdu, termoplastinė derva slėgio poveikyje užpildo sausą anglies pluošto preformą. Cheminė dervos sudėtis nulemia matricos mikrostruktūrą ir reakcingumą. Vienos dervos pirolizės metu sudaro grafitines matricas, kitos negali tokių sudaryti. Priklausomai nuo priemaišų, grafitizacija gali vykti lokaliai arba visame tūryje. Priemaišos taip pat gali būti katalizatoriaus aukštatemperatūrinės oksidacijos reakcijoms matricoje. Infiltravimo-pirolizės(karbonizacijos) ciklas gali būti atliekamas tiek normaliam, tiek padidintame slėgyje. Esant normaliam slėgiui karbonizacija atliekama kaitinant ruošinį iki 1000oC ir esant labai mažam azoto daliniam slėgiui. Karbonizacijos procesas gali būti apibūdinamas dervos klamos pokyčiu. Priklausomai nuo elementinės dervos sudėties ir jos terminės istorijos, matricos klampa mažėja kol visos deguonies, azoto ir sieros turinčios grupės suyra ir susidarantys junginiai pasišalina. Tolimesnis temperatūros kėlimas beveik nekaičia dervos klamos. Kai prasideda pirolizė, klampa pradeda staigiai didėti (5 pav.).



5 pav. Termoplastinės dervos klamos pokyčiai kaitinimo metu

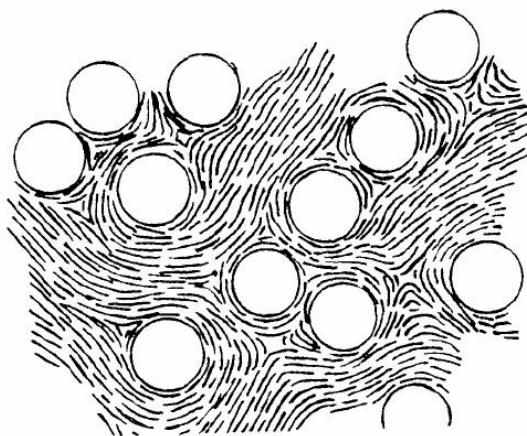
Mezofazės susidarymo kinetika priklauso nuo termoplastinės dervos sudėties, temperatūros, kaitinimo spartos, susidarantių mažamolekulių junginių pašalinimo spartos. Mezofazinės sferinės sritys atsiranda temperatūrai pasiekus 400oC, o vėliau jos koalescuoja, susidarant ištisinei fazei. Šioje stadijoje vyksta susidariusių skystųjų kristalų orientacija. Po to prasideda pirolizė, susidarant anglinei matricai. Po grafitizacijos tokios matricos yra didelio tankio $\sim 1,9 \text{ g/cm}^3$. Esant atmosferiniam slėgiui karbonizacijos išeiga siekia 50÷60 %. Jeigu karbonizacijos procesas atliekama lėtai arba padidintame slėgyje ($\sim 200 \text{ MPa}$), išeiga padidėja iki 70÷80%. Jeigu susidaranti mezofazinė derva yra stabilizuojama oksidacijos dėka prieš karbonizacijos pradžią, išeiga siekia iki 92%. Susidaranti C matricos struktūrą įtakoja

temperatūros ir slėgio dydžiai proceso metu. Atliekant karbonizaciją esant mažam slėgiui (~7 MPa) susidaro adatinė matricos tekstūra, kurioje adatų orientacija iškreipta dėl burbulų skverbimosi per ją karbonizacijos metu. Jei proceso metu būna vidutinis slėgis (~70 MPa), susidaro mozaikinė anizotropinė tekstūra. Esant dideliame slėgiui (~200 MPa), susidarančios mezofazinės sritys nekoalescuoja. Tada gaunama medžiaga pasižymi didesniu mikrotrūkių kiekiu, mažesnio dydžio grafitinėmis sritimis, kurios yra labiau reakingos. Tačiau taikant didelį slėgį padidėja išeiga, o daugkartinis tokio proceso kartojimas ant kompozito, gauto taikant mažesnį slėgį, leidžia išvengti didesnių ertmių likučio kompozite ir gauti didesnio tankio gaminį. furfurilo alkoholio arba fenol-formaldehidinės dervos tirpalai izopropanolyje. Norint gauti 1,8 g/cm³ tankio medžiaga, reikia atlikti iki penkių sutankinimo ciklų.

Matricos, susidarančios iš termoplastinės dervos

Priklausomai nuo AAK gamybos būdo, gali susidaryti skirtingos mikrostruktūros anglies matricos. Nuo jos mikrostruktūros priklauso kai kurios AAK savybės.

Ruošiant matricas iš termoplastinės dervos susidaro diskotinė skystakristalinė mezofazė, kurioje disko formos kristalinės struktūros išsidėsčiusios lygiagrečiai. Tokie sluoksniai pasižymi dideliu stiprumu sluoksnio plokštumoje, bet lengvai gali persidislokuoti kito sluoksnio atžvilgiu. Dėl to šie sluoksniai orientuojasi lygiagrečiai paviršiams, esantiems artimiausiai jiems. Šių reiškinių rezultatas yra toks, kad AS kiekvienas elementas būna apsuptas jo paviršiui lygiagrečiai orientuotu mezofazės sluoksniu, o po pirolizės susidaro didelio stiprio standūs grafitiniai koaksialiniai apvalkalai. Schematiškai toks mezofazės išsidėstymas pateiktas 6 pav.



6 pav. Matricos sluoksninis išsidėstymas, susidarantis iš mezofazinės dervos

Matricoms, gautoms iš mezofazinės dervos, būdinga:

- 1) susidaranti anglis pasižymi dideliu grafitizavimo laipsniu;

- 2) matricos ir AS sandūroje gausu mikrotrūkių, kurie kaitaliojasi su stiprios sankibos zonomis;
- 3) mikrotrūkliai matricoje yra mažesni ir pasitaiko dažniau negu sandūros vietose;
- 4) kristalitai matricoje yra didesni negu pluošte;
- 5) kristalitai išsidėsto lygiagrečiai pluošto paviršiui $0,2\div 6\ \mu\text{m}$ atstumu, o didesniais atstumais jų išsidėstymas yra daugiau atsitiktinis.

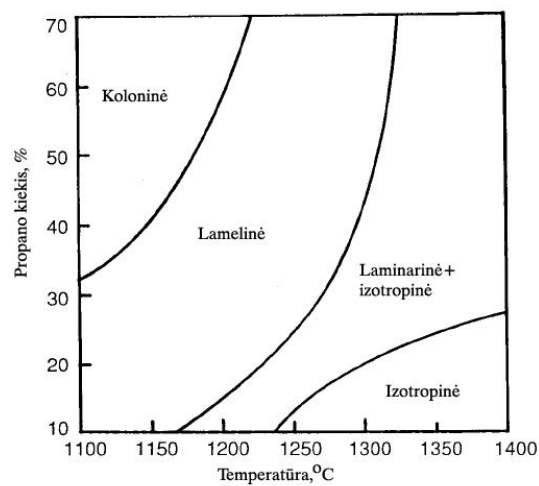
Matricos, susidaranti iš termoaktyvios dervos

Matricoms, gautoms iš termoreaktyvios dervos, būdinga:

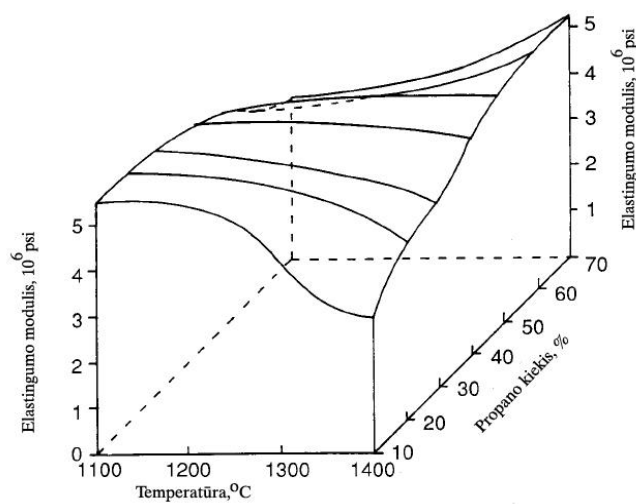
1. susidaranti anglis dažniausiai yra izotropinė, bet gali būti ir didelio orientacijos laipsnio. Orientacijos laipsnis priklauso nuo dervos savybių ir proceso sąlygų. Fenolines dervas yra sunkiau orientuoti negu furfurilo alkoholio dervas. Taigi kai kuriose matricos sritysepirolizės metu gali susidaryti grafitinės anglies zonos;
2. tarp matricos ir C pluošto, gauto iš mezofazinės dervos, sankiba yra silpna;
3. jeigu į termoreaktyvią dervą būna pridėta suodžių, apie šias daleles matricoje susidaro koncentrinės orientacijos sritys;
4. orientuotose srityse susidaro mikrotrūkliai ir tai yra mažesnio susėdimo, negu matricų gaunamų be suodžių, priežastis.

Matricos, susidaranti CVI procesuose

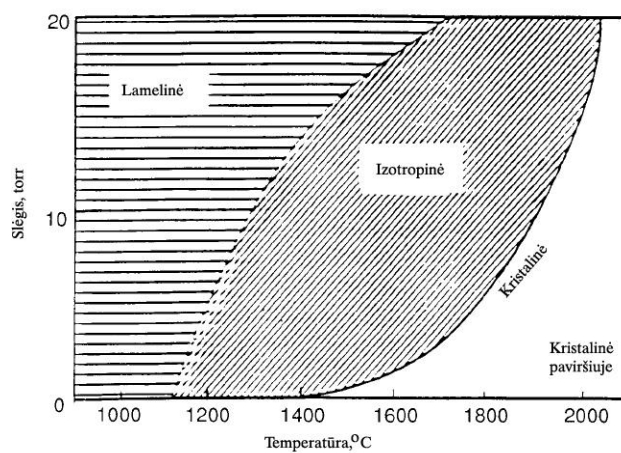
CVI procesuose susidaranti matricos mikrostruktūra gali būti įvairi (7 pav.). Priklausomai nuo dujų sudėties ir temperatūros gali susidaryti koloninė, lamelinė arba izotropinė C matrica. Aukšta temperatūra ir maža propano koncentracija skatina izotropinės matricos, o žema temperatūra ir didelė propano koncentracija – koloninės matricos susidarymą. Nuo šių sąlygų priklauso ir gaunamo produkto elastingumo modulis (8 pav.). Slėgio ir temperatūros derinys taip pat įtakoja susidaranti matricos mikrostruktūrą (9 pav.).



7 pav. Anglies matricos mikrostrutūros, susidarancios CVI proceso metu



8 pav. Kompozito elastingumo modulio priklausomybė nuo CVI sąlygų



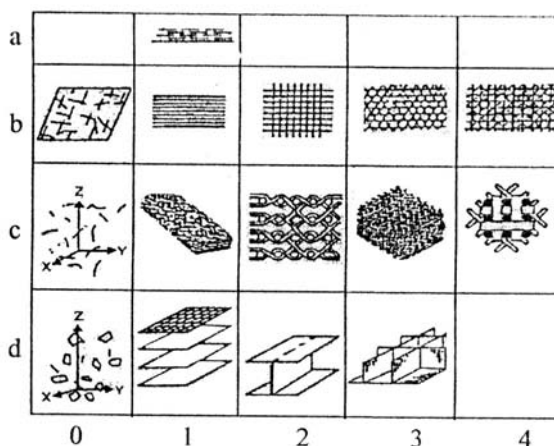
9 pav. Anglies matricos mikrostrutūros, susidarancios CVI proceso metu, priklausomybė nuo slėgio ir temperatūros

Matricoms, gautoms CVI procesuose, būdinga:

- 1) pirolitinė anglis nusėda ant gaminamo kompozito paviršiaus ir taip užkemša substrato poras;
- 2) priklausomai nuo sąlygų, matrica gali būti nuo izotropinės iki didelės orientacijos laipsnio anizotropinės;
- 3) sankaba tarp izotropinės matricos ir AS yra stipresnė negu tarp lamelinės ir AS;
- 4) lamelinėse matricose yra daug, $<1 \mu\text{m}$ ilgio ir $<0,1 \mu\text{m}$ pločio, mikroplyšelių. Izotropinėse matricose mikroplyšelių nėra.

1.6 KOMPOZICINIŲ KONSTRUKCIJŲ FORMAVIMAS

Gaminio stiprumas ir ilgaamžiškumas labai priklauso nuo kompozitą sudarančios polimero dervos, užpildų, armuojančio pluošto struktūros (9.3 pav.) ir savybių, pluošto būsenos polimero masėje (pluošto ilgio, jo orientavimo, gijų pynimo būdo, audinio struktūros).



10 pav. Kompozitus armuojančių pluoštų audinių klasifikavimas:

0-4 - armuojančių elementų tipai erdvėje (be krypties, vienos, dviejų, trijų, keturių krypčių); *a* - linijinis pluoštas; *b* - plokšti (2D) audiniai iš impregnuotų siūlų; *c* - erdvinės struktūros iš linijinių (3D) elementų; *d* - erdvinės struktūros iš plokščių elementų; *di* - korio tipo armatūra

Plokštieji audiniai kompozitų armavimui audžiami, o erdvinio pynimo -pinami specialiais įrengimais, mezgimo tipo mašinomis, dažnai formuojami rankiniu būdu. Kompozitų stiprumas ir kitos eksploatacinės savybės gerinamos sudarant pluoštinius karkasus iš kelių tipų pluoštų, turinčių skirtingų savybių. Pluoštai, audiniai ir karkasai įmirkomi ir pripildomi termoplastinių polimerų arba reaktoplastų lydalais, emulsijomis, tirpalais. Gauti kompozitai formuojami specialia įranga arba rankiniu būdu. Formavimo būdai: kontaktinis, vyniojimas, tempimas, valcavimas, presavimas slėgiu ir kt.

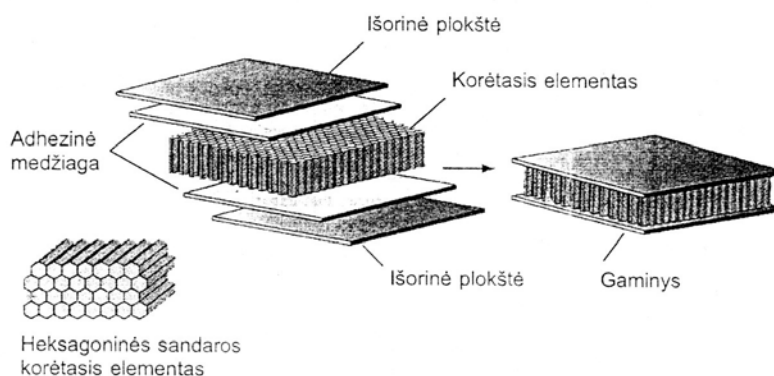
Kompozitų formavimas panaudojus lengvas konstrukcines medžiagas.

Plonasienių konstrukcijų iš kompozitų atsparumas lenkimui dažnai didinamas įterpus tarp kompozito lakštų poringo plastiko ar bičių korio formos šerdį. Atsparumas lenkimui padidėja iki kelių kartų, masė - mažiau kaip 10%. Poringi ir koriniai intarpai pagerina kompozito mechanines savybes, sumažina šilumos laidumą, padidina garso izoliacines savybes ir atsparumą ugniai. Lengvosios konstrukcinės medžiagos kompozitams formuoti: Putplasčiai. Šiuolaikinės technologijos leidžia daugelį medžiagų (taip pat stiklą ir metalus) pagaminti putų būsenos, tačiau plačiau taikomos tik putos iš polimerinių medžiagų - putplasčiai: polistireno (*PS*), polivinilchlorido (*PVC*), poliamidų (*PA*), poliuretano (*PU*), fenolio (*PF*), melamino formaldehidinių (*MF*) dervų ir kt. Putplasčiai kompozicinių konstrukcijų užpildams parenkami atsižvelgiant į eksploataavimo sąlygas: *PVC* putplasčiai naudojami konstrukcijoms, eksploatuojamoms vandenyje, poliuretano - darbui normaliomis sąlygomis, poliamidiniai - aviacijoje.

