

Uporaba ultrazvoka

Uvod

Nedestruktivne metode opazovanja (angl. nondestructive testing – NDT) notranjosti človeškega telesa in drugih objektov, slonijo na pojavih absorpcije, sipanja in odboja valovanja v notranjosti telesa [1]. Uporabljamo lahko najrazličnejša valovanja, odvisno od zahtev preiskave. Važna je valovna dolžina, ki nam določa ločljivost metode, in pa zmerna absorpcija ali sipanje. Poleg tega potrebujemo priročne izvore in detektorje valovanja.

Ultrazvočne metode se že dolgo uporabljajo tako v medicini kot v industriji [3]. Nizke jakosti ultrazvoka niso škodljive človeškemu telesu. Ultrazvok s frekvenco nekaj MHz ima v večini snovi valovno dolžino okoli mm, kar zadostuje za opazovanje človeškega telesa in mnogih izdelkov v proizvodnji, npr. jeklenih blokov v železarni.

Merjenje jakosti odbojev ultrazvoka v različnih globinah merjenja 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 sunkovni način delovanja ultrazvočnega izvora, ki je analogen delovanju radarja. Izvor (piezoelektrični kristal) odda kratek močan impulz valovanja, ki je dolg le nekaj valovnih dolžin, nato pa merimo jakost odbitega signala v odvisnosti od časa. Detektor je običajno kar isti piezoelektrični kristal, ki služi tudi kot izvor ultrazvoka. Na ta način dobimo enodimenzionalen prerez skozi merjeno telo. Večje število izvorov in detektorjev ultrazvoka v eni dimenziji (npr. 256, sedanje stanje aparatov v ginekologiji) omogoča opazovanje dvodimenzionalnih prerezov skozi telo. Sedanje izboljšave ultrazvočnih merilnikov so usmerjene v merjenje Dopplerjevega premika odbitega valovanja, ki pove nekaj o gibanjih v telesu; merjenje višjih harmonskih frekvenc v odbitem valovanju, ki pokaže drugačne podrobnosti; in še v mnoge druge metode. Z natančnimi meritvami hitrosti ultrazvoka v snovi lahko določimo tudi mnoge lastnosti snovi, ki so povezane z njeno trdnostjo. V homogenih snoveh lahko npr. določimo modul elastičnosti E , strižni modul G in Poissonovo število μ . V tanki palici (valovna dolžina je dosti večja od premera palice) se širi longitudinalno valovanje s hitrostjo

$$c_{\text{long,tanka}}^2 = \frac{E}{\rho},$$

kjer je ρ gostota palice. Hitrost longitudinalnega valovanja v razsežnem sredstvu je podana s formulo

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

Hitrost transversalnega valovanja v razsežnem sredstvu lahko izrazimo s strižnim modulom ali pa s prožnostnim modulom in Poissonovim številom

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

Hitrost transversalnega valovanja v tanki palici je bolj zapletena funkcija geometrije in je poleg tega odvisna od valovne dolžine. Z njo se tukaj ne bomo ukvarjali.

