

DK 620.192.3:534.321.9

## Ultra zvok pri preskušanju kovin

POLDE LESKOVAR

## 1. Uvod

Preskušanje z ultra zvokom je zelo mlada veja s področja preskušanja brez okvare materiala ali defektoskopije, kakor imenujemo pogosto preskuse te vrste. Za namene preskušanja uporabljamo ultra zvok v praksi šele kakih 15 let, čeprav vemo, da so z ultra zvokom preskušali že pred prvo svetovno vojno.

M. L. F. Richardson je že leta 1912 opozarjal na možnosti za uporabo zvoka z visoko frekvenco pri preskušanju kovinskih materialov. Leta 1918 je dokazal M. P. Langevin, da lahko povzročamo s pomočjo kremenskega kristala zvok visokih frekvenc. Tudi to še ni bil zadosten dokaz, da lahko uporabljamo zvok v namene preskušanja. Leta 1929 je dokazal S. Sokolov njegovo praktično uporabnost, ko je z zvokom visoke frekvence odkril razpoke v kovinskih predmetih. Šele leta 1931 — torej dve leti pozneje — prejme O. Mühlhäuser prvi patent s področja preskušanja z ultrazvokom. Postopek pa je bil šele leta 1943 tolikanj izpopolnjen, da ga je bilo mogoče uporabljati v industrijske namene, torej za rutinsko preskušanje. Odtlej se razvoj uporabnosti ultra zvoka vzpenja strmo navzgor. Dandanes uporabljamo ultra zvok v vseh vejah industrije. Z njim ne preskušamo samo najrazličnejših predmetov v zvezi z napakami, temveč ga moderna tehnika uporablja tudi za frezanje in vrtanje, torej za obdelavo kovinskih materialov, nadalje za varjenje ipd. V uporabi je nadalje v živilski in papirni industriji, v metalurgiji, v kemični in tekstilni industriji itd.

Čeravno je razvoj ultra zvoka v zadnjih 15 letih doživel nesluten razmah, njegove možnosti za uporabo še vedno niso izčrpane. Prepričani smo lahko, da bomo dočakali na tem področju še nove in nove postopke, ki jih bo lahko človek s pridom uporabljal na najrazličnejših področjih vsakodnevnega udejstvovanja.\*

Čeprav potemtakem ultra zvok lahko uporabljamo — kakor smo že slišali — v številne raznovrstne namene, ga po uporabnosti delimo v dve skupini, in sicer najprej za namene, ko uporabljamo njegov učinek na določene snovi, in potem za dokazovanje nekega stanja. V prvem primeru izkoriščamo energijo zvočnega valovanja, npr. pri izkoriščanju ultra zvoka pri varjenju, čiščenju plinov, čiščenju tekstilnih vlaken, v kemiji in farmaciji, v erozivni tehniki ipd.; v drugem pa je ener-

gija pomembna samo toliko, da je prenos skozi določeno snov dovolj zaznaven, pri tem pa izkoriščamo samo njegovo sposobnost prodiranja skozi snovi, tj. njegovo kratkovalovnost. To lastnost uporabljamo pri preskušanju, kar si bomo v naslednjem ogledali še nekoliko podrobneje.

## 2. Lastnosti ultra zvoka

Preden preidemo na témo samo, si oglejmo na kratko fizikalne lastnosti ultra zvoka.

V glavnem poznamo dvojje različnih valovanj, in sicer elektromagnetno in mehansko. V osnovi se obe valovanji razlikujeta med seboj v tem, da elektromagnetno valovanje pri razširjanju ne potrebuje nobenih masnih delcev, vtem ko je mehansko valovanje vedno vezano na določeno materijo (snov), in sicer na elastični medij. Za obe valovanji je karakterističen ogromen obseg frekvence valovanja, saj obsega od nekaj nihajev v sekundi do nekaj milijonov, da, celo nekaj milijard nihajev v sekundi. Pri elektromagnetnem valovanju poznamo ogromno frekvenčno območje, ki prehaja od frekvence nekaj Hz do ogromnih vrednosti  $3 \cdot 10^{23}$  Hz, to je od izmeničnega električnega toka (50 Hz) prek radijskih valov, optičnih žarkov — vidne svetlobe (od  $4 \cdot 10^{14}$  do  $7,5 \cdot 10^{14}$  Hz) do rentgenskih žarkov ( $5 \cdot 10^{16}$  ...  $3 \cdot 10^{22}$  Hz), gama žarkov ( $5 \cdot 10^{20}$  Hz) in nazadnje do kozmičnih žarkov s frekvenco  $3 \cdot 10^{23}$  nihajev v sekundi.