Putplasčių įterpimo būdai konstrukcijose: įklijuojant išpjautus ruošinius; suspaudžiant putplasčio blokus tarp montuojamų konstrukcijų; įpurškiant putplasčio masę į konstrukcijos ertmes ir kt. Įterpimo darbai dažniausiai atliekami rankomis.

Koriai. Tai erdvinės konstrukcijos, sudarytos iš vienodų stačiakampio, rombo arba trikampio formos elementų. Jie panašūs į bičių korių akutes. Pagrindinės medžiagos yra aliuminis, reaktoplastiniai polimerai.

Išorinės plonos plokštelės tolygiai išsklaido apkrovą, o užpildas konstrukcijai priduoda tvirtumą, pastovumą, lengvumą, termo, garso ir elektro izoliacija.



11 pav. Korėta konstrukcija

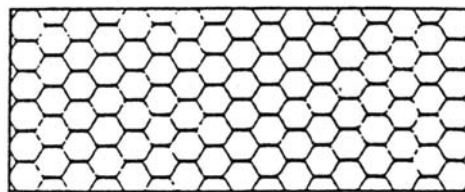
Korėta konstrukcija sudaryta iš dviejų išorinių plokštelių, kurios gali būti metalinės arba nemetalinės. Tarp dviejų išorinių plokštelių įklijuojamas korėtas elementas.

Šiuolaikinėje gamyboje korėtasis elementas gaminamas iš :

- plieno;
- titano;
- aliuminio lydinių;
- stiklo pluošto;
- organinių plastikų.

Priklausomai nuo elementų medžiagos juos yra suvirinamos, sulydomos, suklijuojamos.

Konstrukcijos tvirtumas priklauso ne tik nuo konstrukcijos medžiagų, bet ir nuo korėto elemento formos. Paplitusi forma yra šešiakampio formos, jos suteikia stabilią būseną, didelį suklijavimo plotą ir jie yra pakankamai lengvai gaminami. Priklausomai nuo nustatyto tikslo korėtas elementas gaminamas ir kitokios formos.



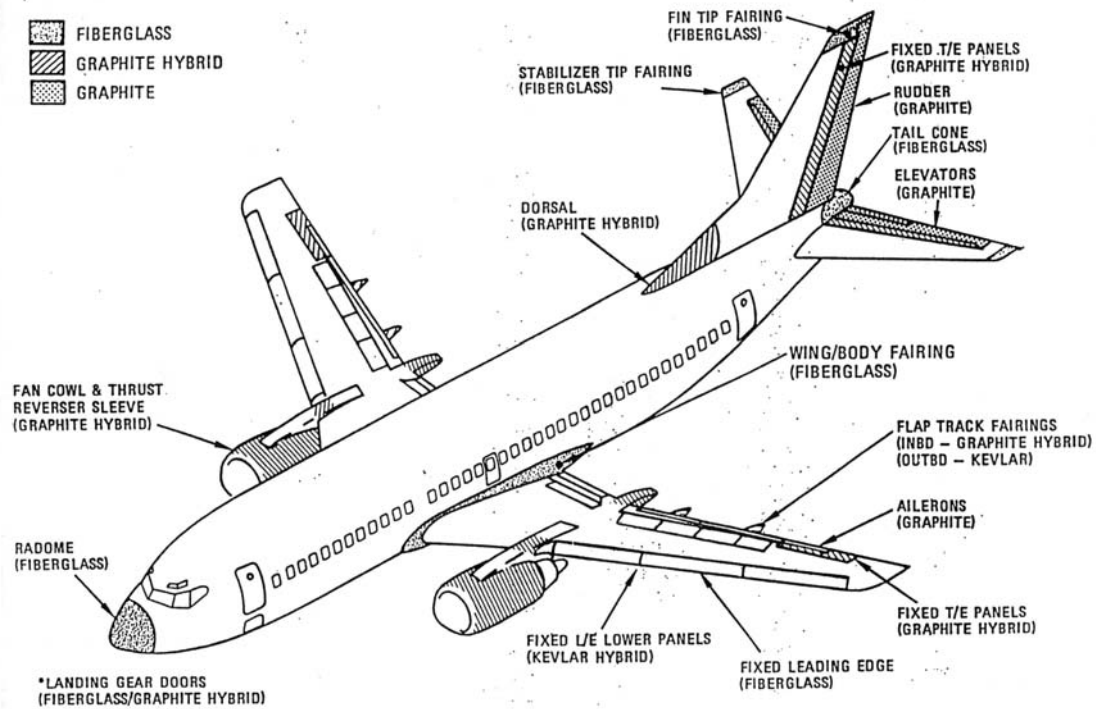
12 pav. Šešiakampės formos korėtasis elementas

Korėtos konstrukcijos gali būti:

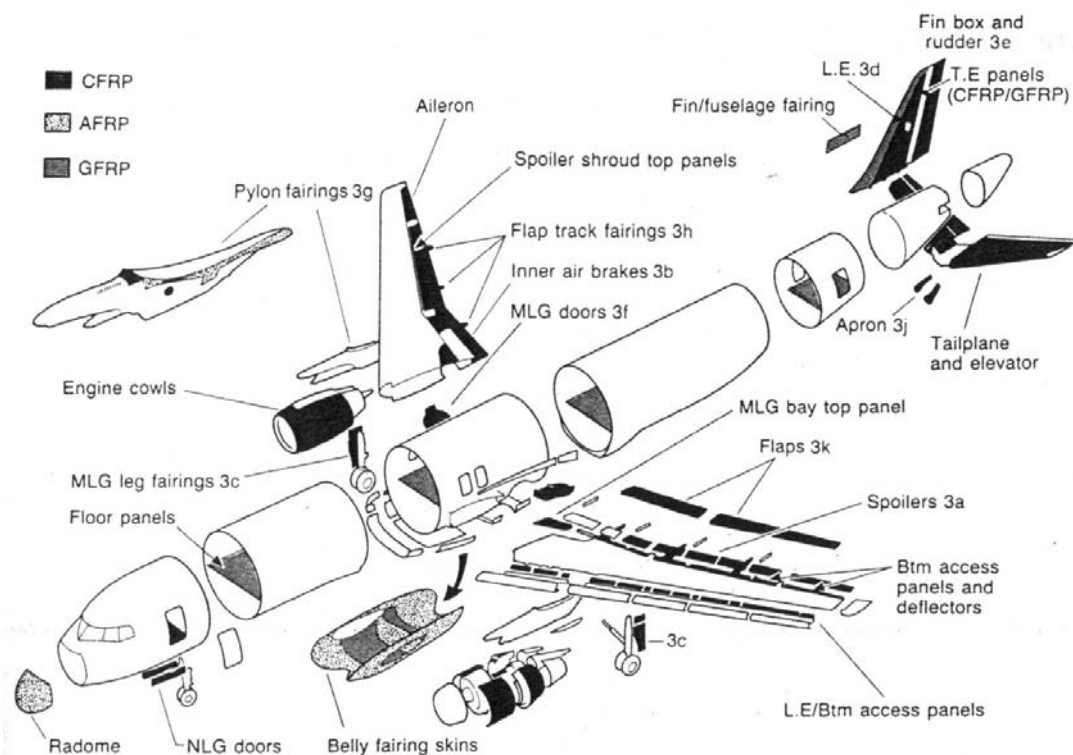
- plokščios formos
- išgaubtos formos
- apvalios formos
- nestandartinės formos

2. KOMPOZICINIŲ MEDŽIAGŲ TAIKYMAS AVIACIJOJE

Per šimtametę aviacijos erą orlaiviai konstruktyviai keitėsi. Visų laikų orlaivių konstruktoriai bandė sumažinti orlaivio svorį. Nuo orlaivio svorio priklauso ekonominiai eksploataavimo rodikliai. Kompozicinių konstrukcijų panaudojimas pagerino daugybę orlaivio savybių. 13 ir 14 paveiksluose matome *Boeing* ir *Aerobus* lėktuvus, kuriuose matome, kokia įvairovė konstrukcijų iš kompozicinių medžiagų naudojama orlaiviuose [14]. Tai yra orlaivių konstruktorių darbo rezultatai šioje srityje.

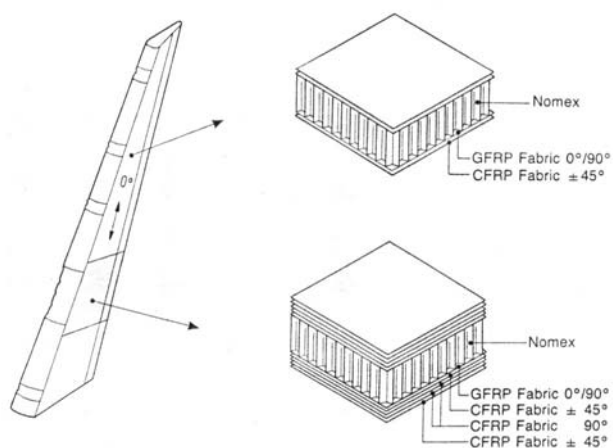


13 pav. Kompozicinių medžiagų panaudojimas *Boeing 737-300* orlaivyje



14 pav. Kompozicinių medžiagų panaudojimas *Airbus A310-300* orlaivyje

Daug orlaivio mazgų bei elementų yra gaminama iš korinių konstrukcijų. Tokios konstrukcijos yra tvirtos, lengvos, pakankamai paprastai gaminamos, patogi jų eksploatacija, yra pigios [3].



15 pav. Orlaivio elementai iš korinės konstrukcijos

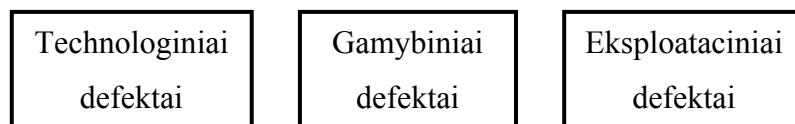
Iš 16 paveikslo matomos SAAB sraigto išpjovos galima spręsti apie šių elementų gamybos sudėtingumą ir būtiną svarbiausių elementų kontrolę eksploataavimo ir gamybos metu.



16 pav. SAAB-340 sraigto išpjova

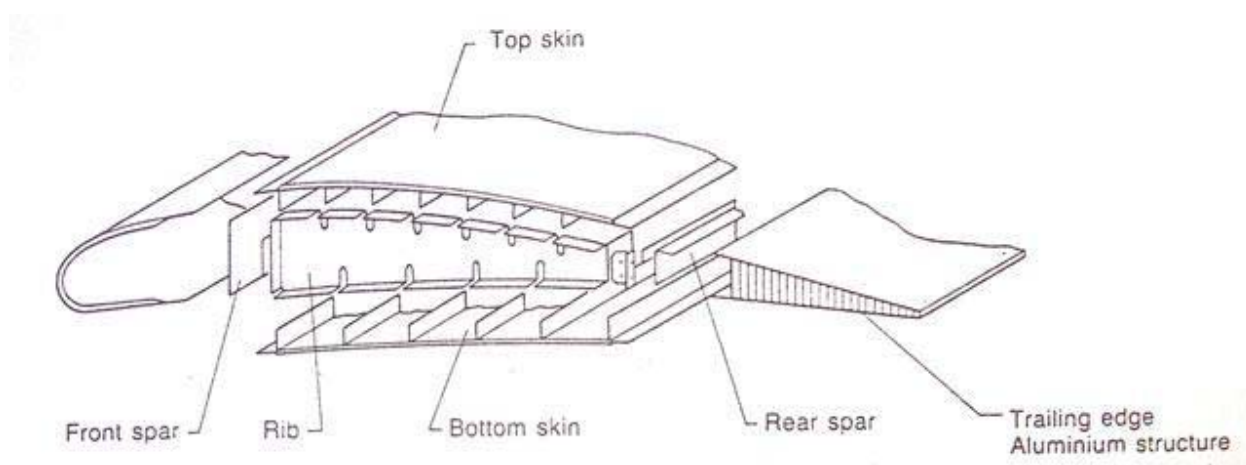
2.1 KOMPOZICINIŲ KONSTRUKCIJŲ DEFEKTAI

Didelės skraidymo aparatų apkrovos, daugelio mazgų darbas agresyvioje aplinkoje ir ilgalaikė eksploatacija sumažina medžiagų ir atskirų mazgų bei agregatų darbingumą. Tai sudaro prielaidas atsirasti defektams ir prasidėti irimui. Dalis defektų atsiranda ir gamybos metu. Taigi neardomos kontrolės metu nustatytus detalių ir mazgų defektus galima suskirstyti į gamybinius technologinius ir eksploatacinius (17 pav.).



17 pav. Kompozitinių konstrukcijų defektų klasifikacija

Tam, kad paprasčiau būtų analizuoti kompozitinių konstrukcijų defektus, pateikiame kompozicinės konstrukcijos gamybos technologiją. Kaip pavyzdį pažvelgsime į orlaivio stabilizatoriaus konstrukcijos elementus.



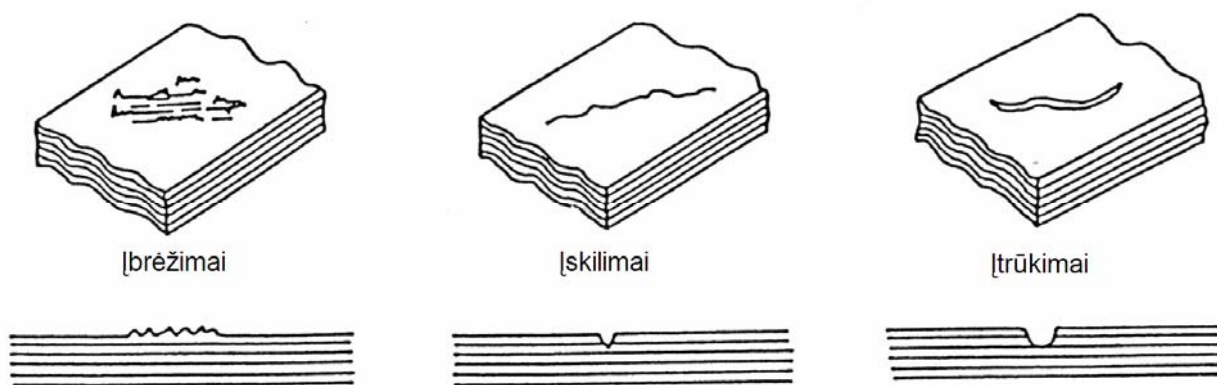
18 pav. Orlaivio kompozicinė konstrukcija

Tai sudėtinga konstrukcija, sudaryta iš kelių elementų. Pagrindiniai būtų lonžeronai ir nerviūros, kurių tikslas - sutvirtinti konstrukciją ir išorinį padengiančiąjį sluoksnį, kuris suteikia elementui formą. Kiekvieną elementą veikia įvairios mechaninės jėgos skrydimo metu, todėl jiems parenkamos skirtingos gamybos technologijos ir jau gatavi elementai sujungiami į visumą. Padengiančiajam sluoksniui gaminti naudojamas formavimo metodas. Tai yra daugiasluoksnės kompozicinės medžiagos. Dažniausiai tokie paviršiai gaminami rankiniu būdu arba panaudojant lengvąją mechanizaciją. Pagrindą sudaro ruošinys, atvirkščias reikiamai formai. Padengiamasis

sluoksnis gaminamas iš audinio, kuris yra padengiamas dervomis, išdžiūvus dervai nuo ruošinio nuimamas pagamintas elementas. Norint nuimti formą nuo ruošinio, prieš tai ruošinys sutepamas specialiu vašku arba silikonu. Sukuriant reikiamos charakteristikos formą, parenkamas tam tikras audinys ir derva, pagrindiniai aspektai buvo aprašyti anksčiau. Išpjautas audinys ištepamas derva ir klojamas ant ruošinio, sudarant sluoksniuotą paviršių. Sudėliojus visus sluoksnius forma yra suspaudžiama ir laukiama, kol išdžius derva. Priklausomai nuo dervos džiovinimo charakteristikų, ruošinys su forma padedami ten kur yra palaikoma reikiama temperatūra, slėgis, drėgmė. Turi būti griežtai vykdomas darbų eiliškumas. Tokia gamybos technologija yra sudėtinga, kurios metu gali atsirasti defektų.

