



Fizikalni praktikum IV

Poročilo

Vaja: Ultrazvok

Simon Bukovšek

Datum vaje: 6. marec 2023

Datum oddaje poročila: 13. marec 2023

1 Teoretični uvod

Ultrazvočna oddajno-sprejemna sonda (transducer) deluje tako, da pošlje ultrazvočni signal v kovino in posluša odboje. Odboji se prikažejo kot signal na osciloskopu. S pomočjo različnih sond lahko prožimo tako transverzalne kot tudi longitudinalne valove. Hitrost longitudinalnega in transverzalnega valovanja pa lahko v razsežnih materialih izrazimo z strižnim (G) in Joungovim modulom (E), gostoto ρ in Poissonovim razmerjem (μ):

$$c_{\text{trans}}^2 = \frac{G}{\rho} = \frac{E}{2\rho(1 + \mu)},$$
$$c_{\text{long}}^2 = \frac{E(1 - \mu)}{\rho(1 + \mu)(1 - 2\mu)}.$$

2 Pripomočki

- Ultrazvočni defektoskop kot izvor in detektor valovanja.
- Digitalni osciloskop za opazovanje signala (SigLent SDM 3065X), USB ključek.
- Ultrazvočna sonda za longitudinalno valovanje MB4S-N z resonančno frekvenco 4 MHz (proizvajalec GE Kreutkramer) in za transverzalno valovanje V155 z resonančno frekvenco 5 MHz (proizvajalec Panamatrix).
- Posoda z vodo s sondo MB4S-N in z nastavljivo odmevno površino, atenuator (dušilec) signala.
- Standardni miniaturni in kalibracijski blok normalne velikosti nepravilnih oblik z režami in izvrtinami.
- Valji iz jekla, aluminija in drugih materialov.
- Kontaktna pasta za zapolnitev reže med sondami in merjenci.
- Stojalo za montažo sonde in valjastih merjencev, BNC kabli.

3 Meritve

Najprej smo izmerili dolžino kovinskega bloka in poslušali ultrazvočne odboje od površin bloka. To smo naredili za dve različni debelini ter določili čas, potrebe za dvojno pot zvoka vzdolž bloka. Za tem smo prislonili sondo na nasprotno stran tistega dela bloka, kjer je bila zarezana majhna zareza. Na ta način smo na sondi dobili več različnih odbojev iz česar smo izmerili globino reže. Na koncu smo merili čas, potreben za odboj zvoka v jeklenem in aluminijastem valju s pomočjo vodnega interferometra. Skupaj s senzorjem na kovini smo na osciloskop priključili tudi podobno sondo, ki je merila odboje v posodi z vodo. V tej posodi smo lahko premikali odbojno ploščo in s tem spreminjali čas do prvega in naslednjih odbojev. S tako metodo smo lahko z večjo natančnostjo izmerili čas odboja. Izmerili smo transversalno in longitudinalno hitrost z dvema različnima senzorjema.

4 Izmerjeni podatki in analiza

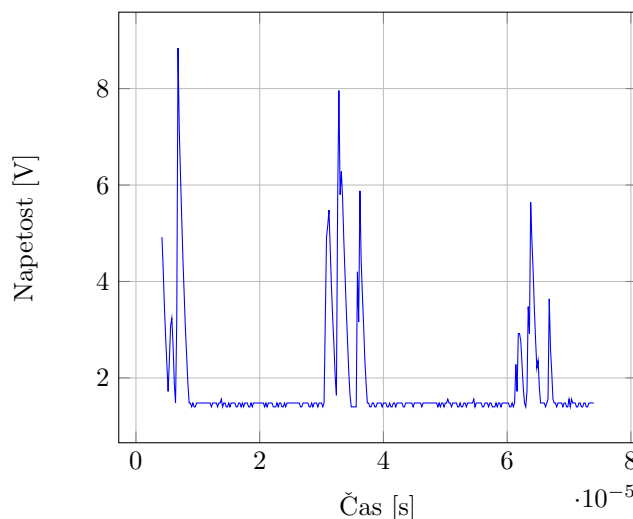
Najprej smo izmerili daljšo in krajšo višino umeritvenega bloka: $h = (10.020 \pm 0.002)$ cm in $h' = (9.118 \pm 0.002)$ cm. Z ultrazvokom smo izmerili čas med prvim in drugim odbojem. Čas prevega in drugega odboja, razlika v časih in preračunana hitrost zvoka v jeklu so podani v spodnji tabeli. Hitrost valovanja je izračunana kot $c = 2h/\Delta t$.

Količina	Daljša širina	Krajša širina
Prvi odboj	$(3.551 \pm 0.002) \cdot 10^{-5}$ s	$(3.241 \pm 0.002) \cdot 10^{-5}$ s
Drugi odboj	$(6.929 \pm 0.002) \cdot 10^{-5}$ s	$(6.314 \pm 0.002) \cdot 10^{-5}$ s
Čas med odbojema	$(3.378 \pm 0.003) \cdot 10^{-5}$ s	$(3.073 \pm 0.003) \cdot 10^{-5}$ s
Debelina	(10.020 ± 0.002) cm	(9.118 ± 0.002) cm
Hitrost valovanja	(5933 ± 5) m/s	(5934 ± 5) m/s

Tabela 1: naslov tabele

Za tem smo opazovali odboj zvoka na tanki zarezi. Signal, ki smo ga dobili, je prikazan na spodnjem grafu. Iz grafa odčitamo po dva odboja za tri različne signale: na večji širini, na manjši širini in na reži. Časi

Ultrazvočni odboji v bloku železa



signalov so podani v spodnji tabeli.