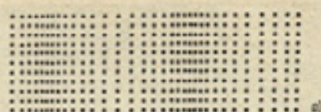
Kakor smo že omenili, imamo tudi pri mehanskem valovanju na razpolago ogromno frekvenčno območje. Mehanska valovanja, ki jih človek zaznamuje s sluhom, ležijo pri nizkih frekvencah od 16 do 20 000 nihajev v sekundi, tj. od 16 ... 20 000 Hz. Zaradi tega imenujemo mehansko valovanje v tem območju *slišni zvok*. V praktičnem življenju pa uporabljamo predvsem za namene preskušanja oziroma industrijske namene mehanska valovanja višjih frekvenc. V splošnem velja dandanes za mehansko valovanje naslednja razdelitev:

|             |                                     |
|-------------|-------------------------------------|
| infra zvok  | $f < 16$ Hz                         |
| slišni zvok | $f = 16 \dots 20\,000$ Hz (20 k Hz) |
| ultra zvok  | $f = 20\,000 \dots 10^{10}$ Hz      |
| hiper zvok  | $f > 10^{10}$ Hz                    |

Infra zvok obsega valovanja pod 16 Hz in je za človeško uho neslišen. Tako nizke frekvence nastajajo pri zemeljskih potresih in zaradi tega to valovanje včasih tudi imenujemo potresno. Ultra zvok se začne približno pri 20 000 Hz in sega do  $10^{10}$  Hz. Praktično so doslej dosegli mehanska va-

\* Glej članek Andrée, L.: Uporaba ultra zvoka za povečanje intenzivnosti zgorevanja prašnatih goriv (SV 1960, št. 6, str. 177/182).





Sl. 1. Zvočno valovanje  
a) longitudinalno valovanje  
b) transversalno valovanje

lovanja do nekaj 1000 MHz (1 MHz =  $10^6$  Hz). Povzročanje višjih frekvenc je praktično nemogoče, ker leži območje hiper zvoka po velikosti v območju toplotnega gibanja molekul v trdnih snoveh. Vprašanje je le, ali bo razvoj kazal, da bi območje ultra zvoka razdelili na več različnih območij, kakor se je to zgodilo pri elektromagnetnem valovanju. Toda prepustimo to tehničnemu napredku.

Fizikalno so vsa območja mehanskega valovanja (obravnavamo predvsem prva tri) popolnoma enaka. Med seboj se razlikujejo le toliko, da je eno območje slišno, drugi dve pa sta neslišni. Valovanja v vseh treh območjih potekajo tudi po enakih fizikalnih zakonih.

Ultra zvok je zaradi velike sposobnosti prodiranja v materialu zelo primeren za preskušanje kakor tudi za tehnološke postopke kakor so vrtnje, frezanje in podobno. Razširjanje zvočnih valov je premočrtno in daje zaradi tega možnosti za uporabo v že omenjene namene. Hitrost razširjanja zvoka je odvisna od gostote medija in znaša v zraku približno 333 m/s, v vodi pa okrog 1500 m/s itd. Hitrost zvoka v kovinah je mnogo večja in znaša v jeklu približno okrog 6000 m/s.

Za material karakteristična hitrost razširjanja  $v$  je v odvisnosti od frekvence  $f$  in valovne dolžine  $\lambda$  po znanem obrazcu:

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

Ultra zvok se podobno kakor svetloba odbija na določenih ploskvah. Če zadene ultra zvok na poti skozi določeno snov na snov z drugačno gostoto, se odbije oziroma odkloni. Tako se ultra zvok, ki ga usmerimo npr. skozi kovino, skoraj stoodstotno odbije, ko zadene na zračni oziroma plinski mehurček.