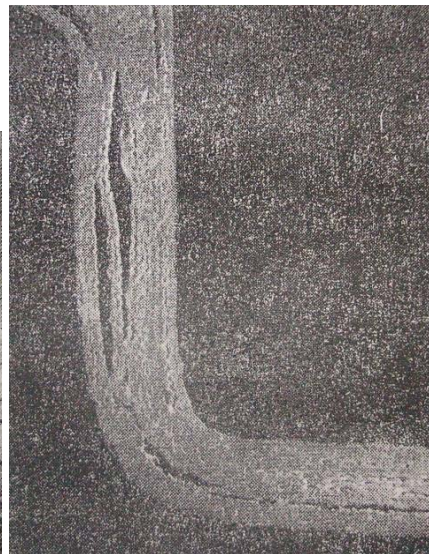
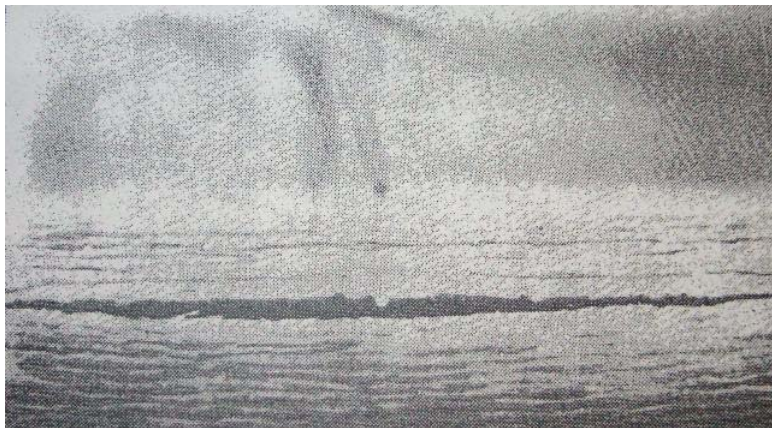
Projektuojant tokias konstrukcijas būtina įvertinti daug gamybos aspektų ir parinkti reikiamas gamybos technologijas. Nuo parinktų medžiagų priklausys būsimos konstrukcijos mechaninės bei eksploatacinės savybės. Cheminė dervos sudėtis nulemia matricos mikrostruktūrą ir reaktingumą. Infiltravimo-pirolizės (karbonizacijos) ciklas gali būti atliekamas tiek esant normaliam, tiek padidintame slėgyje. Mezofazės susidarymo kinetika priklauso nuo termoplastinės dervos sudėties, temperatūros, kaitinimo spartos, susidarančių maža-molekulių junginių pašalinimo spartos [8].

Gamybinius defektus galima suskirstyti į paviršinius ir vidinius. Paviršiniai defektai gali atsirasti dėl nelygaus ruošinio paviršiaus, netolygaus skiriamojo silikoninio sluoksnio, atsiradusių nešvarumų paviršiuje. Taip pat ir dėl mechaninio poveikio.

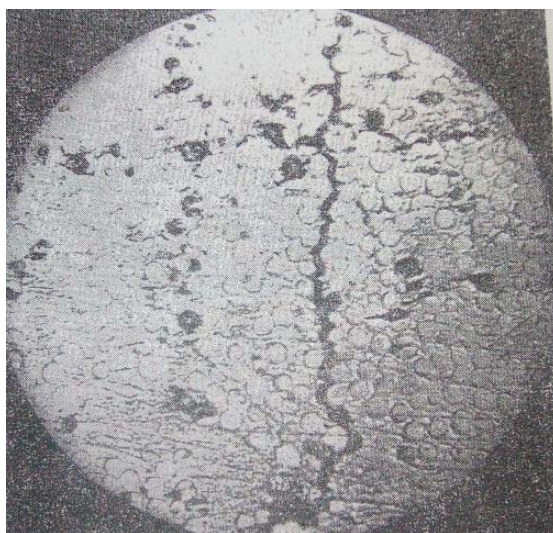


19 pav. Paviršinių defektų pavyzdžiai

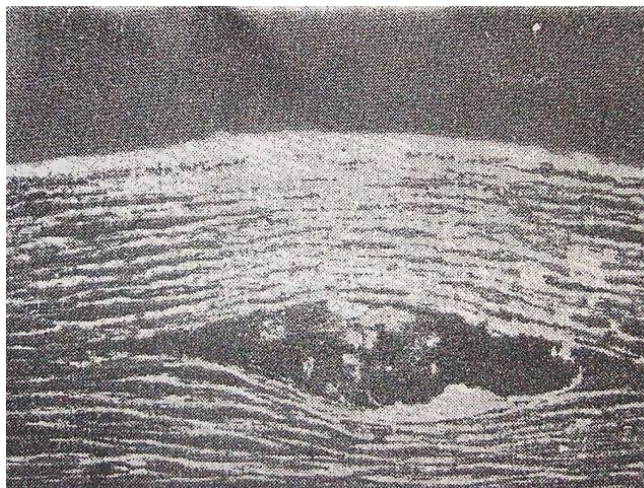
Gamybiniai defektai atsiranda liejimo ir lydymo metu, valcuojant, kalant, sujungiant suvirinimo, litavimo, klijavimo būdais bei terminio, elektrocheminio ir mechaninio apdirbimo metu. Dažniausia atsirandantis defektas gaminant sluoksniuotas konstrukcijas yra atsisluoksniavimas, oro intarpai, priemaišos, mechaniniai įtrūkimai arba įskilimai.



20 pav. Atsisluoksniavimų pavyzdžiai



21 pav. Skersinis audinio įtrūkimas



22 pav. Pašalinė medžiaga tarp sluoksnių

Ekspluataciniai defektai atsiranda gaminiui išdirbus tam tikrą laiką ir gali būti skirstomi į du pagrindinius pogrupius: įvairios prigimtys (nuovargio, korozinio nuovargio, terminio nuovargio, valkšnumo, terminiai, vienkartinių apkrovų) plyšiai ir pažeidimai dėl korozijos (vientisi, taškiniai žaizdų ir įpjovų pavidalo, tarpkristaliniai, išsisluoksniuojantys ir kt.). Labiausiai paplitęs ir pavojingiausias skraidymo aparatų detalių defektas yra nuovargio plyšiai. Jų atsiranda ne tik dėl kintamų apkrovų poveikio, bet ir dėl įvairių defektų įtakos. Kitos rūšies pavojingų defektų atsiranda dėl korozijos [5].

3. ULTRAGARSAS IR JO PANAUDOJIMAS

Ultragarsas – tai elastingos bangos, kurių dažnis viršija žmogaus girdos viršutinę ribą (15-20 kHz). Ultragarso dažnio viršutinę ribą lemia medžiagos sandara: dujų elastingų bangų ilgis didesnis 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 ultragarsą. Dujose ir skysčiuose gali sklisti tik išilginės, kietuosiuose kūnuose – išilginės ir skersinės elastingos bangos. Jos sklinda kryptingai, nes dažniausiai palyginti su ultragarso šaltinio skersmeniu yra trumpos. Ultragarso sklidimo kryptis tiriama geometrinės akustikos metodais. Ultragarsas nuo didelių aplinkos nevienalytiškumų atspindi ir lūžta. Ultragarsą galima fokusuoti akustiniais lęšiais ir reflektoriais. Jo sklidimo 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.

Ultragarsą skleidžia gamtiniai triukšmo šaltiniai (lietus, griaustinis 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 naudojamos 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 pjovimo, graviravimo ir suvirinimo staklės; emulgatoriai; dispergatoriai; lituokliai; dulkių, suodžių, aerozolių ir suspensijų filtrai; kristalizatoriai; medicinoje – fizioterapijos aparatai; chirurginiai prietaisai; ultragarsiniai vibraciniai mikromanipulatoriai; inhaliatoriai; chirurginių instrumentų, mėgintuvėlių, pipečių plovimo vonios. Kauno politechnikos institute kuriami: ultragarsiniai interferometrai; nuotolio, temperatūros, srauto greičio matuokliai; skleidimo 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.

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. Susideda 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 siūstuvai skleidžia ultragarsą, kuris, atsispindėjęs 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 buna 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).

3.1 GARSO BANGŲ ATSPINDYS IR LŪŽIMAS

Garso bangos atspindys gali vykti, kai banga sklinda per dviejų skirtingų terpių ribą, pavyzdžiui iš oro į vandenį, iš oro į metalą ir pan. Paprastai dalis garso bangos atsispindi, t.y. grįžta į pirmąją terpę, o dalis yra sugerama ir perduodama į kitą terpę. Šiuo momentu vykstant garso bangos lūžimui, keičiasi bangos sklaidimo kryptis naujoje terpėje, nes joje keičiasi bangos sklaidimo greitis. Vadinasi, garso bangai patekus į dviejų terpių ribą, dalis gali atsispindėti nuo tos ribos, dalis lūžti ir patekti į kitą terpę. Kitoje terpėje lūžusi banga gali būti sugerama, arba gali išeiti iš tos terpės. Garso bangos atspindžio ir lūžio dėsniai yra analogiški šviesos atspindžio ir lūžimo dėsniams.

Kiekvienu atveju dviejų terpių ribai galima surasti garso bangos atspindžio r ir praleidimo τ faktorius. Šie faktoriai priklauso nuo terpės banginės varžos. Atspindžio faktorius lygus atspindėtosios P_1' ir kritusios P_1 garso galių santykiui arba

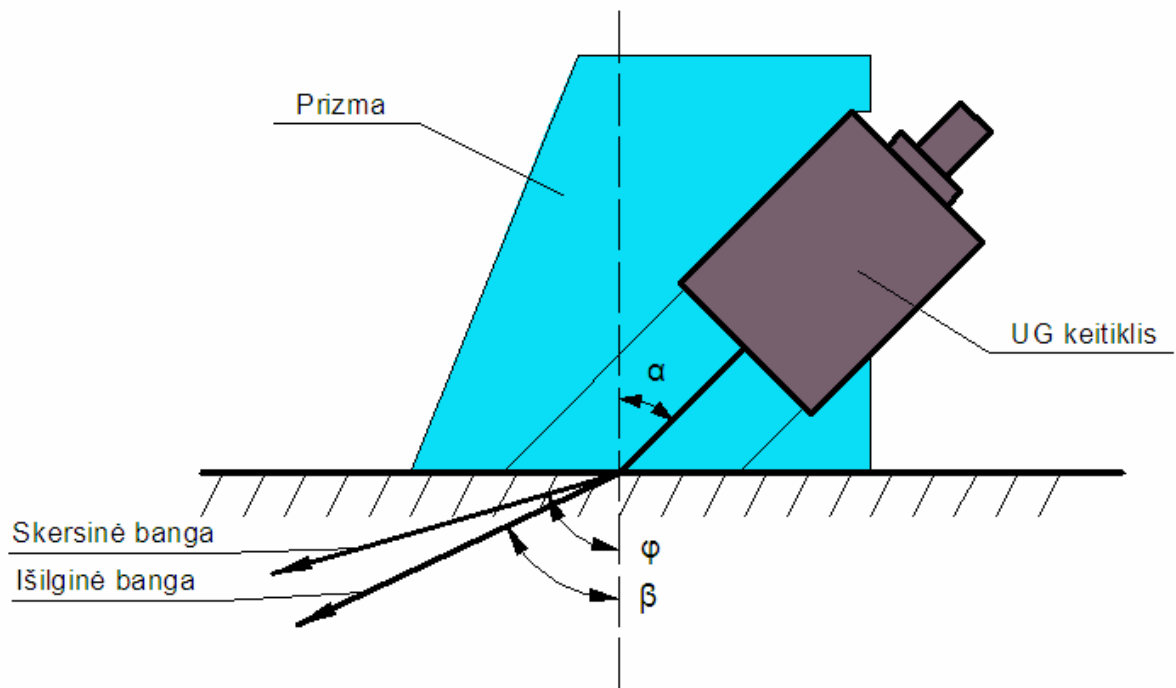
$$r = \frac{P_1'}{P_1} \text{ arba išreiškus per tų terpių bangines varžas } r = \left| \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right|.$$

Praleidimo faktorius lygus praleistos ir krintančios garso galių santykiui

$$\tau = \frac{P_2}{P_1} \text{ arba išreiškus per tų terpių bangines varžas } \tau = \frac{4Z_1Z_2}{|Z_1 + Z_2|}.$$

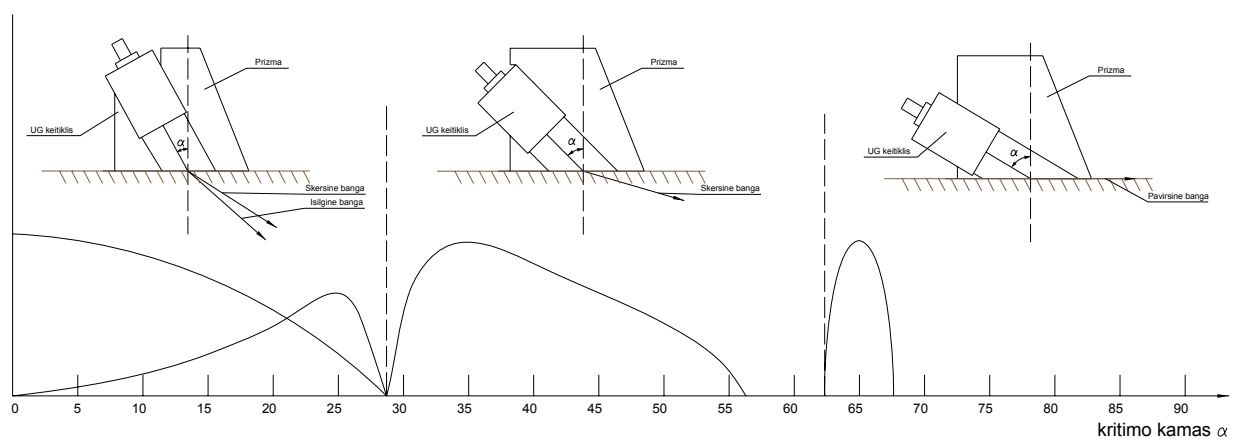
Čia formulėse $Z_1 = \rho_1 c_1$ - pirmosios terpės banginė varža, o $Z_2 = \rho_2 c_2$ - antrosios terpės banginė varža.

Be atspindžio ir lūžio dar gali vykti garso bangos sklaidos reiškinys, kurį apibūdina faktorius δ , kuris lygus išsklaidytos ir krintančios garso galių santykiui [6].



23 pav. Krentančios bangos pasiskirstymas į dvi dedamąsias

Kai banga sklinda per dviejų skirtingų terpių ribą, krentanti banga pasiskirsto į dvi dedamąsias: skersinę bangą ir išilginę. Didinant kampą α , pradžioje išilginės bangos kampas pasiekia kritinį kampą, o toliau didinant kampą α ir išilginės bangos kampą. Pasiiekus tam tinkamą kampą antroje terpeje atsiranda paviršinė banga, kuri sklinda kūno paviršiuje. 23 paveiksle matoma krentančios bangos pasiskirstymo priklausomybė nuo kritimo kampo.



24 pav. Krentančios bangos pasiskirstymo priklausomybė nuo kritimo kampo

3.2 AKUSTINIAI VIRPESIAI IR BANGOS

Akustiniam neardomosios kontrolės metodui naudojami ultragarsinių ir garsinių diapazonų virpesiai. Virpesių dažnis nuo 50 Hz iki 50 MHz. Virpesių intensyvumas paprastai nedidelis, neviršija 1 kW/cm². Tokie virpesiai vyksta aplinkos tamprių deformacijų srityje, kur įtempimai ir deformacijos susieti proporcinga priklausomybe (tiesinės akustikos sritis).

Ultragarstinėje echoskopijoje, priklausomai nuo tiriamų medžiagų savybių, naudojami įvairūs tampriųjų bangų tipai: išilginės, skersinės (šlyties) ir paviršinės bangos.