Potrebščine

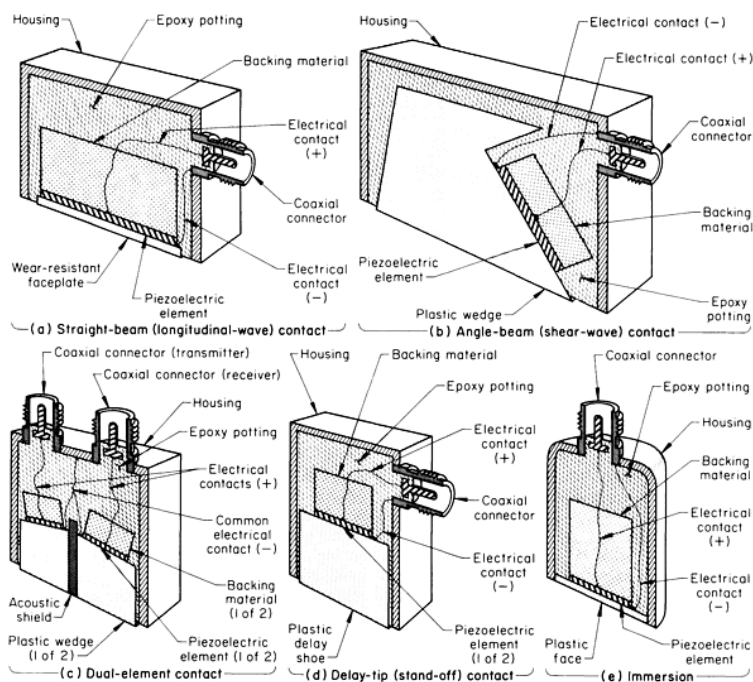
- ultrazvočni defektoskop kot izvor in detektor valovanja,
- digitalni osciloskop za opazovanje signala (SigLent SDM 3065X), USB ključek,
- ultrazvočna sonda za longitudinalno valovanje MB4S-N z resonančno frekvenco 4 MHz (proizvajalec GE Kreutkramer) in za transversalno valovanje V155 z resonančno frekvenco 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,
- 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.

Naloga

1. 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.
2. Poiščite odboj na izvrtini premera 1mm in določite njen položaj glede na zunanje ploskve merjenca. Ocenite globinsko ostrino meritve.
3. Določite hitrost longitudinalnega in transversalnega ultrazvočnega valovanja v jeklu in aluminiju, ali v drugem materialu. Uporabi ultrazvočni interferometer. Izračunajte prožnostni modul E , strižni modul G in Poissonovo število μ .

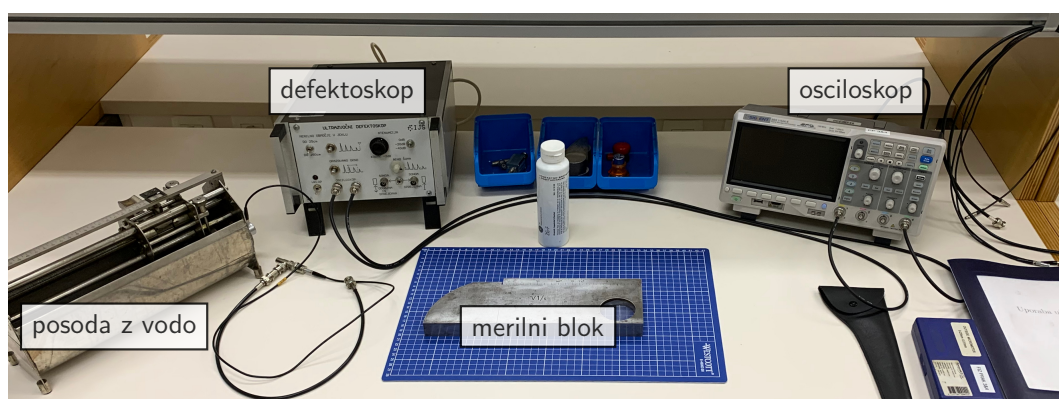
Navodilo

Ultrazvočni defektoskop izdelan na IJS [2] vsebuje izvor, ki odda kratek napetostni sunek (približno 200 V, 100 ns), ki je povzročen s hitrim praznjenjem kondenzatorja. Sunek vodimo na ultrazvočno sondo, ki močno zaniha in odda sunek valovanja v material, ki se ga sonda dotika. Osrednji del sond v uporabi je piezo-električni kristal, glej sliko 1, ki ob sunku napetosti zaniha glede na tip sonde v specifični smeri. Ob tem pa se kristal in njegovo vpetje obnaša kot dušeno nihalo z resonančno krivuljo, katere resonančna frekvenca je napisana na sondi. Ista sonda deluje tudi kot sprejemnik valovanja, zato rečemo, da je oddajno-sprejemna sonda (angl. transducer). Valovanje, ki se vrne do sonde le-to vzbudi, povratni signal pa se vrne do aparature, kjer se ojači, usmeri in je dostopen na Y izhodu. Proženje sunka pa je dano na X izhodu. Izhod Y povežite na kanal 1 osciloskopa in izhod X na kanal 4. Slednjega uporabimo za proženje (angl. triggering) osciloskopa, kar nastavimo na meniju pod gumbom **Setup** v sekciji



Slika 1: Shematični prikaz različnih tipov piezoelektričnih ultrazvočnih sond.