V plinih (zraku) in tekočinah (vodi) se razširja zvočno valovanje vseh frekvenc vedno samo kot longitudinalno valovanje, ki ga imenujemo pogosto tudi vzdolžno ali tlačno valovanje. Pri vzdolžnem valovanju nihajo delci vzdolžno, to je v smeri razširjanja valov; pri tem nastajajo potujoče ponavljajoče se zgostitve in razredčitve (sl. 1a).

V trdnih telesih, posebno v telesih večjih dimenzij, pa se zvočno valovanje ne razširja samo longitudinalno, temveč tudi transversalno ali prečno oziroma strižno. Pri transversalnem valovanju nihajo delci prečno na smer razširjanja valov (sl. 1b). Njihova hitrost je enaka približno polovični hitrosti longitudinalnega valovanja. V tabeli 1 je zbranih nekaj podatkov za razširjanje zvočnega valovanja po nekaterih snoveh:

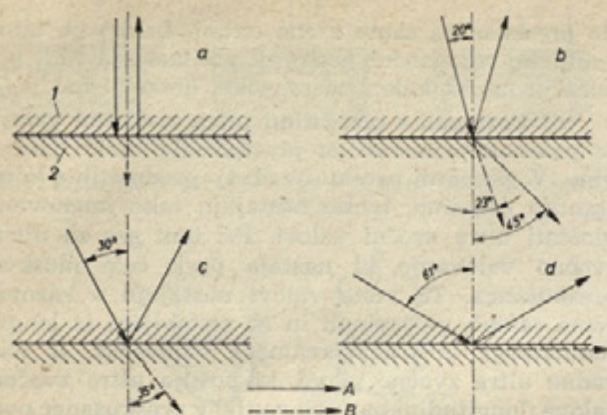
| Snov                           | Gostota<br>[g/cm <sup>3</sup> ] | Hitrost valovanja |                     |
|--------------------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------|
|                                |                                 | $v_{long}$ [m/s]  | $v_{transv.}$ [m/s] |
| aluminij                       | 2,7                             | 6300              | 3080                |
| elektron                       | 1,8                             | 5960              | 2910                |
| jeklo                          | 7,85                            | 5850              | 3230                |
| siva litina                    | 7,6                             | 4410              | 2070                |
| baker                          | 8,9                             | 4800              | 2250                |
| med                            | 8,1                             | 4400              | 2120                |
| svinec                         | 11,4                            | 2160              | 700                 |
| kremen                         | 2,65                            | 5680              | 3493                |
| steklo                         | 2,5...5                         | 6100...3600       | 3730...2120         |
| porcelan                       | 2,4                             | 5340              | 3120                |
| poliakrilno steklo (plexiglas) | 1,18                            | 2540              | —                   |
| trolitul                       | 1,05                            | 2330              | 1016                |

Kolikor višja je frekvenca valovanja zvoka, toliko ožji je snop valov, ki ga oddaja ultra zvočni oddajnik. Podobno kakor svetlobne žarke je mogoče združevati oziroma razprševati tudi zvočne valove. Pri preskušanju z ultra zvokom je zelo pomembno, kako se obnaša zvok na meji dveh snovi npr. na meji jekla in zraka ali plina (osnovni material je poljuben strojni element iz jekla, zrak ali plin pa napaka kakor je npr. razpoka ali lunke v njem).

Odboj ali refleksija ultra zvočnih valov nastaja vselej na meji dveh snovi in je v primeru trdno telo—plin skoraj stoodstoten. Pri tem debelina preskušanca ni važna. Važen pa je vpadni kot ultra zvočnih valov na snov, ki jo preskušamo.