Išilginės ultragarsinės bangos pasižymi didžiausiu sklidimo greičiu, kuris nustatomas adiabatiniu spūdimu β ir medžiagos tankiu ρ :

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho \cdot \beta}} \quad (1)$$

Kietoms medžiagoms vietoj adiabatinio suspaudžiamumo dažniau naudojamas atvirkštinis dydis - turinio tamprumo modulis B. Tada išraiška modifikuojama tokiu būdu:

$$c = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (2)$$

Daugeliui medžiagų (neribotoje aplinkoje visose medžiagose $c = \text{const.}$) išilginių ultragarsinių bangų greitis nepriklauso nuo dažnio. Bendru atveju ultragarso greitis priklauso nuo temperatūros. Temperatūrinis ultragarso greičio koeficientas daugeliui skysčių neviršija 0.3 % vienam laipsniui, o kietiems kūnams jis dar mažesnis. Atsižvelgiant į tai, kad echoskopai paprastai dirba siaurame temperatūrų diapazone, temperatūrinės ultragarso priklausomybės galime nepaisyti. Anizotropinėse aplinkose ultragarsinių bangų greitis priklauso nuo jų sklidimo krypties. Tai ypač charakteringa monokristalinėms medžiagoms.

Skersinių (šlyties) ultragarso bangų sklidimo greitis žymiai mažesnis už išilginių bangų greitį. Šlyties bangų sklidimo greitį galima paskaičiuoti iš formulės (1.2), pakeitus joje tūrinį tamprumo modulį B šlyties moduliu μ . Tada :

$$c_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (3)$$

Paviršinių ir normalinių ultragarso bangų sklaidimo greitis yra dar mažesnis nei skersinių bangų. Normalinių bangų greitis pagrįste priklauso nuo ultragarsinių virpesių dažnio ir aplinkos sluoksnio, kuriuo jos sklinda, storio. Šios normalinių ultragarsinių bangų savybės plačiai naudojamos plonų lakštų, plėvelių ir vamzdžių neardomajai kontrolei tam, kad rasti defektus išsidėsčiusius ne tik skersai, bet ir išilgai bangų sklaidimo kryptčiai.

Paviršinėje bangoje dalelės atlieka ir išilginius ir skersinius svyravimus. Paviršiniai svyravimai sklinda detalės paviršiuje, svyravimai gęsta pasiekus didesnę gylį. Plotis sluoksnio kuriame sklinda paviršinė banga yra ne didesnė negu 2 bangos ilgiai. Esant darbo dažniui 0,5-10 MGz gaunamas sluoksnio plotys 6,0 – 0,3 mm. Tai yra kuo didesnis svyravimo dažnis tuo mažesnis paviršiaus sluoksnis kuriame sklinda paviršinė banga [11].

$$p=2 \lambda_{\text{pav}} \quad (4)$$

Generuojant paviršinius ultragarsinius bangas galima nagrinėti plonų lakštų ir plokštelių struktūras.

Tampriosios kietų kūnų savybės charakterizuojamos dvejomis nepriklausomomis tamprumo konstantomis, pavyzdžiui, tamprumo moduliu E ir šlyties moduliu G. Išilginių ir skersinių bangų greičiai beribėje aplinkoje gali būti naudojami kaip dvi tamprumo pastoviosios. Šių greičių santykis priklauso nuo Puasono koeficiento ν .

Akustinio slėgio santykis su tamprios bangos virpesių greičiu vadinamas akustiniu impedansu. Bendru atveju šis parametras yra kompleksinis. Beribei erdvei, kurioje ultragarsinės energijos nuostoliai labai maži, santykinis mechaninis impedansas yra realus dydis, lygus medžiagos banginei varžai Z [7]:

$$Z = \rho \cdot c \quad (5)$$

Tamprių bangų sklaidimo greitis, medžiagų tankis ir banginė varža kai kuriose medžiagose pateiktas lentelėje 3.

3 lentelė. Įvairių aplinkų akustinės savybės

Medžiaga	Tankis $\rho \cdot 10^{-3}$,	Bangų skridimo greitis $c \cdot 10^{-3}$, m/s			Banginė varža
	kg/m ³	Išilginių	Skersinių	Paviršinių	$Z \cdot 10^{-6}$, kg/(m ³ c)
1	2	3	4	5	6
Aliuminis	2.7	6.26	3.08	2.8	16.9
Berilis	1.82	12.8	8.71	8.71	23.3
Bronza	8.5-8.9	3.5-3.8	2.3-2.5	2.1-2.3	31-33
Auksas	19.3	3.24	1.20	1.20	62.5
Geležis	7.8	5.91	3.23	3.00	46.2
Varis	8.9	4.66	2.26	2.26	41.5
Plienas atsparus korozijai	8.03	5.66	3.12	3.10	45.5
anglingas	7.80	5.90	3.26	3.00	46.2
Organinis stiklas	1.18	2.65-2.73	1.12-1.13	1.05	3.0-3.2
Vulkanizuota guma	0.9-1.6	1.5-2.3	-	-	1.3-3.7
Stiklas	2.6	5.7	3.4	3.1	14.5
Tekstolitas	1.2-1.3	2.63	-	-	3.1-3.9

Neardančiosios kontrolės metodai - skirti medžiagų defektams aptikti, struktūrai ir fizinėms savybėms įvertinti bei gaminių geometriniams parametrų kontroliuoti, nepažeidžiant jų vartotojiškų savybių, plačiai paplitę moksliniuose tyrimuose ir gamyboje. Pagal tai, kokiais fiziniiais reiškiniais remiasi, šie metodai skirstomi į akustinius, kapiliarinius, magnetinius, šiluminius, nuotėkių paieškos, elektrinius ir elektromagnetinius (sūkurinių srovių). Pagal pritaikymą, universalių kontrolės metodų nėra, kiekvienas iš jų dažniausiai tinka tik konkrečioms uždavinėms spręsti.

Gaminant, eksploatuojant ir remontuojant aviacinę techniką, atsakingiausių detalių techninė būklė dažniausiai įvertinama magnetiniais, kapiliariniais, sūkurinių srovių, akustiniais, radiaciniais ir optiniais neardančiosios kontrolės metodais. Tokių svarbių detalių - kaip kompresoriaus ir turbinos mentelės bei diskai, taip pat kitų labiausiai apkrautų konstrukcijų detalių techninės būklės analizė atliekama neardančiosios kontrolės metodais, leidžia nustatyti detalių darbingumą, laiku aptikti nuovargio plyšius bei intensyvų susidėvėjimą ir pažeidimus, aptikti nuovargio plyšių atsiradimą, nustatyti plyšių dilimo priežastis ir imtis priemonių konstrukcijos gedimams išvengti.

3.3 ULTRAGARSINIAI NEARDAMOS KONTROLĖS METODAI

Ultragarsinė diagnostika – tai techninių įrenginių ir gyvų organizmų tyrimo ultragarso bangomis metodų visuma. Būna medicininė ir techninė, aktyvioji (tiriamos atsispindėjusios arba specialiai objekte sužadintos ultragarso bangos) ir pasyvioji (tiriamos paties objekto skleidžiamos ultragarso bangos).

Techninė ultragarsinė diagnostika – būna aktyvioji ir pasyvioji. Aktyvioji techninė ultragarsinė diagnostika: techniniame įrenginyje arba jo dalyje sužadinamos ultragarso bangos; per jį sklindančių arba nuo jo atsispindėjusių ultragarso bangų charakteristikos analizuojamos. Pvz., matuojant aukštos temperatūros dujų ir plazmos srautuose ultragarso bangų sklidimo greitį ir dažnines sklaidos charakteristikas, nustatomos šių srautų sklidimo ypatybės. Pasyvioji techninė ultragarsinė diagnostika: analizuojamos įrenginio spinduliuojamos ultragarso bangos, rodančios įrenginio trūkumus. Taip nustatoma judančių elementų (pvz., guolių) kokybė, randamos suslėgtų dujų nuotėkio vietos.

Ultragarsinė defektoskopija – defektoskopija, kuria ieškoma gaminio paviršinių bei vidinių defektų ultragarso virpesiais. Jie sukeliami ir priimami ultragarsiniu keitikliu. 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.

Vienas iš labiausiai paplitusių neardomosios kontrolės metodų yra ultragarsinis metodas. Ultragarsinė echoskopija – tai vizualios informacijos apie vidinę įvairių objektų ir aplinkų struktūrą gavimo metodai ir techninės priemonės, naudojant ultragarsinių signalų atspindžio, išsklaidymo ir absorbcijos reiškinius, kurie vyksta sąveikaujant ultragarsui su tiriamą aplinką. Kuriant ultragarsines echoskopijos priemones, kaip pagrindas naudojamas ultragarsinių bangų gebėjimas sklisti tiesiai, pastoviu greičiu vienalytėje aplinkoje ir atsispindėti echo pavidalu nuo aplinkos nevienalytiškumų ir jų ribų, kurie charakterizuojami akustinio impedanso pasikeitimu. Tai leidžia aptikti ir atvaizduoti tiriamos aplinkos ne vienalytiškumus, nustatyti jų padėtį, linijinius matmenis, savybes ir kitas fizikines charakteristikas.

Norint gauti informaciją apie tiriamų objektų erdvines koordinatas ir fizikines savybes, reikia skenuojančiais echoskopais išmatuoti echo-signalų amplitudes ir uždelsimus, taip pat nustatyti ultragarsinio spindulio erdvinę padėtį. Todėl ultragarsinį echoskopą galima nagrinėti kaip daugiakanalį matavimo prietaisą, kur kiekvieną matuojamą dydį atitinka savas matavimų kanalas. Pavyzdžiui, echo-signalų uždelsimas, zonduojančių impulsų atžvilgiu, matavimo kanale nustatomos išilginės nevienalytiškumų koordinatės, o ultragarsinio spindulio erdvinės padėties nustatymo kanale priklausomai nuo realizuojamo skenavimo būdo - kampinės arba linijinės

koordinatės. Nurodytų dydžių bendras matavimas leidžia nustatyti įvairias tiriamų objektų geometrines charakteristikas: plotus, perimetrus, nevienalytiškumų tūrius ir atstumus tarp jų, o taip pat nurodytų dydžių kitimą laike. Matuojant echo-signalų amplitudės galime nustatyti aplinkos charakteristikas, susijusias su zondojuančių impulsų absorbcija, išsisklaidymu ir atspindžiu.

Daugeliu praktinės ultragarsinės defektoskopijos naudojimo atvejų echo-signalų amplitudės nustatomos aplinkos akustinio impedanso gradientais (akustiniu kontrastu) ir nevienalytiškumų (defektų) dydžiu.

Ultragariniu neardomosios kontrolės metodu galima nustatyti visas tris erdvines tiriamo defekto koordinatas. Priklausomai nuo to kiek erdviųjų koordinačių matuojame, ultragariniai echoskopai skirstomi į vienmačius ir dvimačius.

Vienmatės ultragarsinės vizualizacijos prietaisais nustatomos echo amplitudės ir priėmimo laikas, kuriuos gauname zondojuant tiriamą aplinką viena kryptimi, atitinkančia ultragarinio spindulio kryptį. Tokie prietaisai užtikrina vienmačių A- tipo echo gramų formavimą, charakterizuojančių aplinkos nevienalytiškumų padėtį vienoje išilginėje koordinatėje.

Skenuojant dvimačiais echoskopais formuojami tiriamos aplinkos skerspjūvio ultragariniai echo vaizdai skersinėje arba išilginėje spindulio atžvilgiu plokštumose. Pagal jas galima išmatuoti išilginę ir skersinę arba dvi frontales erdvines koordinatas. Pirmu atveju echo vaizdavimas vadinamas skersiniu arba B-tipo, antru - frontaliu arba C-tipo. Šie echo vaizdai gali būti statiniai arba dinaminiai priklausomai nuo to, ar juose realiame laiko mastelyje vaizduojami judantys ar nejudantys objektai.

Ultragariniu metodu galima aptikti įvairius skirtingos prigimties defektus visuose plienuose ir lydinuose (magnetiniuose ir nemagnetiniuose), iš kurių gaminamos lėktuvų, sraigtasparnių ir aviacinių variklių detalės ir mazgai. Išimtį sudaro tik kai kurie ugniai atsparūs lydiniai, naudojami aviacinėse dujų turbinose. Svarbiausias šio metodo privalumas yra tai, kad juo galima aptikti vidinius defektus dideliame gylyje.

Tačiau šis metodas turi ir trūkumų: reikia specialių keitiklių, taip pat papildomos įrangos kiekvienam mazgui ar detalei, negalima tiksliai nustatyti defekto matmenų ir pobūdžio. Netaikytinas šis metodas ir detalėms su gręžtinėmis skylėmis, grioveliais, nuožulomis ir pan.

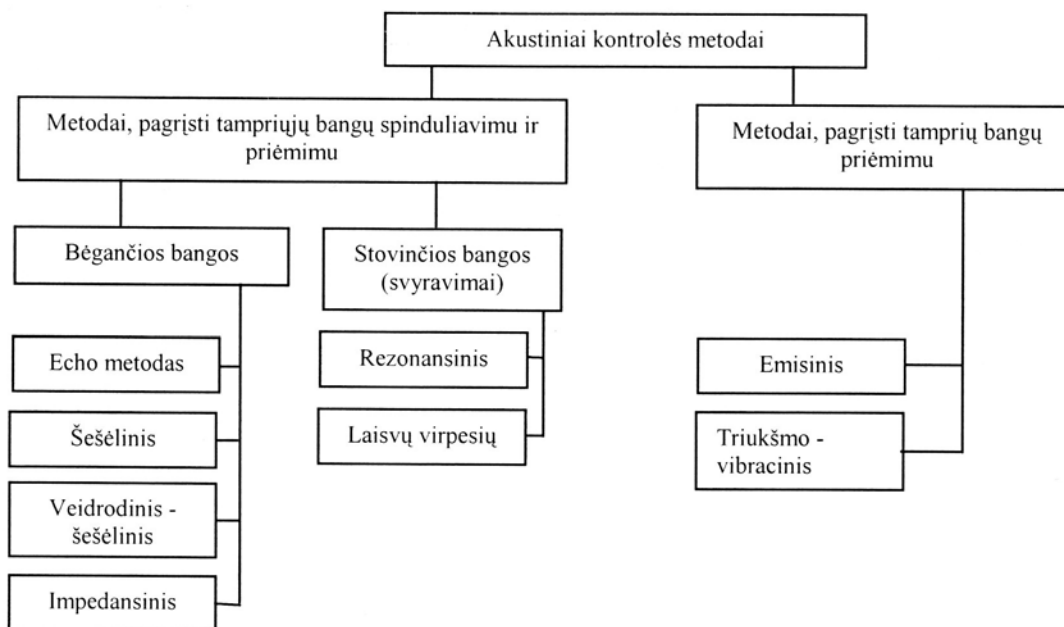
Šiuolaikiniais ultragariniais defektoskopais, sukeliant išilgines ir šlyties bangas, galima aptikti medžiagoje tuštumas, kurių plotas 1...1,5 mm².

Akustinis impedanso metodas aviacijoje daugiausiai taikomas konstrukcijų atsisluoksniavimams ir atsiklijavimams aptikti. Paprastai aptinkami tokie atsisluoksniavimai ir atsiklijavimai, kurių plotas ne mažesnis kaip 25 mm².

Ultragarsinis metodas remiasi medžiagoje sužadintų tampriųjų ultragarso bangų sklidimu. Jei bangų sklidimo kelyje yra plyšio, nevysiško suvirinimo ar dujų poros, šlako arba nemetalinių priemaišų pavidalo defektas, tai medžiagos akustinės savybės gerokai pasikeičia, palyginti su ta pačia medžiaga, kuri defektų neturi.

3.4 KONTROLĖS METODŲ KLASIFIKACIJA

Paprastai akustiniai neardančiosios kontrolės metodai skirstomi į dvi dideles grupes: naudojančius akustinių 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. Akustinių metodų klasifikavimas parodytas paveikslėlyje.



