

# Šiurkštumo lyginamieji tyrimai paviršinėmis skersinėmis ir paviršinėmis išilginėmis ultragarso bangomis

S. Sajauskas, V. Minialga, N. Sajauskas

Kauno technologijos universitetas

Donelaičio g. 73, 3006 Kaunas

## Įvadas

Atradus naujo tipo paviršines akustines bangas, sužadinamas išilginėmis bangomis, krentančiomis į kietojo kūno paviršių kampų, artimų pirmajam kritiniam kampui, pavadintas paviršinėmis išilginėmis bangomis (PIB) [1-2], jos pradėtos intensyviai tirti iš pradžių teoriškai [3-5], vėliau ir eksperimentiškai [6-8]. Teoriniuose tyrimuose buvo atskleistas šių bangų specifiskumas, lyginant jas su Reilėjaus tipo paviršinėmis akustinėmis bangomis (PAB), sužadinamomis išilginėmis bangomis, krentančiomis į kietojo kūno paviršių antruoju kritiniu kampu. Pagal analogiją su paviršinėmis išilginėmis bangomis Reilėjaus bangas galima vadinti paviršinėmis skersinėmis bangomis (PSB). Teoriniuose straipsniuose įrodoma, kad PIB yra būdingas prigimtinis slopimas, sąlygojamas jų išsispinduliavimu šoninėmis skersinėmis bangomis, pasireškiantis netgi sklindant joms laisvu kietojo kūno paviršiumi. Dėl to šios bangos literatūroje anglų kalba dažnai vadinamos terminu *leaky waves* (angl.), arba *vytekajuščije* [3,5], *golovnyje volny* [9] (rus.). Teoriniuose darbuose dar pažymima, kad PIB greitis ir ypač slopimas gerokai priklauso nuo medžiagos Puasono koeficiento, o jam esant didesniai nei 0,26, iš viso negali susižadinti [3,5]. Ši teorinė išvada iš esmės susiaurina PIB panaudojimo sritį, apribodama ją tik itin trapiomis medžiagomis (kvarcas, stiklas, bazaltas).

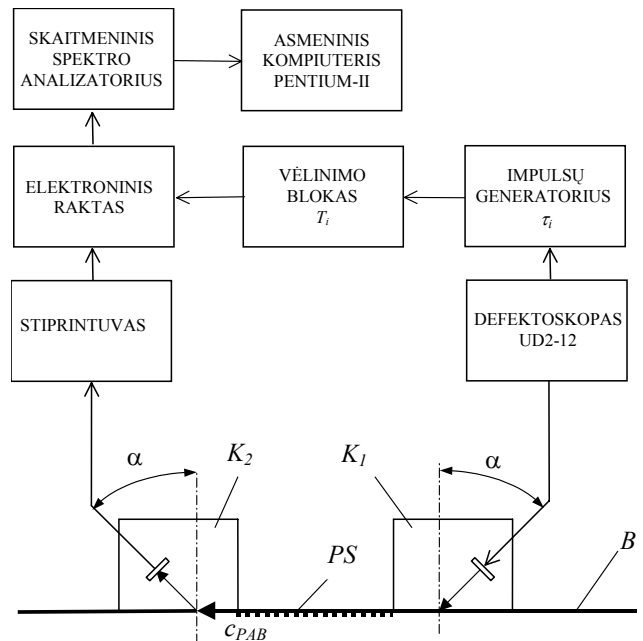
Kituose darbuose bandoma atskleisti ultragarso PIB taikymo gaminių neardomiesiems bandymams galimybes, nurodant specifinius jų privalumus rezervuarų (tarkim, branduolinio reaktoriaus korpuso) vidinių sienelių paviršiaus defektams aptikti [10]. Praktiniam PIB taikymui skirtas kolektyvinis darbas [9], kuriame pateikiamos PIB naudojimo rekomendacijos. Tačiau yra akivaizdus eksperimentinių tyrimų, galinčių patvirtinti arba paneigti teorines išvadas, dažnai nepalankias PIB taikymui, trūkumas. Akivaizdu ir tai, kad ypač svarbu eksperimentiškai tirti PIB sąveiką su paviršiumi, dėl kurios gali kisti PIB slopimas, nustatyti dėsningumus, paviršiaus mechaninių savybių įtaką slopimui.

Šio darbo tikslas – eksperimentiškai atlikti paviršiaus šiurkštumo įtakos PIB ir PSB impulsų slopimui lyginamuosius tyrimus.

## Tyrimo metodika

Tyrimai atlikti skaitmeniniu PAB defektoskopu, kurio struktūrinė schema pavaizduota 1 pav.