Pri navpičnem vpadu ultra zvoka na preskušanelec (vpadni kot znaša 90°), pri čemer prehajajo ultra zvočni valovi iz tekočine v trdno snov (npr. iz olja ali vode v jeklo) oziroma iz snovi z manjšo gostoto v snov z večjo gostoto (npr. poliakrilno steklo v jeklo), se odbije en del ultra zvočnih valov, drugi del pa vstopi naprej v snov z večjo gostoto (sl. 2a). Kolikšen del ultra zvočnih valov prehaja naprej v snov z večjo gostoto, je odvisno od razmerja zvočne odpornosti obeh snovi. Če je zvočno razmerje dveh snovi veliko, je prehod slab, če pa je razmerje majhno, je dober; večji del valov prehaja torej v snov z večjo gostoto. Pri prehodu ultra zvoka iz jekla v zrak je npr. razmerje zvočne odpornosti 10<sup>5</sup>:1, pri prehodu zvoka iz jekla v vodo





Sl. 2. Prehod zvočnega valovanja iz poliakrilnega stekla v jeklo pri različnih vpadnih kotih  
 — longitudinalno valovanje  
 --- transverzalno valovanje

pa 30:1, torej občutno ugodnejše. Posledica tega je, da se odbija pri prehodu ultra zvoka iz jekla v vodo ali narobe pri prehodu iz vode v jeklo 88 % zvočnih valov (torej jih prehaja v jeklo oz. vodo 12 %), pri prehodu ultra zvoka iz jekla v zrak ali obratno iz zraka v jeklo pa se odbija 99,996 % zvoka in prehaja naprej v zrak oziroma v jeklo le 0,004 % zvoka — torej se odbije skoraj celotno zvočno valovanje.

Če pa ultra zvočni val ne zadene preskušanca pod kotom 90°, se longitudinalno valovanje, če ni vpadni kot nasproti navpičnici prevelik, delno odbije, delno pa prehaja v drugo snov. V odvisnosti od vpadnega kota nastajata v drugi trdni snovi obe komponenti zvočnega valovanja longitudinalno in transverzalno (sl. 2 b). Pri preskušanju jekla uporabljamo za oddajno prehodni material poliakrilno steklo (plexiglas). Pri prehodu ultra zvočnega valovanja iz tega stekla v jeklo pod kotom 30° dobimo v jeklu samo transverzalno komponento valovanja (sl. 2 c). Transverzalni val lahko prehaja v jeklo tudi pri večjih vpadnih kotih (npr. kotih večjih kakor 60°) v smeri površine preskušanca (sl. 2 d). Tako lahko s pravilnim vpadnim kotom volimo ali samo longitudinalno ali samo transverzalno valovanje. Uporabi obojega valovanja se po navadi izogibamo.

### 3. Pridobivanje ultra zvoka

Ultra zvok lahko pridobivamo na več načinov. Poznamo mehanske, električne in magnetne načine pridobivanja ultra zvoka; ultra zvok, ki ga pridobivamo za preskušanje materiala, pridobivamo skoraj dosledno s piezoelektričnim učinkom kremenovega kristala. Postopek sloni na tem, da lahko pri nekaterih kristalih, kakor je npr. kristalu iz kremenca, s tlačnimi in nateznimi obremenitvami v določenih smereh k osi kristala povzročamo električni naboj. Preskus lahko izvajamo tudi obratno; če prepustimo kremenov kristal vplivu izmenične električne napetosti, se bo raztezal in

krčil s frekvenco električne napetosti — nastane mehanično nihanje — ultra zvok.

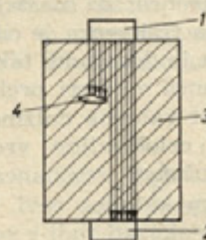
V praksi uporabljamo iz kremenovega kristala izrezano ploščico, ki ima ravne in vzporedne ploskve in je kristalografsko določeno usmerjena. Na dveh nasproti si ležečih ploskvah (vedno največji ploskvi ploščice) nanese srebrovo folijo, ki omogoča čimboljši električni kontakt, nanjo pa namestimo elektrodi. Elektrodi napajamo z izmeničnim tokom visoke frekvence. Pod vplivom električnega toka se začne ploščica razširjati in krčiti — nastane mehansko valovanje. Tako nastalo mehansko valovanje lahko prenašamo tudi na druga telesa. Prav tako pa lahko tudi iz katerega poljubnega telesa izstopajoča mehanska valovanja prehajajo na ploščico iz kremenca, ki jih spreminja v električno izmenično napetost, ki jo lahko merimo. Iz tega izhaja, da lahko uporabljamo kremenov kristal tako za oddajnik kakor tudi za sprejemnik ultra zvočnih valov.