25 pav. Akustinių kontrolės metodų klasifikavimas

Aktyvius akustinius metodus, kuriuose naudoja bėgančias bangas, dalina į du pogrupius, naudojančius bangų praėjimą ir atspindį. Naudoja kaip nuolatinį, taip ir impulsinį spinduliavimą. Praėjimo metodams skiriami šie:

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. Velosimetrisinis metodas pagrįstas tampriųjų bangų greičio pasikeitimu dėl defekto. Pavyzdžiui, jeigu ploname gaminyje sklinda išgaubtinė banga, tai išsisluoksniavimo atsiradimas sumažina jos greitį kuris paprastai išmatuojamas pagal praėjusios bangos fazės poslinkį.

Atspindžio metoduose naudoja impulsinį spinduliavimą. 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 plane suvirinimo siūlių defektų atvaizdus.
4. Reverberacinis metodas skirtas sluoksnių 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 dalinai atsispindi nuo metalo ir plastmasės ribos, o dalinai pereina į plastmasę, kas apsprendžia reverberacijų slopinimą. Esant nekokybiškam medžiagų sujungimui, atspindėjimas nuo jų atsiskyrimo ribos bus didesnis ir reverberacijų trukmė pailgės.

Nuo apžvelgtų akustinių neardančiosios kontrolės metodų iš esmės skiriasi impedansinis metodas. 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 naudoja atitinkamų svyravimų amplitudę. Stovinčių bangų naudojimu pagrįsti šie metodai:

1. Laisvųjų svyravimų lokalinis metodas. Šis metodas pagrįstas tuo, kad kontroliuojamo gaminio dalyje vibraciniu plaktuku sužadinami mechaniniai svyravimai ir analizuojamas sužadinamų dažnių spektras. Gaminiuose su defektais spektras pasislenka į aukštesnio dažnio pusę.
2. Laisvųjų svyravimų integralinis metodas pagrįstas vibracijų sukėlimu mechaniniu smūgiu visame arba didesnėje gaminio dalyje.
3. Lokalinis rezonansinis metodas buvo plačiai naudojamas storio matavimui. Gaminio sienelėje keitiklio pagalba 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, kurių pagalba registruojamas tampriųjų svyravimų amplitudžių pasiskirstymas kontroliuojamame paviršiuje. Defektinis ruožas pasižymi svyravimo amplitudės dėl rezonansinių reiškinių padidėjimu, dėl to ant jo mažiau nusėda miltelių.

Charakteringiausias pasyvus, naudojantis bėgančias bangas, metodas yra akustinis - emisinis metodas. Vykstant akustinei emisijai, tampriosios bangos spinduliuojamos pačios medžiagos dėl jos vidinės struktūros dinaminio lokalinio persitvarkymo. Kontaktuojantys su gaminiu pjezokeitikliai priima tampriąsias bangas ir leidžia nustatyti jų šaltinio (defekto) vietą [10].

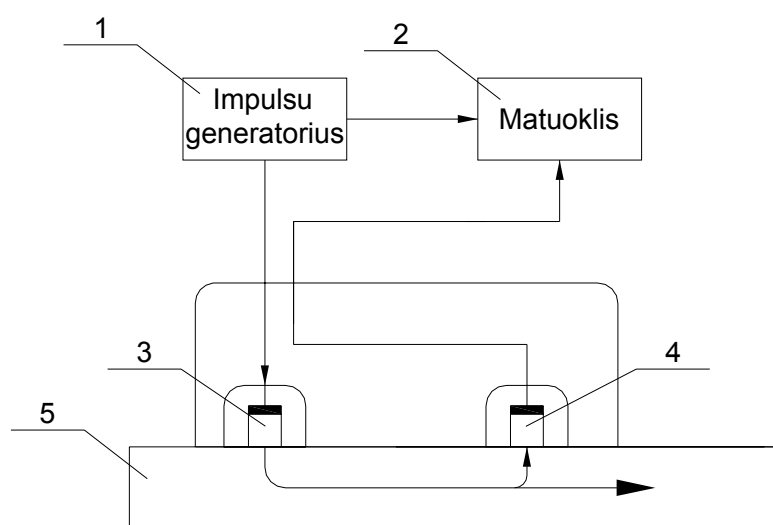
Pasyvūs akustiniai metodai, pagrįsti stovinčių bangų arba svyravimų kontrolės objekte sužadinimu, yra šie:

1. Vibracinis - diagnostinis metodas. Jis pagrįstas detalės vibracijos parametrų analize naudojant kontaktinio tipo imtuvus.
2. Triukšmo diagnostinis metodas. Dirbančio mechanizmo triukšmai analizuojami mikrofonų pagalba.

3.5 ULTRAGARSINĖ DEFEKTOSKOPIJA, PANAUDOJANT AKUSTINES GARDELES

Ultragarso impulsinės transmisijos medžiagų ir gaminių kokybės kontrolės metodai plačiai taikomi moksliniuose tyrimuose ir gamyboje. Tiriant šiais metodais sluoksniuotas medžiagas, kontroliuojamo sluoksnio kokybė nustatoma pagal ultragarso bangų sklidimo greitį jame. Ultragarso bangų sklidimo greičiui nustatyti medžiagos sluoksnyje paprastai naudojamos dviejų arba trijų ultragarsinių keitiklių schemas. Tikslas: išmatuoti vidutinį ultragarso bangos greitį.

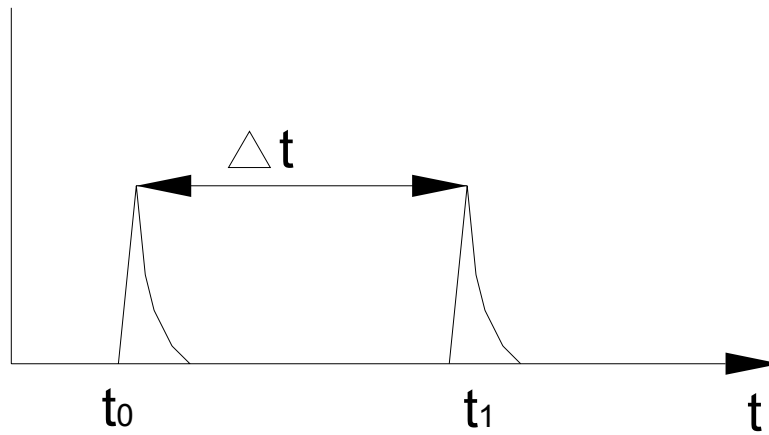
Dviejų ultragarsinių keitiklių schema:



26 pav. Ultragarsinės defektoskopijos schema, panaudojant du keitiklius:

čia: 1- impulsu generatorius; 2- matuoklis; 3- signalų keitiklis (siustuvas); 4- signalų keitiklis (imtuvas); 5- nagrinėjama medžiaga

Dviejų ultragarsinių keitiklių schemoje (26 pav.) ultragarso bangų sklidimo greitis nustatomas, matuojant laiko intervalą (matuokliu 2), per kurį ultragarsinis zonduojantis impulsas, sužadintas impulsų generatoriaus 1 keitiklyje 3, sklisdamas išilgai kontroliuojamo sluoksnio 6 pasiekia keitiklį 4. Fiksuojant atstumą tarp keitiklių 3 ir 4 galima nustatyti vidutinį ultragarso bangų greitį tiriamoje sluoksnio 6 medžiagos atkarpoje, jei jį dengiančio išorinio sluoksnio storis yra daug mažesnis už kontroliuojamą sluoksnio atkarpos dalį (matavimo bazę).



27 pav. Matavimo signalai dviejų ultragarsinių keitiklių schemeje

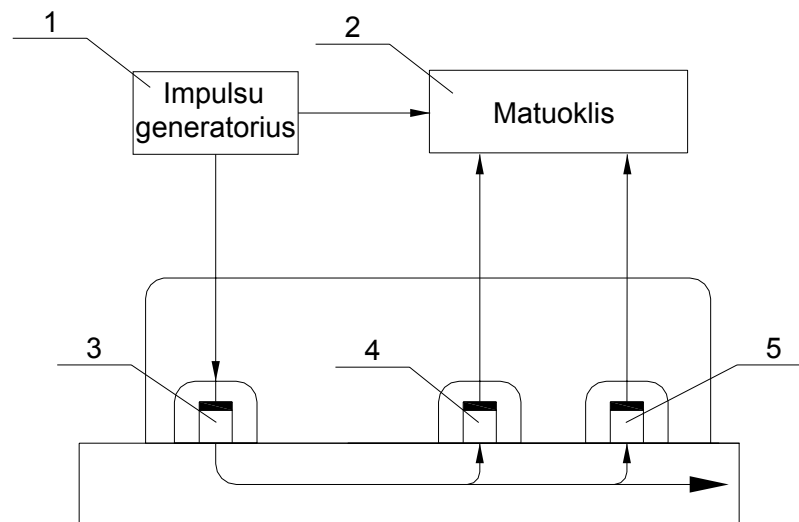
t_0 - laiko momentas, kurio metu iš keitiklio 3 išspinduliuojamas signalas;

t_1 - laiko momentas, kurio metu į keitiklį 4 ateina signalas.

$$\Delta t = t_1 - t_0$$

(6)

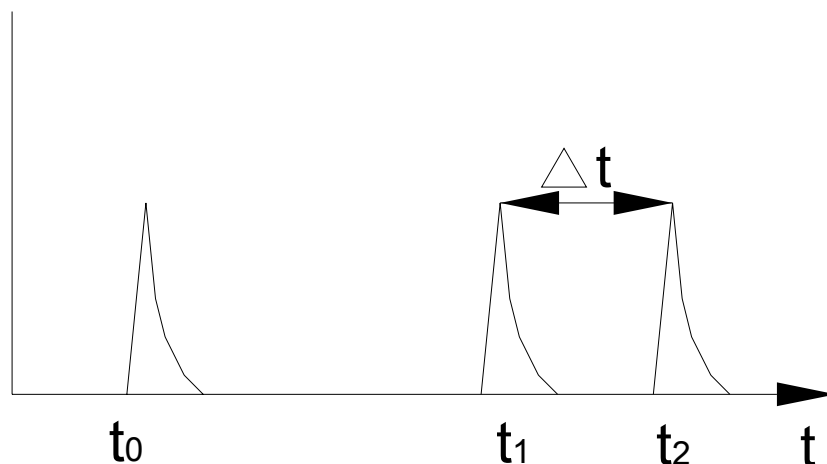
Trijų ultragarsinių keitiklių schema:



28 pav. Ultragarsinės defektoskopijos schema, panaudojant tris keitiklius:

čia: 1- impulsu generatorius; 2- matuoklis; 3- signalų keitiklis (siustuvas); 4- pirmas signalų keitiklis (imtuvas); 5- antras signalų keitiklis (imtuvas);

Trijų ultragarsinių keitiklių scheme (28 pav.) ultragarso greitis kontroliuojamame sluoksnyje nustatomas, matuojant laiko intervalą tarp ultragarsinių impulsų, priimtų keitikliais 4 ir 5. Šiuo atveju matavimo rezultatai nepriklauso nuo išorinio sluoksnio storio, jei jis nekinta fiksuotoje matavimo bazėje tarp keitiklių 4 ir 5.



29 pav. Matavimo signalai, trijų ultragarsinių keitiklių scheme

t_0 - laiko momentas, kurio metu iš keitiklio 3 išspinduliuojamas signalas;

t_1 - laiko momentas, kurio metu į keitiklį 4 ateina signalas;

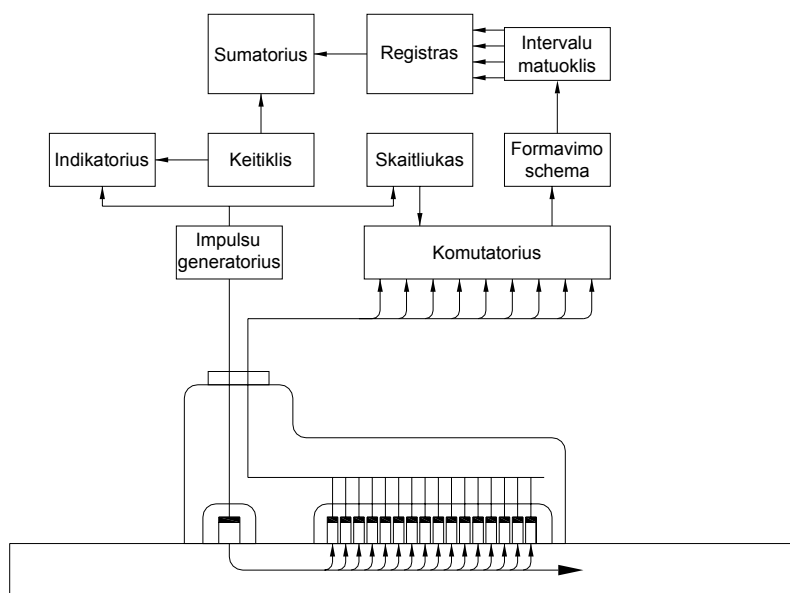
t_2 - laiko momentas, kurio metu į keitiklį 5 ateina signalas.

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (7)$$

Šių schemų taikymas šiuolaikinėje medžiagotyroje ir gamyboje neatitinka keliamų tikslumo, patikimumo ir operatyvumo reikalavimų.

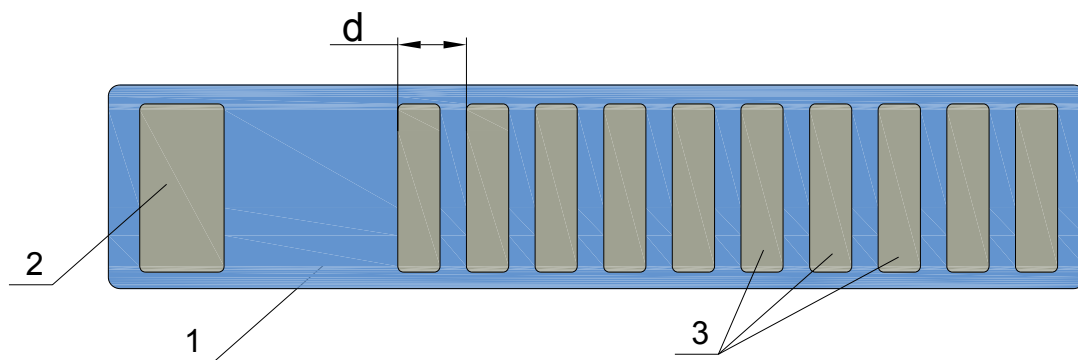
Toliau aprašomas diferencinis ultragarsinės defektoskopijos metodas iš dalies atitinka minėtus reikalavimus. Metodas numato akustinių gardelių (daugiaelemečių pjezoelektrinių keitiklių) panaudojimą, sudarant ultragarso bangų sklaidimo greičio matavimo kanalą tiriamame sluoksnyje.

Daugiaelementė ultragarsinių keitiklių schema:



30 pav. Ultragarsinės defektoskopijos schema, panaudojant akustinę gardelę

Metodas paaiškinamas schema (30 pav.) , kurioje patvaizduotas daugiasluoksnio tiriamo objekto fragmentas, ant kurio išorinio sluoksnio patalpintas ultragarsinis daugiaelementis keitiklis, konstruktyviai jungiantis siuntiklį (arba siuntiklius) ir ėmiklių seką, išdėstytus vienoje plokštumoje (žiūr. keitiklio pjūvį A-A 31 pav.)



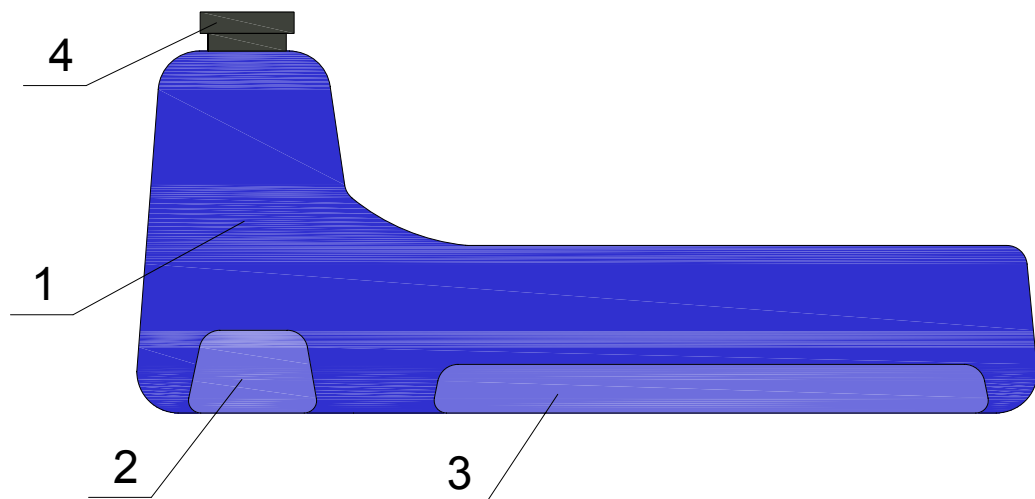
31 pav. Akustinės gardelės elementų išdėstymas:

1-korpusas; 2- signalų keitiklis (siustuvas); 3- signalų keitikliai (imtuvai).