Osredotočimo se samo na prvi odboj – že v prejšnjem delu smo izračunali, da je razdalja do daljšega roba enaka (10.020 ± 0.002) cm. Izračunajmo, koliko je reža globoka. To storimo po formuli:

$$h_{\text{reza}} = \frac{1}{2}c(t_{\text{rob}} - t_{\text{reza}}) = (1.578 \pm 0.009) \text{ cm.}$$

Količina	Odboj 1 (daljša širina)	Odboj 2 (krajša širina)	Odboj 3 (reža)
Prvi odboj	$(3.614 \pm 0.002) \cdot 10^{-5} \text{ s}$	$(3.280 \pm 0.002) \cdot 10^{-5} \text{ s}$	$(3.082 \pm 0.002) \cdot 10^{-5} \text{ s}$
Drugi odboj	$(6.672 \pm 0.002) \cdot 10^{-5} \text{ s}$	$(6.378 \pm 0.002) \cdot 10^{-5} \text{ s}$	$(6.164 \pm 0.002) \cdot 10^{-5} \text{ s}$

Tabela 2: naslov tabele

Globinska ostrina je polovica širine signala, to je $\Delta t/2 = (1.90 \pm 0.02) \cdot 10^{-6} \text{ s}$. Da to preračunamo v dolžino, moramo množiti z dvojno velikostjo zvoka (signal namreč potuje v obe smeri):

$$\Delta h = 2c_0 \frac{\Delta t}{2} = (1.13 \pm 0.02) \text{ cm}.$$

V nadaljevanju smo merili hitrost valovanja v jeklu in aluminiju s pomočjo interferometra. Meritve razdalj na interferometru pri različnih odbojih so podani v spodnji tabeli.

Tip valovanja	Odboj	Jeklo [cm] ($\pm 0.003 \text{ cm}$)	Aluminij [cm] ($\pm 0.003 \text{ cm}$)
Vzdolžno	1	0.238	0.542
	2	0.878	1.058
	3	1.513	1.695
	avg	0.638 ± 0.002	0.577 ± 0.002
Prečno	1	0.744	0.775
	2	1.876	1.992
	3	3.320	3.207
	4	4.145	4.507
	avg	1.165 ± 0.001	1.241 ± 0.001

Povprečje je izračunano kot najboljši fit premice na graf časa v odvisnosti od številke odboja. Za izračune potrebujemo hitrost valovanja v vodi. Temperatura je bila $T = 20.4^\circ \text{C}$, hitrost pa je bila izračunana po enačbi

$$c_v = c_0 + k(T - T_0) = 1484.1 \text{ m/s}.$$

Konstante so $c_0 = 1483.1 \text{ m/s}$, $T_0 = 20^\circ \text{C}$ in $k = 2.5 \text{ m s}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Hitrost valovanja smo izračunali po enačbi

$$c = c_v \frac{d}{d_v},$$

kjer je c_v hitrost valovanja v vodi, d deblina merjenega kovinskega bloka in d_v razdalja med senzorjem in odbojno ploščo v vodi. Debelina jeklenega vzorca je bila $d_j = (2.500 \pm 0.002) \text{ cm}$, debelina aluminija pa $d_{\text{Al}} = (2.514 \pm 0.002) \text{ cm}$. Gostoti jekla in aluminija sta $\rho_j = (7850 \pm 10) \text{ kg/m}^3$ in $\rho_{\text{Al}} = (2710 \pm 10) \text{ kg/m}^3$. Strižni modul smo izračunali po enačbi

$$G = \rho c_{\text{trans}}^2,$$

Poissonovo razmerje kot

$$\mu = \frac{1 - (c_{\text{long}}/c_{\text{trans}})^2/2}{1 - (c_{\text{long}}/c_{\text{trans}})^2}$$

in Youngov modul kot

$$E = 2G(1 + \mu).$$

Izračunani podatki in primerjava s podatki, pridobljenimi iz literature, so podani v spodnji tabeli.

Količina	Jeklo		Aluminij	
	Meritev	Literatura	Meritev	Literatura
c_{long} [m/s]	$(5820 \pm 20) \text{ m/s}$		$(6472 \pm 24) \text{ m/s}$	
c_{trans} [m/s]	$(3186 \pm 4) \text{ m/s}$		$(3006 \pm 4) \text{ m/s}$	
G [Pa]	$(7.97 \pm 0.02) \cdot 10^{10} \text{ Pa}$	$7.93 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$	$(2.45 \pm 0.01) \cdot 10^{10} \text{ Pa}$	$2.4 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$
μ	0.286 ± 0.002	0.28	0.362 ± 0.001	0.33
E [Pa]	$(2.049 \pm 0.008) \cdot 10^{11} \text{ Pa}$	$1.6 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$	$(6.67 \pm 0.03) \cdot 10^{10} \text{ Pa}$	$6.2 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$