### 4. Postopki preskušanja z ultra zvokom

Z ultra zvokom lahko preskušamo določen predmet — preskušanelec na več načinov, ki so odvisni od tega, kako vstopa oziroma izstopa iz njega ultra zvok. Po tem razlikujemo v glavnem štiri različne postopke za preskušanja.

a) **Prehodni postopek** je tak, pri katerem imamo oddajnik na eni, sprejemnik pa na drugi strani preskušanca. Ultra zvok prehaja tako z ene strani skozi preskušanelec na drugo stran, kjer ga prestrežemo s sprejemnikom (sl. 3). Če je v preskušancu napaka, npr. razpoka, lunker, dvoplastnost ipd., se odbije del ali cel snop ultra zvoka na napaki. V takem primeru kaže sprejemnik samo del ultra zvočnih valov oziroma ne kaže ničesar, če se je odbil celoten snop ultra zvoka. Na zaslonu vidimo tako prekinjeno sliko.

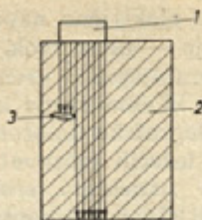
Po opisani poti lahko otipavamo neki predmet in ugotavljamo napake v njem. Pri tem je treba vedno premikati hkrati oddajnik in sprejemnik. Tako lahko zelo uspešno ugotavljamo napake kakor so npr. razpoke, dvoplastnost v valjanih izdelkih, vključke žilindre, plinske mehurje, lunke ipd. Pri večjih napakah lahko ugotavljamo tudi velikost napake. Ta postopek je zelo praktičen za



Sl. 3. Shematična skica preskušanja z ultra zvokom, pri katerem je oddajnik na eni, sprejemnik pa na drugi strani preskušanca

1 — oddajnik, 2 — sprejemnik, 3 — preskušanelec, 4 — napaka v preskušancu — lunker





Sl. 4. Shematična skica preskušanja z ultra zvokom, pri katerem je oddajnik tudi sprejemnik

1 — oddajnik in sprejemnik, 2 — preskušaneč, 3 — napaka v preskušaneču — lunker

avtomatično kontrolo debeline pločevine med valjanjem itd.

b) **Impulzno odbojni postopek**, ki ga imenujemo včasih tudi impulzno odmevni ali refleksi postopek, ima združen oddajnik in sprejemnik. Kakor pove že ime samo, se ultra zvok odbije na napaki ali na nasprotni strani preskušanca. Te odbite zvočne valove pa sprejme sprejemnik, ki je bil malo prej še oddajnik in jih pokaže na zaslonu (sl. 4).

Da omogočimo delovanje oddajnika, ki je obenem tudi sprejemnik, oddaja oddajnik ultra zvočne valove samo v kratkih časovnih sunkih — impulzih. Takšen ultra zvočni impulz traja samo okrog  $2 \mu s$  ( $1 \mu s = 10^{-6} s$ ) in ga ponavlja oddajnik okrog 50-krat v sekundi. Medtem ko potuje ultra zvočni val skozi preskušaneč, je impulz že končan — oddajnik se spremeni v sprejemnik. V sprejemniku sprejete ultra zvočne valove spreminja kremenov kristal v izmenično električno napetost, ki jo prenaša preko posebnega ojačevalnika na zaslon.

Pravkar opisani impulzno-odbojni postopek uporabljamo najpogosteje pri preskušanju brez okvare materiala ali pri defektoskopiji. Uporabljamo ga lahko pri vseh načinih iskanja napak. Naprave za preskušanje po impulzno-odbojnem postopku so dandanes že tako občutljive, da je mogoče določati z njimi tudi lego mikrolunkejev, in še več, doseči celo območja bolj grobe strukture. Za praktično izvedbo tega postopka uporabljamo posebne ultra zvočne glave, ki si jih bomo ogledali v naslednjem poglavju.