Ultragarsinio keitiklio ėmiklių seka nukreipta išilgai kontroliuojamo sluoksnio ir sudaro tiesinę akustinių antenų gardele, kurios žingsnis d (nuotolis tarp gretimų ėmiklių) parenkamas iš sąlygos:

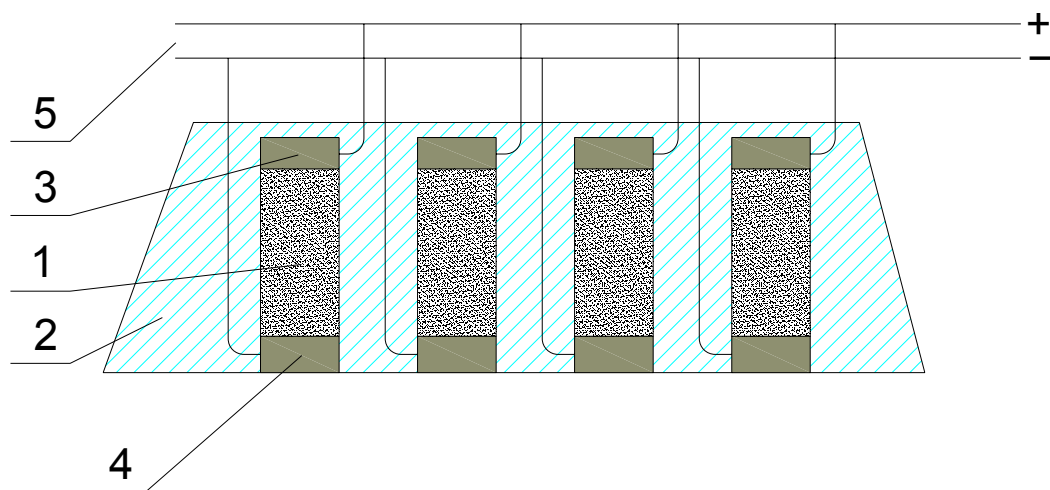
$$d \ll \frac{D}{n-1} \quad (8)$$

čia d - atstumas tarp gretimų ėmiklių;
 D - išorinio sluoksnio storis;
 n - ėmiklių kiekis.



32 pav. Ultragarsinis keitiklis:

1- korpusas; 2- signalų keitiklio (siustuvo) zona; 3- signalų keitiklių (imtuvų) zona;
 4- kabelio pajungimo jungtis.



33 pav. Signalų keitiklio pjūvis:

1- pjezo elementas; 2- Dempferis; 3- sidabrinis kontaktas su jungtas su magistralės „+“ šina; 4- sidabrinis kontaktas su jungtas su magistralės „-“ šina; 5- duomenų magistralė.

Šiame darbe nagrinėjamas daugiaelementis keitiklis, kurio ėmiklių skaičius bus 101 ir ėmiklių seka susidarys 50 mm ilgio. Tai yra viename milimetre bus suformuoti du imtuvai. Toks didelis imtuvų skaičius mažame plote užtikrina didelį tikslumą. Toks daugiaelementis keitiklis yra patogus operatoriui, kuris atliks matavimus, nes yra patogus laikyti rankoje.

Impulsų generatorius formuoja taktinius impulsus. Suformuotas taktinis impulsas periodiškai sužadina ultragarsinio keitiklio siuntiklį (siųstuvą) ir perveda į nulinę padėtį signalų skaitiklį.

Tuo metu, kai impulsų generatorius formuoja taktinį impulsą, komutatorius prijungia prie formavimo schemas įėjimo pirmą signalų imtuvą (ėmiklį).

Laiko momentu t_0 ultragarsinio keitiklio siuntikais išspinduliuoja ultragarso bangų impulsą į kontroliuojamos medžiagos sluoksnį. Ultragarso bangos impulsas sklinda tiriamoje medžiagoje greičiu, priklausomu nuo tiramos medžiagos tankio.

Ultragarso bangų fronto sklidimo metu dėl medžiagos tūrinio stangrumo vyksta nepertraukiamas ultragarsinės energijos išspinduliavimas į sluoksnį supančią aplinką. Šią energiją priima pirmas, artimiausias siuntikliui, ultragarsinio keitiklio gardelės imtuvas (ėmiklis), kuris transformuoja priimtus ultragarsinius virpesius į elektrinį signalą.

Priimtas pirmu gardelės imtuvu (ėmikliu) elektrinis signalas patenka į formavimo schemą kurioje stiprinamas, apribojamas ir normuojamas pagal trukmę ir amplitudę.

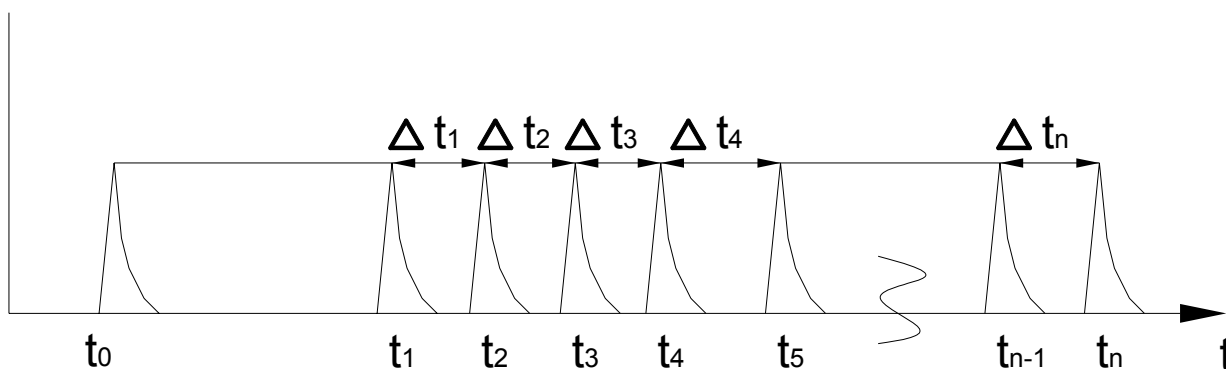
Normuotu impulsiniu signalu skaitiklio turinys padidinamas vienetu ir tuoj pat komutatorius prijungia prie formavimo schemas kitą (antrą) akustinės gardelės imtuvą (ėmiklį).

Antras ultragarsinio keitiklio gardelės imtuvas (ėmiklis) priima išspinduliuoto ultragarso bangos impulsą ir transformuoja priimtus ultragarsinius virpesius į elektrinį signalą. Ir pirmas priimtas elektrinis signalas, ir antras elektrinis signalas patenka į formavimo schemą, kurioje stiprinamas, apribojamas ir normuojamas pagal trukmę ir amplitudę.

Antras elektrinis signalas atsilieka nuo pirmojo laiku, per kurį ultragarsinės bangos frontas "praeina" kontroliuojamo sluoksnio atkarpą tarp pirmo ir antro akustinės gardelės imtuvų (ėmiklių). Skaitiklio turinys padidinamas dar vienu vienetu.

Tokiu būdu komutatorius paeiliui prijungia prie formavimo schemos visus akustinės gardelės imtuvus (ėmiklius). Savo ruožtu formavimo schemos išėjime susidaro impulsų seka, kurios periodas lygus ultragarso bangų sklidimo laikui tarp gretimų gardelės imtuvų (ėmiklių). Kadangi akustinės gardelės žingsnis d parinktas pakankamai mažas, palyginti su galimu išorinio sluoksnio storio D pokyčiu ΔD po gretimais gardelės ėmikliais, impulso sekos, susidariusios formavimo schemos išėjime, periodas atitinka ultragarso bangos sklidimo laiką kontroliuojamo sluoksnio medžiagoje.

Toliau impulsų seka patenka į laiko intervalų matuoklį, kur laiko intervalai tarp gretimų sekos impulsų išmatuojami ir jų reikšmės matuoklio išėjime pateikiamos skaitmeninio kodo pavidalu.



34 pav. Matavimo rezultatų signalų seka

Skaitmeniniai kodai, atitinkantys paeiliui išmatuotų laiko intervalų reikšmes, nuosekliai įrašomi į registrą, prie kurio prijungiamas sumatorius. Sumatoriuje apskaičiuojami kelių, paeiliui einančių (pavyzdžiui, keturių), matavimų reikšmių vidutiniai dydžiai, kurie jo išėjime suformuoja vidutinių laiko intervalų reikšmių seką, išmatuotų akustinės gardelės 4 žingsnio d diskretiškumu. Tai leidžia išvengti atsitiktinių klaidų ir padidinti matavimų tikslumą.

Vidutinė kelių gretimų matavimų rezultatų reikšmių skaitmeninė seka iš sumatoriaus išėjimo per keitiklį kodas - analogas perduodama į indikatorius pavyzdžiui, oscilografinio tipo. Tokiu atveju indikatoriaus skleistinė sinchronizuojama taktinio generatoriaus impulsais ir jo

ekrane pavaizduojama oscilograma, atitinkanti ultragarso bangų greičio kitimo charakteristiką tiriamo sluoksnio kontroliuojamos dalies medžiagoje.

Atstumai tarp gardelių yra vienodi. Jei laiko intervalas, per kurį banga sklinda tarp pirmo ir antro imtuvo keitiklio, yra lygus laiko intervalui, per kurį banga sklinda tarp antro ir trečio imtuvo keitiklio, tai ultragarsinės bangos sklidimo greičiai šių intervalų yra lygus. Tokiu atveju nagrinėjama plokštelė yra vientisa.

$$\frac{\Delta x_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta x_2}{\Delta t_2} = \dots = \frac{\Delta x_n}{\Delta t_n} \quad (9)$$

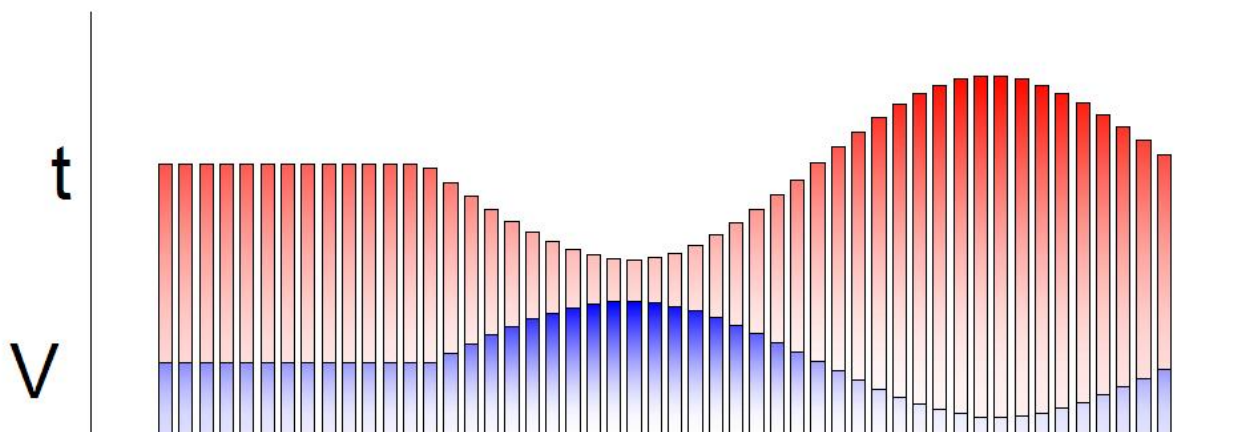
Jei laiko intervalas, per kurį banga sklinda tarp pirmo ir antro imtuvo keitiklio, nėra lygus laiko intervalui, per kurį banga sklinda tarp antro ir trečio imtuvo keitiklio, tai ir šių intervalų ultragarsinė bangos sklidimo greičiai yra skirtingi. Tai reiškia, kad banga sklinda su pagreičiu. Kai banga sklinda netolygiai greitėjančiai, t. y. jo judėjimo pagreitis nėra pastovus, tada pagreitis išreiškiamas kaip pirmoji greičio išvestinė:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (10)$$

Kadangi greitis yra pirmoji poslinkio išvestinė, o pagreitis – pirmoji greičio išvestinė, tai pagreitis yra antroji poslinkio išvestinė:

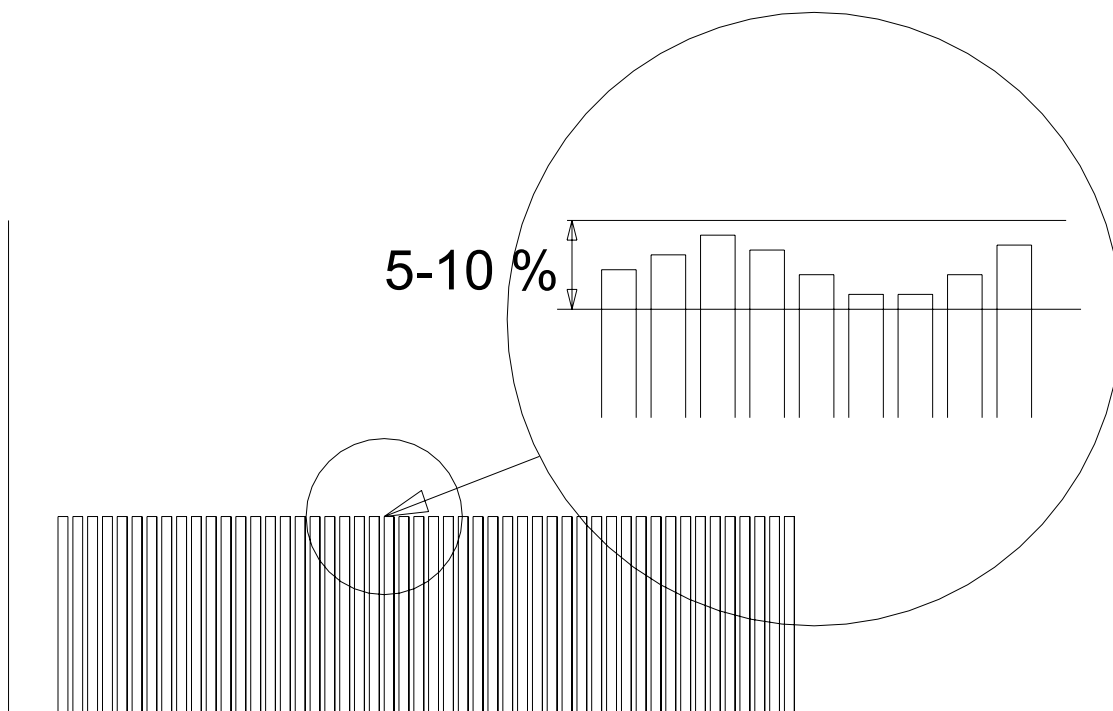
$$\vec{a} = \frac{d^2 \vec{x}}{dt^2} \quad (11)$$

35 paveiksle matome diagramos pavyzdį. Pirmoje diagramos dalyje patvaizduota greičių pokyčio diagrama idealios plokštelės, kurios tankis yra vienodas visame tūryje. Greičio ir laiko vidutinės reikšmės nekinta. Vidurinėje diagramos dalyje matome, kad ultragarsinės bangos sklidimo greitis padidėjo, o laikas sumažėjo, tai reiškia kad, ultragarsinė banga perėjo iš standesnės aplinkos į retesnę. Tai reiškia, kad šioje atkarpoje plokštelė yra silpnesnė (jos yra mažesnis tankis). Trečioje diagramos dalyje matome, kad ultragarsinės bangos sklidimo greitis sulėtėjo, o laiko intervalai padidėjo, tai reiškia kad ultragarsinė banga perėjo iš retesnės aplinkos į standesnę. Tai reiškia, kad šioje atkarpoje plokštelė yra tvirtesnė (jos yra didesnis tankis).



