

Ultra zvok

Samo Krejan

marec 2025

1 Uvod

Ultrazvok, kot vse nedestruktivne metode opazovanja sloni na pojavih absorbcije, sipanja in odboja valovanja v notranjosti telesa. Relavanten parameter je valovna dolžina uporabljeeega valovanja, ki nam določa ločljivost, hkrati pa mora biti tudi absorbcija in sipanje zmerno. Poleg tega potrebujemo primerne vire in detektorje valovanja (ultrazvoka).

Seveda se ultrazvok že dolgo uporablja v medicini, poleg tega pa je zelo uporaben tudi v kovinski industriji za zaznavanje nečistoč v npr.: blokih železa. Ultrazvok s frekvenco nekaj MHz ima v večini snovi valovno dolžino okoli milimetra, kar zadostuje za opazovanje človeškega telesa ter za analizo jeklenih blokov. Merjenje jakosti odbojev ultrazvoka v različnih globinah merjenca je najbolj pogost način meritve. V tem primeru merimo čas, ki ga valovanje porabi od izvora do nehomogenosti, ki valovanje delno odbija, in nazaj do detektorja. Meritev časa nam omogoča pošiljanje sunkov ultrazvočnega valovanja, s čimer je taka priprava močno podobna radarju. Za izvor uporabimo kar piezo kristal, ki odda le kratek sunek, dolg nekaj valovnih dolžin, nato pa meri jakost odbitega signala v odvisnosti od časa. Isti piezokristal lahko uporabimo tudi kot sprejemnik valovanaj, s čemer dobimo eno-dimenzionalni prerez opazovanega telesa. Če uporabimo večje število izvorov in detektorjev (npr.: 256) lahko dobimo dvo-dimenzionalni presek. To uporabljajo na primer v ginekologiji.

Moderne ultrazvočne priprave omogočajo tudi merjenje premikov frekvence kot posledico Dopplerjevega pojava, s čimer lahko analiziramo tudi premikanje teles (nehomogenosti). Seveda uporabljajo tudi drugačne metode.

Za nas zanimivo je tudi določanje hitrosti ultrazvoka v snovi saj je le-ta povezana z različnimi lastnostmi snovi. V homogenih snoveh lahko tako na primer določimo prožni modul E , strižni modul G in pa Poissonovo število μ . Velikrat smo recimo že videli s kakšno hitrostjo c se širi vaovanje po tanki palici z gostoto ρ (1):

$$c^2 = \frac{E}{\rho} \quad (1)$$

V razsežnem sredstvu je stvar nekoliko drugačna. Hitrost širjenja valovanja namreč opiše enačba (2)

$$c^2 = \frac{E(1 - \mu)}{\rho(1 + \mu)(1 - 2\mu)} \quad (2)$$

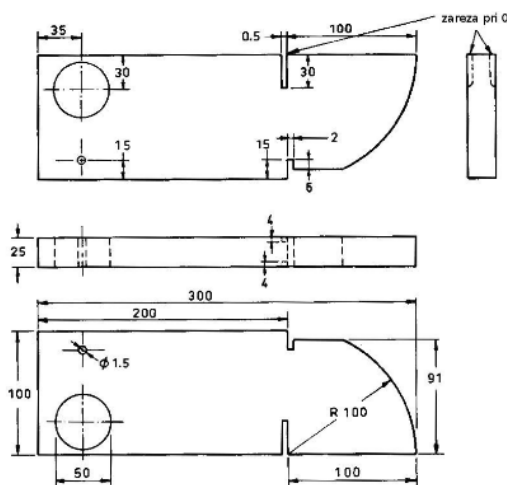
Obe ti enačbi veljata le za longitudinalno valovanje. Pri transferzalnem je zadeva še nekoliko drugačna, saj je tam vsesкупaj odvisno bolj od strižnega modula. Enačba za hitrost tam torej izgleda kot (3).

$$c^2 = \frac{G}{\rho} = \frac{E}{2\rho(1 + \mu)} \quad (3)$$

Hitrost transferzalnega valovanja v tanki palici, je še bolj zakomplicirana, a se z njo tu ne bomo ukvarjali.

2 Potrebščine

- 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 transversalno valovanje V155 z resonančno frekvenco 5 MHz (proizvajalec Panametrics),
- 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, (slika 1)
- valji iz jekla, aluminija in drugih materialov,
- kontaktne paste za zapolnitev reže med sondami in merjenci,
- stojalo za montažo sonde in valjastih merjencev, BNC kabli.



Slika 1: kalibracijski blok

3 Naloga

- Opazujte odboj longitudinalnega ultrazvočnega valovanja na različnih ploskvah priloženega merjenca nepravilnih oblik z izvrtinami in zarezi. Kalibrirajte skalo na zaslonu osciloskopa v mm poti valovanja v jeklu.
- Poiščite odboj na izvrtini premera 1mm in določi njen položaj glede na zunanje ploskve merjenca. Oцени globinsko ostrino meritve.
- Določite hitrost longitudinalnega in transverzalnega ultrazvočnega valovanja v jeklu in aluminiju, ali v drugem materialu. Uporabi ultrazvočni interferometer. Izračunajte prožnostni modul E , strižni modul G in Poissonovo število μ .

4 Rezultati in analiza

Najprej smo izmerili daljšo in krajšo višino kalibracijskega bloka: $h = 10,020 \pm 0,002 \text{ cm}$ in $h' = 9,118 \pm 0,002 \text{ cm}$. 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 tabeli 1. Hitrost valovanja je izračunana kot $c = \frac{\Delta t}{2h}$ saj signal potuje v obe smeri.