Kaip parodyta [11], paviršiaus nelygumai (šiurkštumas) turi įtakos PSB impulsų formai bei spektrui. Norėdami kiekybiškai įvertinti paviršiaus šiurkštumą,

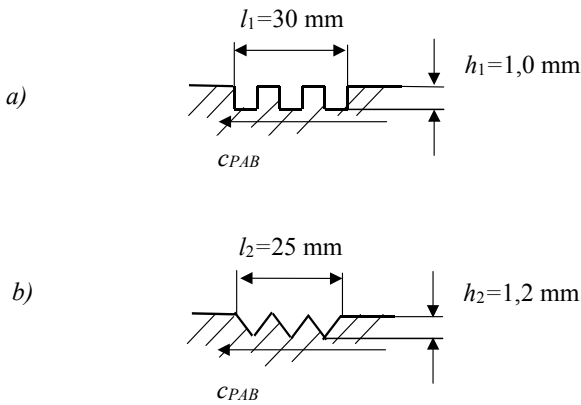


1 pav. Paviršinių bangų impulsinių signalų defektoskopo struktūrinė schema:  $B$  – tiriamasis bandinys;  $K_1, K_2$  – pjezoelektriniai kampiniai keitikliai;  $PS$  – paviršiaus struktūra

duraliuminio bandinio paviršiuje sukūrėme žinomo gylio  $h$  trikampio ir stačiakampio profilių reljefus (2 a, b pav).

Siekiant išvengti daugkartinių ultragarso atspindžių nuo bandinio krašto, taip pat žadinimo impulso pašalinės indukcijos įtakos signalo spektrui, impulsų generatoriumi G5-56 sukuriama  $\tau_i$  trukmės stačiakampis elektrinis impulsas (laiko “langas”), suvėlintas žadinimo elektrinio impulso atžvilgiu laiku  $T_i$ . Šiuo impulsu valdomas elektroninis raktas. Tiksliai reguliuojant impulso trukmę  $\tau_i$  ir suvėlinimo laiką  $T_i$ , elektroninis raktas atidaromas tik tam laiko tarpui, kai per jį eina tiriamasis PAB signalas. Šis signalas paduodamas į skaitmeninį kompiuterinį oscilografą – spektro analizatorių (PCS64i, firma *Velleman Kit n.v.*). Pašalinių signalų slopinimas už laiko “lango” ribų  $\geq 60$  dB, oscilografo jautris - 10 mV, maksimalus signalų diskretizavimo dažnis 64 MHz, laiko intervalo matavimo diskretiškumas 0,03  $\mu$ s, spektras tiriamas dažnių ruože 0 – 16 MHz.

Slopimui paviršiaus struktūroje išmatuoti naudojome šią metodiką. Nustačius atstumą tarp kampinių daviklių, lygų paviršiaus struktūros ilgiui  $l$ , išmatuojama PAB signalo amplitudė  $A_{nl}$ , po to, nekeičiant daviklių tarpusavio padėties, jie perkeliama ant lygaus paviršiaus ir



2 pav. Šiurkštaus paviršiaus modeliai

išmatuojama signalo amplitudė  $A_{0l}$ . Tuomet keitkliai suartinami ( $l=0$ ) ir išmatuojama amplitudė  $A_0$ . Tada PAB logaritminis slopimo koeficientas lygiame paviršiuje bus

$$\alpha_{0\text{ PAB}} = -\frac{\ln(A_{0l} / A_0)}{l}, \quad (1)$$

paviršiaus struktūroje

$$\alpha_{n\text{ PAB}} = -\frac{\ln(A_{nl} / A_0)}{l}. \quad (2)$$

Matuojant stačiakampio profilio struktūroje,  $n = 1$ , trikampio profilio -  $n = 2$ .

Iš formulių aiškėja, kad PAB signalas, nusklidęs atstumą  $l$ , tarkim, lygiame paviršiuje, sumažėja