c) **Resonančni postopek** sloni — to pove že ime — na resonanci. V preskušaneč pošiljamo ultra zvok takšne frekvence, da nastaja v njem resonanca. Resonančna frekvenca je odvisna od velikosti preskušanca in jo dosegamo takrat, kadar znaša debelina preskušanca v smeri prehoda ultra zvoka polovično vrednost valovne dolžine zvoka oziroma njene večkratno celoštevilne vrednosti. Brž ko nastane v preskušaneču resonanca, se pojavi izboklina na zaslonu katodne cevi. Resonančno stanje pa je mogoče nakazati tudi z zvočnim signalom. Iz hitrosti zvoka po materialu, ki ga preskušamo, frekvence zvoka in resonančne slike je mogoče izračunati npr. debelino preskušanca. Omenjeni postopek uporabljamo za preskušanje — kontroliranje debeline posebno tam, kjer je mogoč dostop

do preskušanca samo z ene strani. Lahko pa uporabljamo resonančni postopek preiskovanja tudi pri iskanju napak kakor so razpoke, lunkeji ipd.

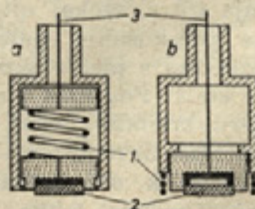
d) **Postopek s ploščatimi ultra zvočnimi valovi** je posebno primeren za preskušanje tanke pločevine. V ploščatih preskušancih tj. predmetih s konstantno debelino, lahko nastajajo tako imenovani ploščati ultra zvočni valovi. Pri tem gre za ultra zvočno valovanje, ki nastaja prek cele ploskve preskušanca. Te vrste valovi nastajajo v razmeroma tankih pločevinah in so sestavljeni iz longitudinalnega in transverzalnega valovanja. Iz navadne ultra zvočne glave, ki pošilja ultra zvočne valove (longitudinalno valovanje) v preskušaneč pod določenim kotom, nastaja opisano valovanje.

Ta postopek preskušanja uporabljamo pri preskušanju večjih dolžin pločevin. V pločevinah, v katerih ni nobene napake, nastaja le nezatno dušenje tega ploščatega ali ravninskega valovanja; že nezatna napaka pa povzroča močan vpliv na razširjanje valovanja, ki ga lahko prikažemo za ogled.

Za vse postopke uporabljamo posebne oddajnike oziroma sprejemnike, ki sprejemajo iz visokofrekvenčnega generatorja električno napetost visokih frekvenc in jih imenujemo ultra zvočne glave ali tipala. V ultra zvočni glavi je nameščena ploščica iz kremenovega kristala. Te ultra zvočne ali tipalne glave so dandanes že tako izpopolnjene, da jih uporabljamo lahko kot oddajnike in kot sprejemnike ultra zvoka.

## 5. Oblike ultra zvočnih glav

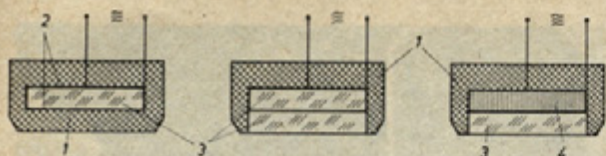
Ultra zvočne glave so povzročitelji zvoka, ki ga uporabljamo pri preskušanju, obenem pa rabijo tudi za oddajnike oziroma sprejemnike ultra zvoka. Shematični prerez skozi ultra zvočni glavi posreduje slika 5. Ploščica iz kremenovega kristala je obložena s posebno kovinsko elektrodo (srebrova plast) samo na zgornji strani in vložena v okrovje glave, medtem ko je spodnja stran v dotiku s preskušanečem. Električni priključek je speljan do kremenove ploščice v notranjosti glave. Kako so lahko vložene oziroma pritrjene ploščice iz kremenovega kristala v okrovje ultra zvočne glave, prikazuje slika 6. Posebno pri ultra zvočnih glavah, ki jih uporabljamo za preskušanje hrapavih površin, kjer grozi nevarnost obrabe, ploščice iz kremenovega kristala zaščitimo. S slike 6 je razvidno, da je taka zaščita lahko kaj različna. Ultra zvočna glava na sliki 6a je zaščitena s trdo umetno maso, ki obdaja ploščico iz kremenovega kristala;