Količina	daljša širina	krajša širina
prvi odboj	$3,551 \pm 0,002 \text{ } 10^{-5} s$	$3,241 \pm 0,002 \text{ } 10^{-5} s$
drugi odboj	$6,929 \pm 0,002 \text{ } 10^{-5} s$	$6,314 \pm 0,002 \text{ } 10^{-5} s$
čas med odbojema	$3,378 \pm 0,003 \text{ } 10^{-5} s$	$3,073 \pm 0,003 \text{ } 10^{-5} s$
debelina	$10,020 \pm 0,002 \text{ cm}$	$9,118 \pm 0,002 \text{ cm}$
hitrost valovanja	$5993 \pm 5 \text{ m/s}$	$5994 \pm 5 \text{ m/s}$

Tabela 1: tabela podatkov

Za tem smo opazovali odboj ultra zvoka na tanki zarezi. Signal, ki smo ga prejeli je prikazan na grafu 4. Iz grafa odčitamo po dva odboja za tri različne signale: na večji širina, na manjši širini in na reži. Časi signalov so v tabeli 2.

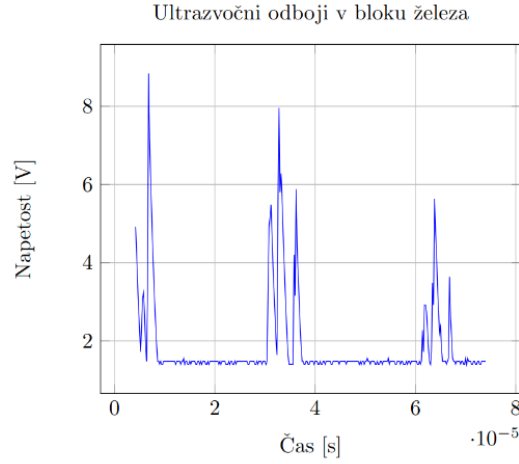
količina	odboj 1 (daljša širina)	odboj 2 (krajša širina)	odboj 3 (reža)
prvi odboj	$3,614 \pm 0,002 \text{ } 10^{-5} s$	$3,280 \pm 0,002 \text{ } 10^{-5} s$	$3,082 \pm 0,002 \text{ } 10^{-5} s$
drugi odboj	$6,672 \pm 0,002 \text{ } 10^{-5} s$	$6,378 \pm 0,002 \text{ } 10^{-5} s$	$6,164 \pm 0,002 \text{ } 10^{-5} s$

Tabela 2: tabela podatkov

Da izračunamo globino reže se osredotočimo samo na prvi odboj. Ker že poznamo velikost bloka in hitrost ultrazvoka v bloku, lahko računamo globino po formuli 4

$$h = \frac{1}{2}c(t_{rob} - t_{reza}) = 1,578 \pm 0,009 \text{ cm} \quad (4)$$

Globinsko ostrino lahko določimo kot polovico širine signala. To seveda preračunamo iz časa v dolžino, kjer upoštevamo, da signal prepotuje dvojno pot (tja in nazaj). Dobimo vrednost $\Delta h = 1,13 \pm 0,02 \text{ cm}$.



Slika 2: Graf signala na tanki reži

V nadaljevanju smo merili hitrost valovanja v jeklu, aluminiju in medenini s pomočjo interferometra. Čez meritve razdalje smo "fittali" premico s *pythonom*, ki nam je podala povprečne vrednosti razlik skupaj z napako. Te rezultate prikažemo v tabeli 3.

tip valovanja	jeklo [cm]	aluminij [cm]	medenina [cm]
longitudinalno	$0,64 \pm 0,04$	$0,58 \pm 0,05$	$0,80 \pm 0,09$
transferzalno	$1,17 \pm 0,06$	$1,24 \pm 0,06$	/

Tabela 3: tabela podatkov

Za nadaljnje račune potrebujemo še hitrost ultrazvoka v vodi. To dobimo po enačbi podani v navodilih (5) in s podatkom, da je bila temperatura vode $T = 22,6^\circ C$.

$$c_v = c_0 + k(T - T_0) = 1484,1 \text{ m/s} \quad (5)$$

Posamezne hitrosti nato računamo po enačbi 6:

$$c = c_v \frac{d}{d_v} \quad (6)$$

Strižni modul, Poissonovo število in Youngov modul lahko nato preprosto izračunamo po obrazcih 7:

$$\begin{aligned} G &= \rho c_{trans}^2 \\ \mu &= \frac{1 - (c_{lang}/c_{trans})^2}{1 - (c_{lang}/c_{trans})^2} \\ E &= 2G(1 + \mu) \end{aligned} \quad (7)$$

Izračunane podatke predstavimo v tabeli 4.

količina	jeklo	aluminij	medenina
c_{lang} [m/s]	5800 ± 200	6400 ± 200	4600 ± 400
c_{trans} [m/s]	3200 ± 100	3000 ± 100	/
G [GPa]	80 ± 2	25 ± 1	/
μ	$0,29 \pm 0,02$	$0,36 \pm 0,01$	/
E [GPa]	200 ± 10	67 ± 3	/

Tabela 4: tabela podatkov

Te podatki se zelo dobro skladajo z literaturo, tako da lahko rečemo, da je bila vaja uspešna. Če bi si želeli zmanjšati napake meritev, bi to lahko naredili z natančnejšo meritvijo dolžin pri interferometru. Ocenjujem, da bi lahko napako znižali za približno faktor 10.