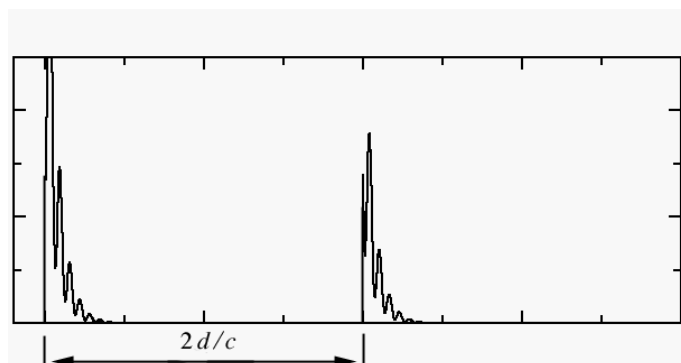
Trigger. Če je proženje vidno, ga lahko izključimo s pritiskom na številko kanala 4 in v meniju pod glavnim oknom opcijo Trace nastavimo na Hidden. Sondo priključite na spodnji levi BNC konektor. Desni konektor bi uporabili, če bi imeli ločeno sprejemno sondo. Gumbi nad konektorjem služijo za nastavev skale v vodoravni smeri. Zgornji preklopnik 25/250 in variabilni potenciometer pod njim so v originalni izvedbi aparature služili za nastavev primerne raztega skale. Sedaj za to uporabljamo zunanji osciloskop. Na levi strani kontrolne enote nastavljamo občutljivost v navpični smeri. Na voljo imamo grobi preklopnik 40, 20 in 0 dB ter finejši preklopnik 1 - 12 dB. Celotna postavitve vaje je prikazana na sliki 2.



Slika 2: Shematični prikaz različnih tipov piezoelektričnih ultrazvočnih sond.

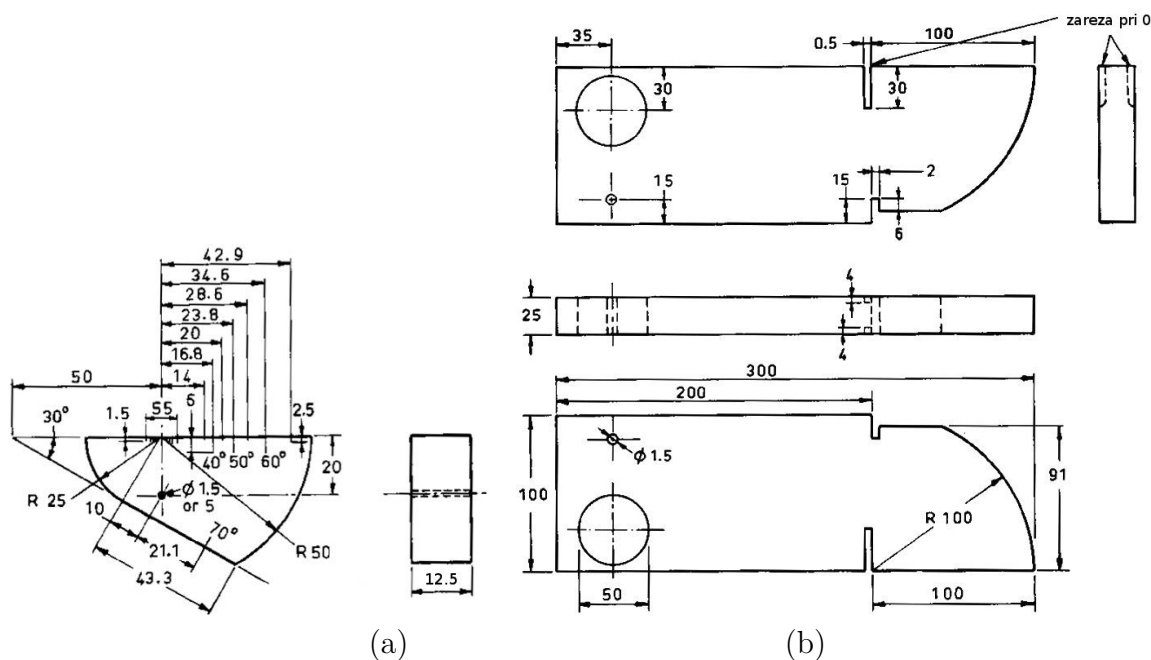
Priključite na defektoskop sondo MB4S-N in preverite povezave z osciloskopom. Vključite ultrazvočni defektoskop in osciloskop. Po končani vzpostavitvi povezav in nastavitvah poiščite sliko na osciloskopu. Odboji valovnega paketa izgledajo na zaslonu kot usmerjen signal iznižavanja dušenega nihajnega kroga z razpolovno dolžino približno 2 nihajev,