35 pav. Ultragarsinės bangos greičio ir laiko intervalų kitimo charakteristika

Tiriant medžiagą daugiaelementų keitikliu, greičio kitimo charakteristikoje pastebima, kad dėl savo kompozitinės medžiagos nevienalytiškumo charakteristika nėra vienoda. Priklausomai nuo medžiagos sudėties atsiranda pokytis, kuris priklauso nuo bangos sklaidimo greičio skirtumo judant matricoje ir armuojančiuose komponentuose, taip pat nuo armuojančių komponentų sudėties ir erdvinio išdėstymo. Būtina įvertinti šiuos pokyčius, kad atliekant tolesnius matavimus jie nebūtų supainioti su defektu. Šis dydis gali būti gana didelis ir siekti iki 10%. Laboratoriniuose bandymuose turi būti tiriamos medžiagos ir tokiu būdu galima numatyti leistiną charakteristikos svyravimą kiekvienai medžiagai.



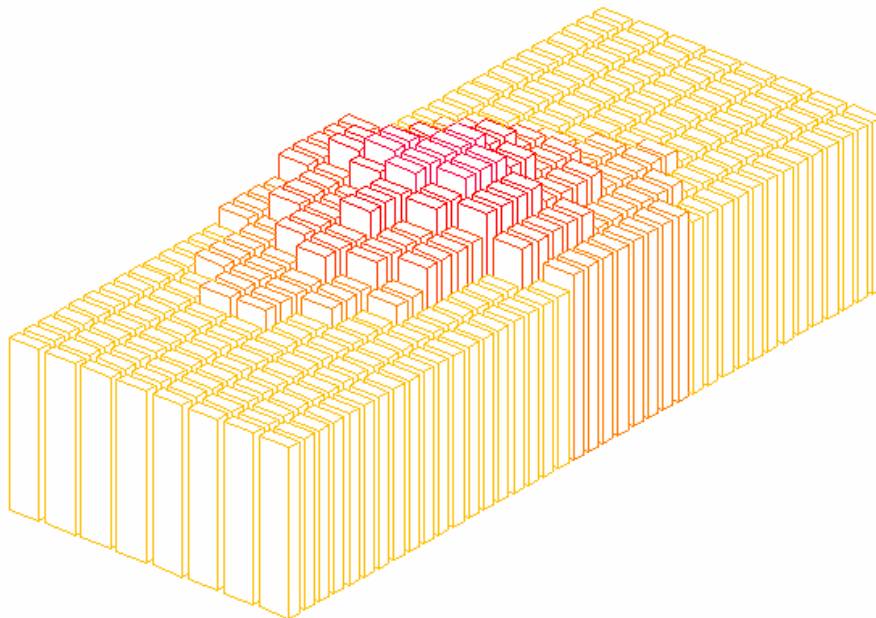
36 pav. Leistina medžiagos matavimo paklaida

Nagrinėjant tiriamąją medžiagą operatorius padeda ultragarsinį keitiklį ant medžiagos paviršių ir atlieka matavimą. Atlikus matavimą operatorius perstumia ultragarsinį keitiklį ir atlieka kitą matavimą. Visi matavimo rezultatai yra išsaugomi arba matavimo metu pavaizduojami ekrane grafiko pavidalu.



37 pav. Medžiagos skenavimo ultragarsiniu keitikliu eiliškumas

Turėdami kelių matavimų rezultatus, gautus grafikus įmanoma sustatyti vieną šalia kito ir gauti tiriamos medžiagos 3D vaizdą. Pagal matomą vaizdą operatorius gali tiksliai atskirti defektus nuo normalios būsenos.

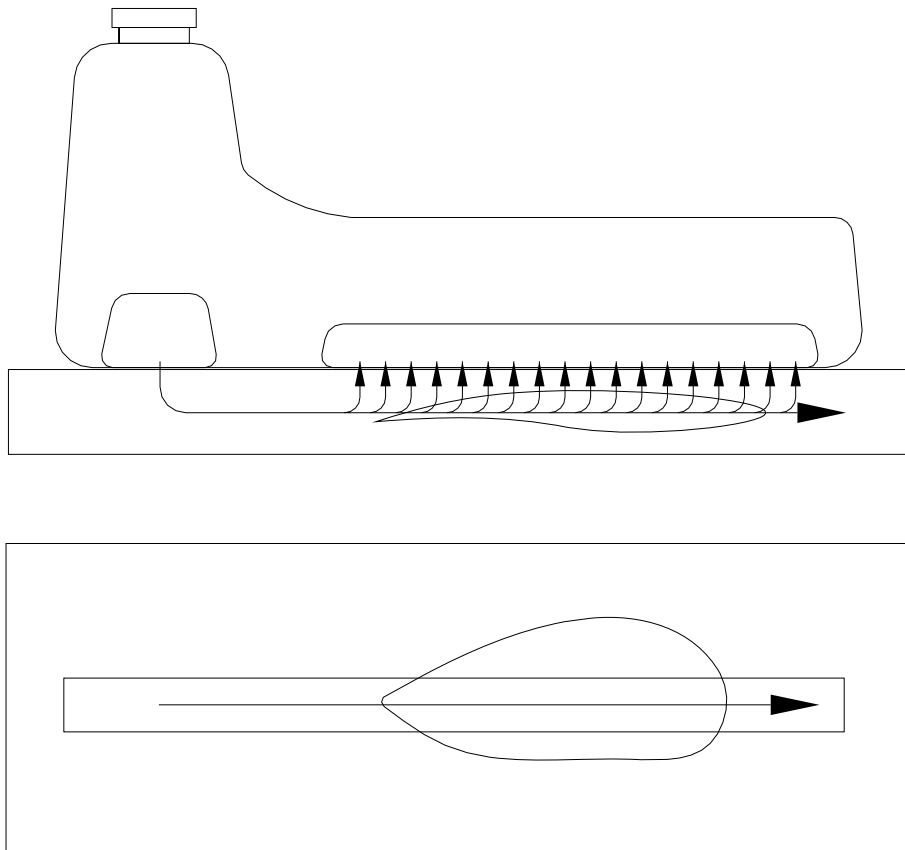


38 pav. Tiriamos medžiagos 3D vaizdas

Aprašytas metodas leidžia automatizuoti ultragarsinės sluoksnių defektoskopijos procesą, padidinti matavimų tikslumą ir patikimumą, pateikti kontrolės rezultatus ne tik skaitmenine, bet ir grafine forma. Diferenciniais matavimais, nedideli ultragarso greičio pokyčiai tiriamoje medžiagoje gali būti lengvai aptinkami ir registruojami skaitmenine forma, tinkama tolesniam informacijos apdorojimui kompiuterinėse sistemose.

3.6 PAVYZDŽIŲ NAGRINĖJIMAS

Vienas iš dažniausiai pasitaikančių defektų yra atsisluoksniavimai. Armuojančių komponentų atsisluoksniavusią tuštumą gali užimti oras, užpildas (matrica) arba kitokia medžiaga.



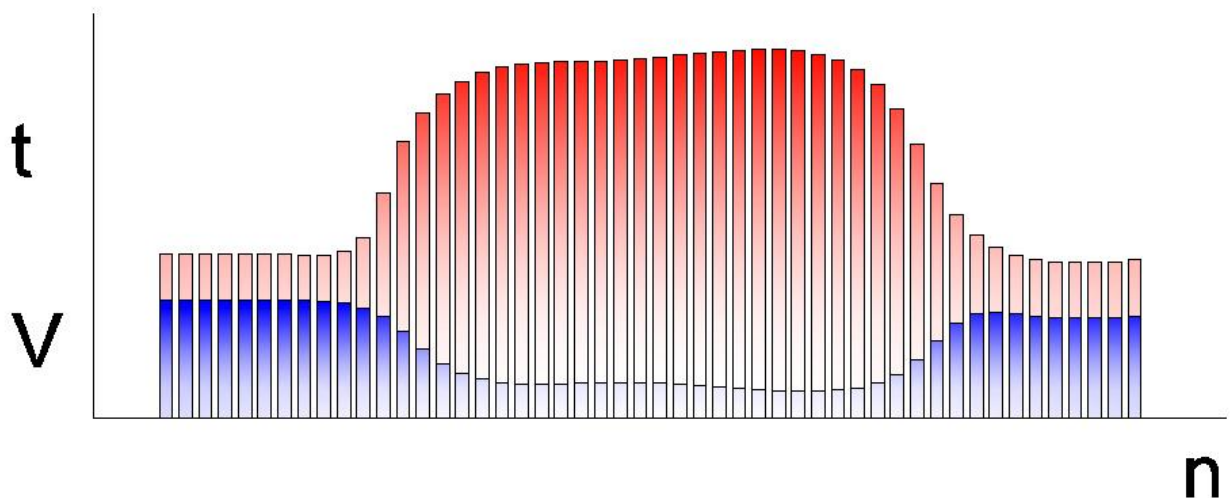
39 pav. Atsisluoksniavimo medžiagoje tyrimas

39 paveiksle pavaizduotas daugiasluoksniu tiriamo objekto fragmentas, ant kurio išorinio sluoksnio patalpintas ultragarsinis daugiaelementis keitiklis, konstruktyviai jungiantis siuntiklį ir ėmiklių seką. Ultragarso keitiklio ėmiklių seka nukreipta išilgai kontroliuojamo sluoksnio ir sudaro tiesinę akustinių antenų gardelę. Medžiagoje yra sudarytas atsisluoksniavimas, kurį užpildo oras.

Laiko momentu t_0 ultragarso keitiklio siuntiklis išspinduliuoja ultragarso bangų impulsą į kontroliuojamos medžiagos sluoksnį. Ultragarso bangos impulsas sklinda tiriamoje medžiagoje greičiu, priklausomo nuo tiramos medžiagos tankio.

Ultragarso bangų fronto sklidimo metu dėl medžiagos tūrinio stangrumo vyksta nepertraukiamas ultragarso energijos išspinduliavimas į sluoksnį supančią aplinką. Šią

energiją priima pirmas, artimiausias siuntikliui, ultragarsinio keitiklio gardelės imtuvas (ėmiklis) laiko momentu t_1 , kuris transformuoja priimtus ultragarsinius virpesius į elektrinį signalą. Laiko momentu t_2 signalą priims antras imtuvas (ėmiklis) ir taip toliau iš eilės visi imtuvai (ėmikliai) priims išspinduliuotos bangos energiją. Priimti imtuvo (ėmiklių) elektriniai signalai patenka į formavimo schemą, kurioje stiprinami, apribojami ir normuojami pagal trukmę ir amplitudę. Tokiu būdu komutatorius paeiliui prijungia prie formavimo schemos visus akustinės gardelės imtuvus (ėmiklius). Savo ruožtu formavimo schemos išėjime susidaro impulsų seka, kurios periodas lygus ultragarso bangų sklidimo laikui tarp gretimų gardelės imtuvų (ėmiklių). Toliau impulsų seka patenka į laiko intervalų matuoklį, kur laiko intervalai tarp gretimų sekos impulsų išmatuojami ir jų reikšmės matuoklio išėjime pateikiamos skaitmeninio kodo pavidalu. Skaitmeninė seka iš sumatoriaus išėjimo, per keitiklį kodas - analogas, perduodama į indikatorius, pavyzdžiui, oscilografinio tipo. Tokiu atveju indikatoriaus skleistinė sinchronizuojama taktinio generatoriaus impulsais ir jo ekrane pavaizduojama oscilograma, atitinkanti ultragarso bangų greičio kitimo charakteristiką tiriamo sluoksnio kontroliuojamos dalies medžiagoje.

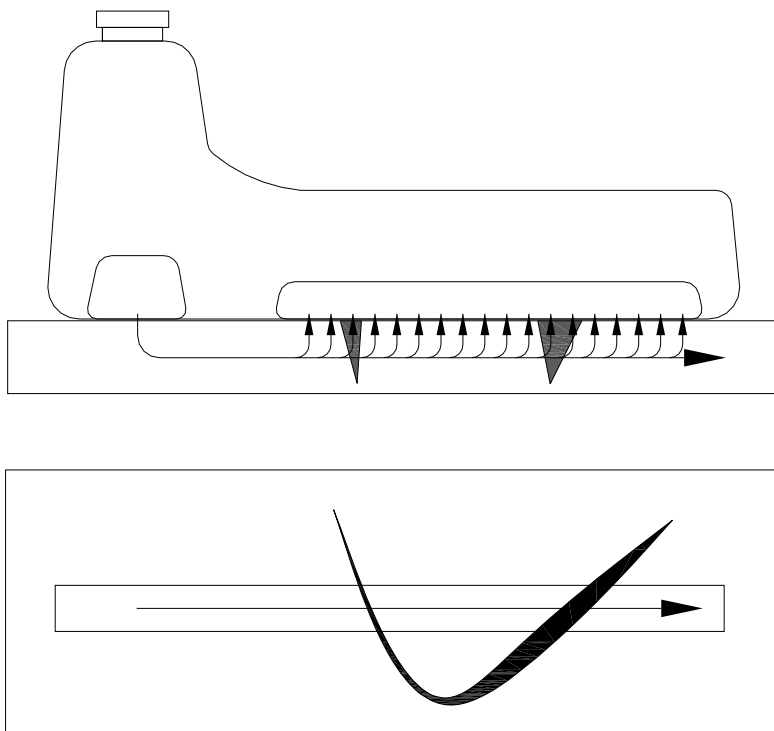


40 pav. Ultragarsinės bangos greičio ir laiko kitimo charakteristika

40 paveiksle matome diagramos pavyzdį. Diagramos dalyje pavaizduota greičių ir laiko intervalų pokyčio charakteristika, kurioje gerai matoma zona, kurioje yra defektas. Vidurinėje diagramos dalyje matome, kad ultragarsinės bangos sklidimo greitis sumažėjo, tai reiškia, kad ultragarsinė banga perėjo iš standesnės aplinkos į retesnę. Trečioje diagramos dalyje matome, kad ultragarsinės bangos sklidimo greitis padidėjo, tai reiškia, kad ultragarsinė banga perėjo iš retesnės aplinkos į standesnę. Atliekant eksperimentus su atsisluoksniavimais kompozitinėse medžiagose galima išmokti tiksliai nustatyti atsisluoksniavimus ir pagal turimas charakteristikas

nustatyti atsisluoksniavimų dydžius bei buvimo vietą, taip pat nustatyti, kokia medžiaga užpildė atsisluoksniavimo tuštumą.

Kitas gana dažnas kompozitinių medžiagų defektas yra įtrūkimai, įskilimai, įbrėžimai.



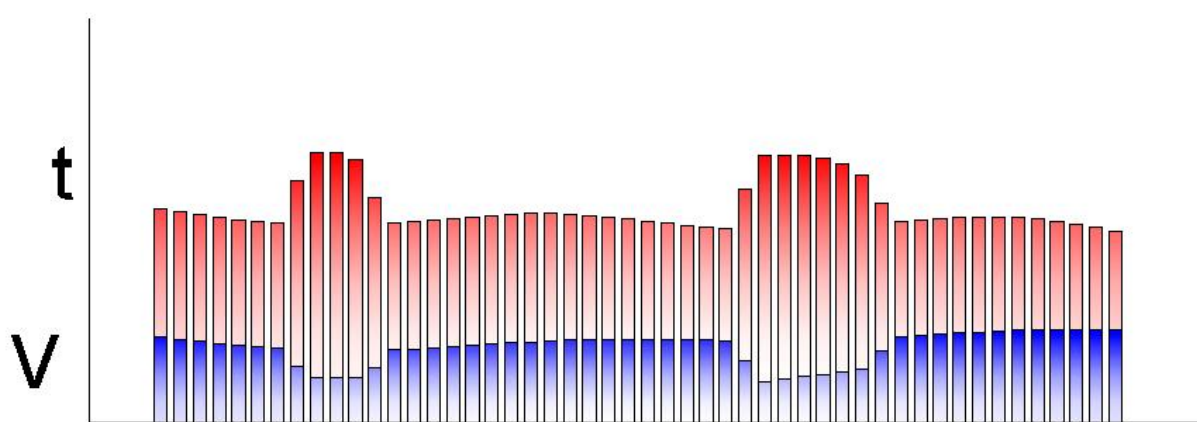
41 pav. Įskylimo medžiagoje tyrimas

41 paveiksle pavaizduotas daugiasluoksnio tiriamo objekto fragmentas, ant kurio išorinio sluoksnio patalpintas ultragarsinis daugiaelementis keitiklis, konstruktyviai jungiantis siuntiklį ir ėmiklių seką. Ultragarso keitiklio ėmiklių seka nukreipta išilgai kontroliuojamo sluoksnio ir sudaro tiesinę akustinių antenų gardele. Medžiagoje yra sudarytas įskilimas.