$$\frac{A_0}{A_l} = e^{\alpha_{0\text{ PAB}} l} \quad (3)$$

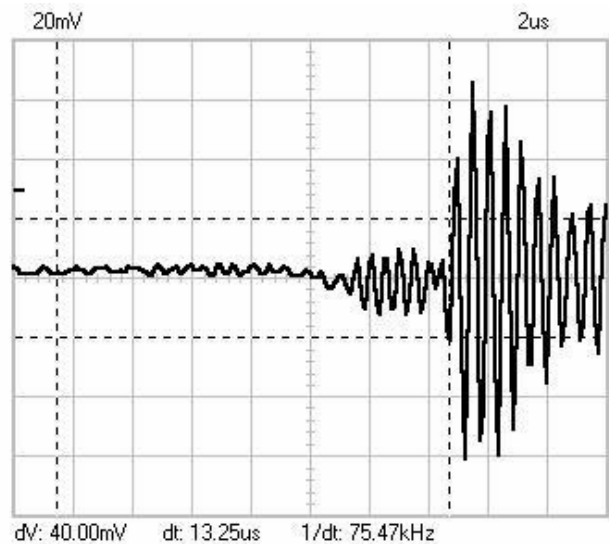
kartų, todėl pagal (1) ir (2) formules apskaičiuotas logaritminis slopimo koeficientas  $\alpha_{\text{PAB}}$  parodo, kad banga nuslopsta  $e$  kartų, kai nusklinda atstumą, lygų  $1/\alpha_{\text{PAB}}$ .

### Tyrimų rezultatai

Tiriant duraliuminio bandinio paviršiaus šiurkštumo įtaką PAB charakteristikoms, buvo registruojamas PAB impulsas ir jo spektras. Dviejų paviršinių bangų tipų - PIB ir PSB - slopinimas buvo matuojamas trimis poromis skirtingų dažnių (1,8 MHz, 2,5 MHz, 4,0 MHz) kampiniais keitkliais. 3 pav. parodyti tipiški PSB impulsai, nusklidę bandinio paviršiumi, ant kurio suformuota stačiakampio profilio (2 a pav.) paviršinė struktūra. Pažymėtina, kad prieš palyginti didelės amplitudės PSB impulsą, sklindantį greičiu  $c_{\text{PSB}} < c_{\text{PIB}}$ , atsirado greitesnis PIB impulsas. Tai rodo, kad PSB, sąveikaujant su paviršiaus struktūra, ji transformuojasi į greitesnę PIB.

1 ir 2 lentelėse pateikti PSB ir PIB greičių ir slopimo matavimų duraliuminio bandinyje rezultatai, gauti 1,8 MHz ir 4,0 MHz keitkliais.

Lentelėse nurodytos santykinės matavimų neapibrėžtys, gautos dėl laiko intervalo matavimo 0,03  $\mu\text{s}$  diskretiškumu bei signalo amplitudės matavimo 10 mV diskretiškumu. Iš 1 ir 2 lentelės aiškėja, kad dėl PIB prigimtinio slopimo lygiame laisvame paviršiuje  $\alpha_{0\text{ PIB}} \gg \alpha_{0\text{ PSB}}$ , tuo tarpu dėl to, kad paviršiaus struktūra stipriau slopina PSB nei PIB, matuojant 4,0 MHz



3 pav. PSB impulsas, dėl sąveikos su paviršiaus struktūra transformavėsis į PIB signalą, atsiranda prieš pradinį PSB signalą

keitkliais, tampa  $\alpha_{n\text{ PSB}} > \alpha_{n\text{ PIB}}$ . Taigi paviršiaus nelygumai stipriau sąveikauja su PSB, nei su PIB. Tai galima paaiškinti PIB bangų savybe sklirti ne pačiu paviršiumi, bet popaviršiniu sluoksniu. Ši PIB savybė gali būti ypač naudinga koroduotų, šiurkščių, srieginių paviršių neardomiems bandymams.

1 lentelė. PSB greičio ir slopimo koeficiento duraliuminyje išmatuotos reikšmės

Paviršiaus struktūra	f=1,8 MHz		f=4,0 MHz	
	cPSB, m/s	$\alpha_{\text{PSB}}$ , 1/m	cPSB, m/s	$\alpha_{\text{PSB}}$ , 1/m
Lygus paviršius	2877±10	1,9 ±0,6	2854 ±6	2,9 ±0,6
Stačiakampio profilio struktūra	2790 ±10	27,0 ±6,0	2820 ±10	71,0 ±3,0
Trikampio profilio struktūra	2966 ±7	134,0 ±2,0	2858 ±6	135,0 ±2,0

2 lentelė. PIB greičio ir slopimo koeficiento duraliuminyje išmatuotos reikšmės

Paviršiaus struktūra	f=1,8 MHz		f=4,0 MHz	
	$C_{\text{PIB}}$ , m/s	$\alpha_{\text{PIB}}$ , 1/m	$C_{\text{PIB}}$ , m/s	$\alpha_{\text{PIB}}$ , 1/m
Lygus paviršius	6840 ±36	19,0 ±2,0	6800 ±35	32,0 ±2,0
Stačiakampio profilio struktūra	6350 ±50	20,6 ±2,0	6350 ±50	37,0 ±2,0
Trikampio profilio struktūra	6760 ±35	65,0 ±5,0	6730 ±35	126,0 ±2,0

Matavimų rezultatai taip pat rodo, kad priešingai nei matyti iš teorinių Viktorovo darbų [3], PIB bangos gali būti efektyviai sužadintos ir kietuosiuose kūnuose, kurių Puasono koeficientas  $\mu > 0,26$  (duraliuminio  $\mu = 0,34$ ) [12].