kar kaže slika 3.



Slika 3: Časovna odvisnost signala na ultrazvočnem preizkuševalcu. Prvi vrh ustreza odboju na meji sonda-merjenec, drugi vrh pa ustreza odboju na ploskvi, ki je za d oddaljena od sonde.

Vodoravna ločljivost zaslona sicer ne omogoča opazovanja podrobnosti znotraj valovnega paketa. Umeri začetek merilne skale, ki naj sovпада z začetkom prvega odboja. Prvi odboj dobimo že na meji sonda-merjenec.

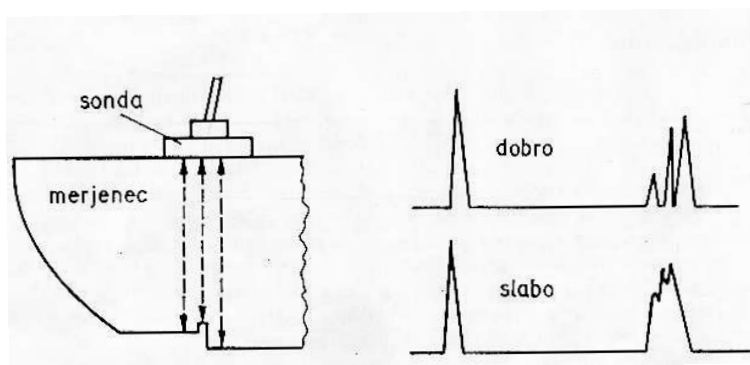


Slika 4: Standardni miniaturni kotni (tipična oznaka IIW V2) (a) in kalibracijski blok normalne velikosti (tipična oznaka IIW V1/5, po standardu ISO 2400) (b), kjer kratica IIW pomeni International Institute of Welding. Mere so v milimetrih.

Ta odboj zmanjšamo, tako da sondo pritismo na gladko ploskev merjenca in režo med sondo in ploskvijo zapolnimo s kontaktnim sredstvom, ki bolje sklopi valovanje iz sonde v merjenec. Sklopitev je najboljša, kadar so vse karakteristične impedance (ρv^2 , kjer je ρ gostota snovi, v pa hitrost ultrazvoka v snovi) enake. Za naš namen je za longitudinalne valove dobra kakršna koli pasta ali gel, za sklopitev transverzalnih valov pa mora biti pasta zelo viskozna. Za sklopitev je dovolj že zelo tanek film, zato uporabljajte pasto ZELO varčno!

Slike odbojev, ki jih vidite na osciloskopu, si skicirajte v laboratorijski dnevnik in za natančno analizo doma shranite v datoteke na vašem USB ključku. Lahko si shranite sliko odbojev ali pa tudi podatke na posameznih kanalih v CSV formatu. Napotke za obravnavo slednjih najdete v spremnih navodilih.