Laiko momentu t_0 ultragarso keitiklio siuntiklis išspinduliuoja ultragarso bangų impulsą į kontroliuojamos medžiagos sluoksnį. Ultragarso bangos impulsas sklinda tiriamoje medžiagoje greičiu, priklausomu nuo tiramos medžiagos tankio.

Ultragarso bangų fronto sklidimo metu dėl medžiagos tūrinio stangrumo, vyksta nepertraukiamas ultragarso energijos išspinduliavimas į sluoksnį supančią aplinką. Šią energiją priima pirmas, artimiausias siuntikliui, ultragarso keitiklio gardelės imtuvas (ėmiklis) laiko momentu t_1 , kuris transformuoja priimtus ultragarsinius virpesius į elektrinį signalą. Laiko momentu t_2 signalą priims antras imtuvas (ėmiklis) ir taip toliau iš eilės visi imtuvai (ėmikliai) priims išspinduliuotos bangos energiją. Priimti imtuvo (ėmiklių) elektriniai signalai patenka į formavimo schemą, kurioje stiprinami, apribojami ir normuojami pagal trukmę ir amplitudę.

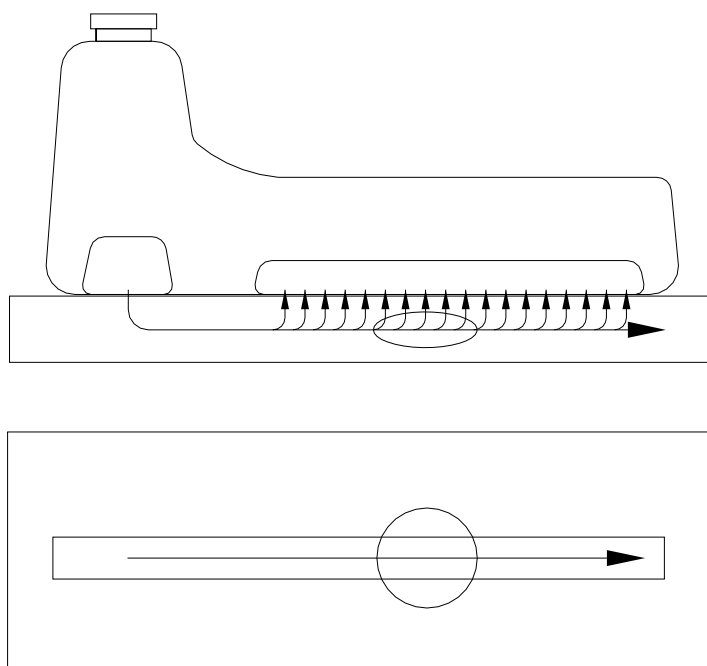
Tokiu būdu, komutatorius paeiliui prijungia prie formavimo schemos visus akustinės gardelės imtuvus (ėmiklius). Savo ruožtu, formavimo schemos išėjime susidaro impulsų seka, kurios periodas lygus ultragarso bangų sklaidimo laikui tarp gretimų gardelės imtuvų (ėmiklių). Toliau impulsų seka patenka į laiko intervalų matuoklį, kur laiko intervalai tarp gretimų sekos impulsų išmatuojami ir jų reikšmės matuoklio išėjime pateikiamos skaitmeninio kodo pavidalu. Skaitmeninė seka iš sumatoriaus išėjimo, per keitiklį kodas - analogas, perduodama į indikatorius, pavyzdžiui oscilografinio tipo. Tokiu atveju indikatoriaus skleistinė sinchronizuojama taktinio generatoriaus impulsais ir jo ekrane pavaizduojama oscilograma, atitinkanti ultragarso bangų greičio kitimo charakteristiką tiriamo sluoksnio kontroliuojamos dalies medžiagoje.



42 pav. Ultragarso bangų greičio ir laiko kitimo charakteristika

42 paveiksle matome diagramos pavyzdį, kurioje pavaizduota greičių ir laiko intervalų pokyčio charakteristika, čia gerai matomos zonos, kuriose yra įtrūkimo defektų. Diagramoje matome dvi vietas, kur ultragarso bangų sklaidimo greitis sumažėjo, tai reiškia, kad ultragarso banga perėjo iš standesnės aplinkos į retesnę. Atliekant eksperimentus su įtrūkimo ir įskilimo defektais kompozitinėse medžiagose galima išmokyti tiksliai nustatyti defektus ir pagal turimas charakteristikas nustatyti defektų dydžius bei buvimą, taip pat defekto gylį.

Sluoksniuotų kompozitinių medžiagų gamybos metu gali tarp sluoksnių atsirasti priemaiša, pavyzdžiui, metalinė drožlė.



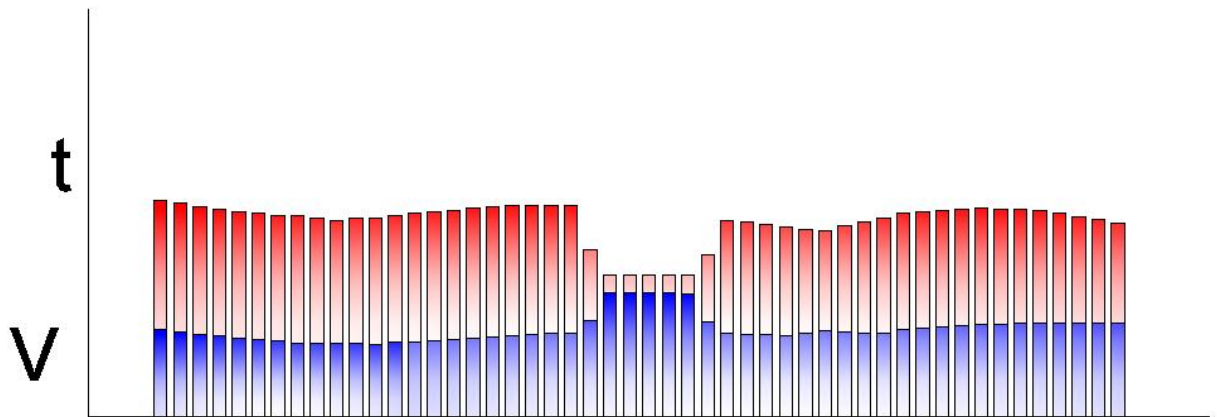
43 pav. Priemaišos medžiagoje tyrimas

43 paveiksle pavaizduotas daugi sluoksnio tiriamo objekto fragmentas, ant kurio išorinio sluoksnio patalpintas ultragarsinis daugiaelementis keitiklis, konstruktyviai jungiantis siuntiklį ir ėmiklių seką. Ultragarso keitiklio ėmiklių seka nukreipta išilgai kontroliuojamo sluoksnio ir sudaro tiesinę akustinių antenų gardelę. Medžiagoje tarp sluoksnių yra metalinės drožlės defektas.

Laiko momentu t_0 ultragarso keitiklio siuntiklis išspinduliuoja ultragarso bangų impulsą į kontroliuojamos medžiagos sluoksnį. Ultragarso bangos impulsas sklinda tiriamoje medžiagoje greičiu, priklausomu nuo tiramos medžiagos tankio.

Ultragarso bangų fronto sklidimo metu dėl medžiagos tūrinio stangrumo vyksta nepertraukiamas ultragarso energijos išspinduliavimas į sluoksnį supančią aplinką. Šią energiją priima pirmas, artimiausias siuntikliui, ultragarso keitiklio gardelės imtuvas (ėmiklis) laiko momentu t_1 , kuris transformuoja priimtus ultragarsinius virpesius į elektrinį signalą. Laiko momentu t_2 signalą priims antras imtuvas (ėmiklis) ir taip toliau iš eilės visi imtuvai (ėmikliai) priims išspinduliuotos bangos energiją. Priimti imtuvo (ėmiklių) elektriniai signalai patenka į formavimo schemą, kurioje stiprinami, apribojami ir normuojami pagal trukmę ir amplitudę. Tokiu būdu komutatorius paeiliui prijungia prie formavimo schemos visus akustinės gardelės imtuvus (ėmiklius). Savo ruožtu formavimo schemos išėjime susidaro impulsų seka, kurios periodas lygus ultragarso bangų sklidimo laikui tarp gretimų gardelės imtuvų (ėmiklių). Toliau impulsų seka patenka į laiko intervalų matuoklį, kur laiko intervalai tarp gretimų sekos impulsų išmatuojami ir jų reikšmės matuoklio išėjime pateikiamos skaitmeninio kodo pavidalu. Skaitmeninė seka iš sumatoriaus išėjimo per keitiklį kodas - analogas, paduodama į indikatorių.

pavyzdžiui, oscilografinio tipo. Tokiu atveju indikatoriaus skleistinė sinchronizuojama taktinio generatoriaus impulsais ir jo ekrane atvaizduojama oscilograma, atitinkanti ultragarso bangų greičio kitimo charakteristiką tiriamo sluoksnio kontroliuojamos dalies medžiagoje.



44 pav. Ultragarstinės bangos greičio ir laiko kitimo charakteristika

44 paveiksle matome diagramos pavyzdį, kurioje pavaizduota greičių ir laiko intervalų pokyčio charakteristika, čia gerai matoma zona, kurioje yra defektas. Diagramoje matome vietas kur ultragarstinės bangos sklaidimo greitis padidėjo, tai reiškia, kad ultragarstinė banga perėjo iš retesnės aplinkos į standesnę. Atliekant eksperimentus su defektais kompozitinėse medžiagose galima išmokti tiksliai nustatyti defektus ir pagal turimas charakteristikas nustatyti defektų dydžius bei buvimo vietą, taip pat defekto gylį.

IŠVADOS

1. Išnagrinėti aviacijoje naudojami konstrukcijos elementai, pagamintos iš kompozicinių medžiagų. Yra išryškinti pagrindiniai gamybos bei eksploatavimo metu atsirandantys defektai. Išnagrinėti pagrindiniai defektoskopijoje taikomi metodai. Įvertintos jų savybės, tokios kaip matavimo patikimumas, taikomų metodų prieinamumas, ekonominiai rodikliai bei aplinkos saugumas.

2. Siūlomas kompozitinių struktūrų tyrimo metodas, kuris yra pagristas ultragarsinių bangų sklidimu medžiagoje. Tai yra dėl to, kad medžiagų skenavimo metodai pagristi ultragarsinių bangų medžiagoje sklidimo metodai yra palankūs neardomai kontrolei. Diferenciniam ultragarso greičio matavimo metodui yra pasiūlyta naudoti daugiaelemečius ultragarsinius keitiklius, kurie užtikrina aukštą skenavimo gebą. Toks metodas yra tinkamas nagrinėti kompozitines sluoksniuotas konstrukcijų struktūras iš kompozicinių medžiagų, kurios yra sparčiai naudojamos šiuolaikinėje aviacijoje. Šis metodas turi daug privalumų tiriant nehomogenines konstrukcijas, negu naudojami šiuolaikinėje aviacijoje metodai.

3. Šiame darbe siūlomas metodas skirtas sluoksniuotų konstrukcijų pagamintų iš kompozitinių medžiagų tyrimui. Šis metodas tinka vykdyti defektoskopiją gamybos metu, o taip pat ir orlaivio eksploatavimo metu. Pagaminus diagnostikos prietaisus pagal pasiūlytą metodą ir pritaikius aviacijoje, padidintų bendrą aviacijoje naudojamų konstrukcijų testavimo technologiją. Vieno matavimo metu nagrinėjamas ne vienas konstrukcijos taškas, o nuo ultragarsinio daviklio konstrukcijos priklausantis plotas. Tokiu būdu, matuojant tokį patį paviršių, reikia atlikti mažiau matavimo vienetų. Priklausomai nuo matuojamo kūno paviršiaus formos galima pagaminti įvairios formos bei dydžio ultragarsinius keitiklius. Priklausomai nuo reikalaujamo matavimo tikslumo galima pagaminti įvairaus tikslumo ultragarsinius keitiklius. Tai yra įmanoma keičiant gardelių skaičių viename plote. Toks sprendimas pagerina ekonominius rodiklius, kadangi tokie keitikliai gali būti universalūs arba skirti aptikti tam tikrus defektus.

4. Šis metodas yra patogus tuo, kad gauta informacija gali būti perduodama į prietaiso vaizduoklius, tuo tarpu operatorius atliekant matavimus iškart gali matyti rezultatus. Gaunama informacija pateikiama grafiko pavidale. Tokia informacija yra paprastai suvokiama operatoriaus. Visa informacija yra saugoma prietaiso atmintinėje ir yra prieinama tolesniuose tyrimo etapuose. Gaunamą informaciją konstrukcijos eksploatavimo metu galima periodiškai lyginti ir daryti išvadas apie konstrukcijos būklę. Toliau tobulinant pasiūlytą defektoskopijos metodą galima automatizuoti darbo procesą. Automatizavimas padidintų darbo eigos greitį ir padėtų išvengti matavimo klaidų, kurios gali atsirasti dėl operatoriaus žmoniškumo veiksnių. Didesnė perspektyvą turi šio metodo automatizavimo panaudojimas aviacinių mazgų gamybos metu.

LITERATŪRA

1. R. Šniulis. Inžinierinės medžiagos. Šiauliai: Liuticipus. 2004. 240 p.
2. A. Valiulis. Naujos medžiagos. Vilnius: Technika. 2005. 315 p.
3. Introduction of equipment sonic bondmaser in the SAAB 340 NDT manual. CSM marerialtechnik, 2000 edition 1.
4. В. Ф. Зинченко. Методы и средства диагностики несущей способности изделий из композитов. Рига: Зинатне. 1983. 267 p.
5. П. И. Беда. Дефектоскопия деталей при эксплуатации авиационной техники. Москва: Министерство обороны. 1978. 342 p.
6. В. И. Смирнов. Неразрушающие методы контроля судостроительных стеклопластиков. Ленинград: Судостроение. 1971. 186 p.
7. В. Й. Домаркас, Э. Л. Пилецкас. Ультразвуковая эхоскопия. Ленинград: Машиностроение. 1988. 276 p.
8. Б. И. Выборнов. Ультразвуковая дефектоскопия. Москва: Металлургия. 1985. 260 p.
9. R. Palšaitis, D. Bazaras, D. Griškevičienė, J. Lazauskas. Magistro baigiamasis darbas. Vilnius: Technika. 2007. 23 p.
10. R. Merčaitis. Trumpa ultragarsinės neardančiosios kontrolės metodo apžvalga. VGTU, 9 psl.
11. S. Sajauskas. Šiurkštumo lyginamieji tyrimai paviršinėms skersinėmis ir paviršinėmis išilginėmis ultragarso bangomis. ISSN 1392-1214 Ultragaras, Nr. 3(36)2000, 33-35 psl.
12. А. Берлин. Современные полимерные композиционные материалы. МГУ. Соровский образовательный журнал, Nr1, 1995. 57-65 psl.
13. М. Кербер. Композиционные материалы. МГУ. Соровский образовательный журнал, Nr2, 1999. 33-41 psl.
14. Boeing nondestructive test manual. Part 4 – ultrasonic, NDT, 1999/5.
15. http://www.diagnost.ru/NDT/Application_NDT
16. <http://www.ndt.ru/>
17. <http://www.ndtworld.com/>