### Išvados

Eksperimentiniai lyginamieji matavimai PSB (Reilejaus) ir PIB parodė, kad šiurkščių, koroduotų, srieginių paviršių tyrimams PIB gali būti naudingesnės nei PSB, kadangi PIB sąveika su paviršiumi yra silpnesnė. Matavimai PIB duraliuminyje paneigia žinomas teorines išvadas, kad PIB gali egzistuoti tik kietuosiuose kūnuose, kurių Puasono koeficientas mažesnis nei 0,26.

### Literatūra

1. **Серейкайте-Юозонене Л. В.** Интерферометрический метод измерения скорости ультразвука в веществах, находящихся в конденсированном состоянии // Труды вузов Литовской ССР. Ультразвук. 1972. No. 4. С. 113-118.
2. **Юозонене Л. В.** Измерение скорости звуковых волн, распространяющихся в поверхностном слое вещества // Материалы 2-ой Всесоюзной конференции по вопросам методики и техники ультразвуковой спектроскопии. - Каунас, 1973. С. 87-88.
3. **Викторов И. А.** О вытекающих поверхностных волнах в изотропном твердом теле // Доклады АН СССР. Сер. Физическая. 1976. Т. 228. No. 3. С. 579-581.
4. **Юозонене Л. В.** Упругие поверхностно-продольные волны и их применение для неразрушающего контроля // Дефектоскопия. 1980. No. 8. С. 29-38.
5. **Викторов И. А.** Звуковые поверхностные волны в твердых телах. – Москва: Наука, 1981.-288 с.
6. **Ермолов И. Н., Разыграев Н. П., Щербинский В. Г.** Использование акустических волн в твердых телах // Акустический журнал. 1979. Т. 25. Вып. 1, с. 1-17.

7. **Erhard A., Wüsterberg H., Engl G., Kutzner J.** Reliability and redundancy in ultrasonic flaw sizing methods // NDT in the nuclear industry. 1980. Metals Park: ASM. 1981, p. 255-268.
8. **Басацкая Л. В., Вопилкин Л. Х., Ермолов И. Н.** и др. К вопросу о распространении ультразвуковых продольных волн вблизи поверхности твердого тела // Акустический журнал. 1978. Т. 24. Вып. 1, с. 15-20.
9. **Алешин Н. П., Белый В. Е., Вопилкин А. Х., Воцанов А. К., Ермолов И. Н., Гурвич А. К.** Методы акустического контроля металлов. – Москва: Машиностроение, 1989.- 456 с.
10. **Krautkrämer J., Krautkrämer H.** Werkstoffprüfung mit Ultraschall. - Berlin-Heidelberg-New York-London-Paris-Tokyo: Springer Verlag, 1986. – 752 p. (**Крауткремер Й., Крауткремер Г.** Ультразвуковой контроль материалов. - Москва: Металлургия, 1999.-752 с.).
11. **Sajauskas S., Minialga V., Sajauskas N.** Šiurkštumo tyrimas ultragarso paviršinėmis bangomis // Elektronika ir elektrotechnika. 2000. Nr. 4(27). P. 75-77.
12. **Кэп Г. У., Лэби Т.** Tables of physical and chemical constants (**Кэй Дж., Лэби Т.** Таблицы физических и химических постоянных. - Москва, 1962. С. 72.)

S. Sajauskas, V. Minialga, N. Sajauskas

### Comparative investigation of rough surfaces by transversal surface waves and longitudinal surface waves

#### Summary

NDT of rough surfaces by means of surface waves is complicated because of scattering of surface waves. Experimental investigations for comparison of usage of transversal surface waves (TSW) and longitudinal surface waves (LSW) showed that because of a strong interaction of rough surface with TSW and because of transmission of LSW in the subsurface layer the attenuation of LSW in regular surface structures may be smaller than attenuation of TSW. This means that in investigations of rough, corroded, screw surfaces the LSW may be more useful than TSW. Investigations carried out using LSW in duralumin specimen deny the known theoretical conclusions that LSW can exist in solid bodies the Poisson's ratio of which is smaller than 0.26.

Pateikta spaudai: 2000 09 28

DOI: 10.5755/j01.u.36.3.7985