1. S sondo pritisnjeno na kablibratoski blok opazuje odboje signala z različnih ploskev merjenca. Običajno lahko opazujemo tudi mnogokratne odboje valovanja med vzporednimi ploskvami merjenca. Razdalja med njimi je konstantna. Umerite skalo merilnika tako, da nastavite začetek prvega odboja v položaj, ki ustreza znani debelini merjenca. Sondo pritisnite na več različnih ploskev merjenca in opazuj ustrezne odboje in primerjajte razdalje.
2. S sondo se približajte ploskvi kablibratoski bloka, v bližini katere je izvrtina 1 mm. Identificirajte odboj na tej izvrtini, izmerite jakost odboja in položaj izvrtine. Primerjajte jakost signala z izvrtine z jakostjo odboja na ravni in okrogli ploskvi. Sondo namestite na merjenec, kot kaže slika 5. Izmerjeno sliko primerjajte s sliko 5 in oceni dejansko globinsko ostrino.

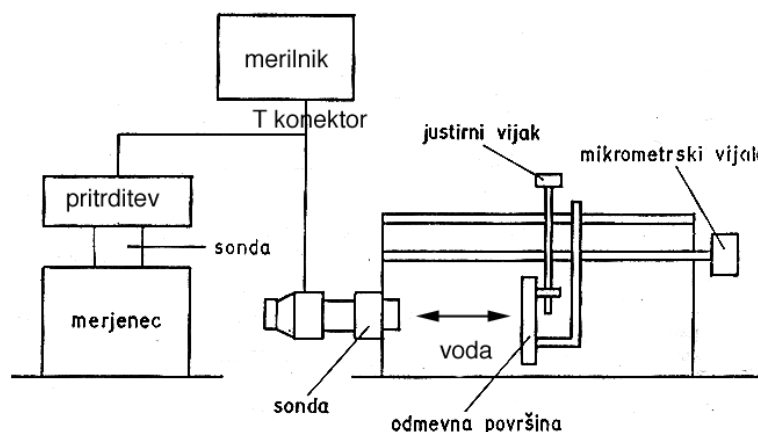


Slika 5: Ocenjevanje globinske ostrine pri merjenju s sondo MB4S-N.

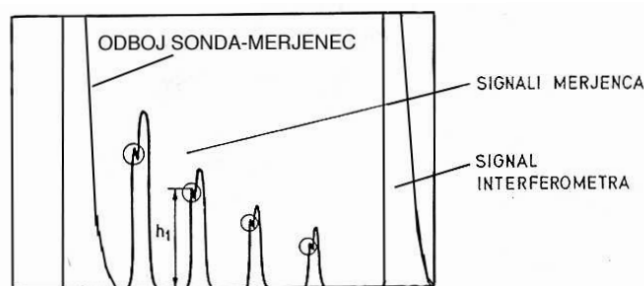
3. Ultrazvočni interferometer nam omogoča zelo natančne primerjalne meritve hitrosti zvoka. Iz istega izvora napajamo dve ultrazvočni sondi. Položaj premične odmevne stene v vodi spreminjamo s pomočjo grobe nastavitve in fine preko mikrometerskega vijaka. Za večje premike ni potrebno vrteti vijaka, pač pa stisnemo vzvod, ki vijak sprosti in potem lahko odmevno površino prosto premikamo.

Namesto ene same sonde priključite preko T-spoja na BNC konektor poleg prejšnje sonde MB4S-N še sondo za longitudinalno valovanje MB4S-N v posodi z vodo in z nastavljivo odmevno površino, kot je prikazano na sliki 6. Na merjenec pritisnite sondo, za kar lahko uporabite tudi stojalo, in na zaslonu zdaj vidite odmeve iz merjenca in iz vode, kar shematično prikazuje slika 7.

Posamezne odmeve identificirate s premikanjem odmevne površine. Preden začnete z meritvijo, naravnajte odbojno površino interferometra tako, da je odbiti signal interferometra najvišji. Odvisno od položaja sonde glede na merjenec in pritrditve sonde so signali merjenca različno izraziti. Nastavite sondo tako, da so odboji izraziti in enakomerno razmaknjeni.



Slika 6: Shema ultrazvočnega interferometra s katerim primerjamo hitrosti ultrazvoka v vodi in neznanem merjencu.



Slika 7: Zaslon ultrazvočnega merilnika pri interferometrični meritvi.

Merimo tako, da s signalom iz interferometra prekrijemo po vrsti čim več odmevnih signalov iz merjenja. Časovno skalo si poljubno spreminjamo, tako da je prekrivanje posameznih odmevov čimbolj vidno. Dobro prekrivanje signalov dosežemo z opazovanjem "zobčkov" na začetku odmevnih signalov (na levi strani). Ti zobčki predstavljajo prvi nihaj v ultrazvočnem impulzu. Na sliki 7 so ti nihaji označeni s krožci. Meritev začnemo s signalom iz interferometra na desni strani odmevnega signala. Signal interferometra premikamo z mikrometerskim vijakom proti levi in opazujemo zobček. Ta miruje toliko časa, dokler se sočasno z njim ne pojavi tudi odbojni signal iz interferometra. Položaj, ko začne položaj zobčka reagirati na premikanje mikrometerskega vijaka, je možno zelo natančno določiti in s tem sta začetka obeh odbojnih signalov zelo natančno poravnana. Poiščite in izmerite položaj prekrivanja za čim več odmevnih signalov. Razlike med odčitanimi legami morajo biti konstantne. Odčitajte tudi temperaturo vode. Vse opisane meritve opravite še za aluminij.

Za merjenje hitrosti transverzalnega valovanja uporabimo drugo sondo V155, resonančna frekvenca 5 MHz in iste merjence kot prej. Sonde za transverzalno valovanje so v splošnem manj občutljive in je kontakt z merjencem še bolj pomemben. Ker tekočine ne prenašajo transverzalnega valovanja, potrebujemo za kontakt zelo viskozno pasto. Tanka plast take paste pri ultrazvočnih frekvencah vseeno prenese dovolj ultrazvoka. Signal iz interferometra je za to meritev dobro zmanjšati, da je primerljiv s signalom iz transverzalne sonde. Za ta namen uporabimo atenuator, ki ga vklopimo zaporedno na BNC kabel, ki vodi do interferometra. Atenuator je kar upor, ki je na ta način zaporedno priključen na sondo. Spet ponovite vse zgoraj opisane meritve z

obema merjencema, jeklenim in aluminijastim.

Iz dobljenih rezultatov izračunajte hitrosti longitudinalnega in transverzalnega ultrazvočnega valovanja. Znana hitrost valovanja v vodi in izmerjene poti nam služijo za referenco. Pri frekvenci okoli 4 MHz je hitrost zvoka v vodi podana z linearnim približkom

$$c = c_0 + k(T - T_0) ,$$

kjer je hitrost zvoka c_0 pri $T_0 = 20^\circ\text{C}$ enaka $c_0 = 1483.1 \text{ m s}^{-1}$ in temperaturni koeficient $k = 2.5 \text{ m s}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Gostota jekla je 7.8 kg dm^{-3} , aluminija pa 2.7 kg dm^{-3} . Določi še prožnostni modul, strižni modul in Poissonovo število za oba materiala.

Literatura

- [1] Aquil Ahmad in Leonard J. Bond (ed.) *ASM Handbook. Nondestructive Evaluation and Quality Control*. 2018. izd. Zv. Volume 17. ASM International, 2018. ISBN: 978-1-62708-152-8.
- [2] V. Eržen in sod. *Ultrazvočni defektoskop (Ultrasonic flawmeter)*. patent 1893, date 24.1.1983. 1983.
- [3] W. Grabendörfer in sod. *Ultrasonic Testing of Materials*. Springer Berlin Heidelberg, 2013. ISBN: 9783662023570.