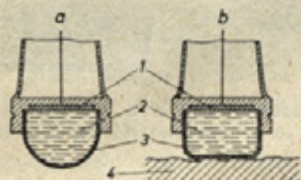
Sl. 5. Shematični prerez skozi ultra zvočni glavi

1 — vzmet, 2 — ploščica iz kremenovega kristala, 3 — priključek visokofrekvenčnega električnega toka





Sl. 6. Različne namestitve oziroma varovanja kremenove ploščice



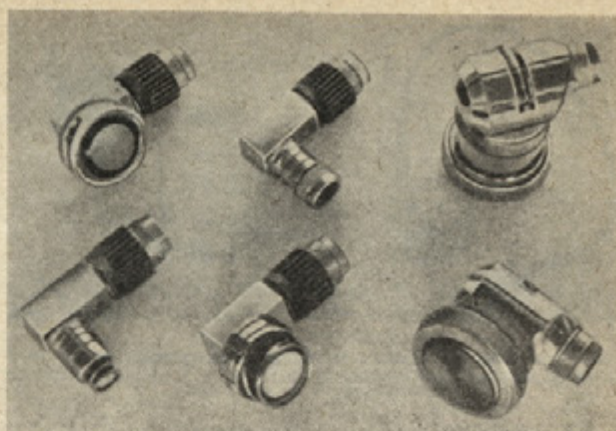
Sl. 7. Ultra zvočna glava z gumijasto membrano

pri sliki 6b pa je vzbujalna ploščica zaščitena z drugo nevzbujalno ploščico, ki je prav tako iz kremenovega kristala. Slika 6c pa kaže ultra zvočno glavo, pri kateri je vzbujalna ploščica iz barijevega titanata, ki ga prav tako lahko uporabljamo za povzročanje ultra zvoka. Tudi ta ploščica je zaščitena s ploščico iz kremenca. Pri tem pa je treba vedno paziti, da je zagotovljeno brezhibno prileganje.

Pri preskušanjih, ki imajo zelo grobo — neravno površino, nastajajo težave zaradi slabega prileganja ultra zvočne glave ob preskušanelec. Tako se lahko dogaja, da nastaja med glavo in preskušancem zračna plast, ki onemogoča prehod ultra zvoka iz ultra zvočne glave v preskušanelec. Posledica tega je nenatančna meritev, iskanje napak pa seveda nezanesljivo. Da se izognemo takim težavam, uporabljamo lahko posebne ultra zvočne glave, ki imajo pred kremenovo ploščico kaloti podobni gumijasto membrano, v kateri je tekočina (sl. 7). Membrana se lahko prilagaja površini preskušanca in ustvarja s tem zadosten kontakt z njim (sl. 7b).

Slika 8 prikazuje fotografski posnetek normalnih ultra zvočnih glav, ki oddajajo ultra zvok navpično k preskušancu. Glave so različnih velikosti in za različne frekvence. Te vrste glav uporabljamo za preskušanje kovanih predmetov, ulitkov, pločevine in okroglih profilov. Njihova vsakokratna velikost in frekvenca sta prirejeni obliki in velikosti preskušanca.

Normalne ultra zvočne glave so lahko zaščitene ali nezaščitene, tj. imajo lahko posebno za-



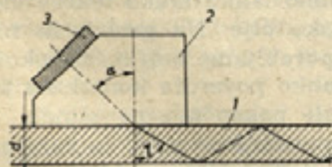
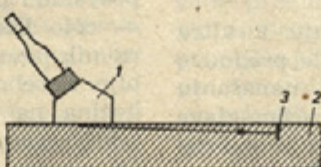
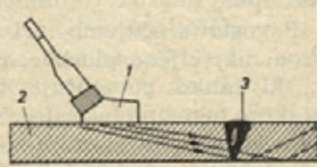
Sl. 8. Normalne ultra zvočne glave

ščitno plast pred kremenovo ploščico, ki jo ščiti pred obrabo, kar prihaja v poštev zlasti pri hrupavih preskušanjih.

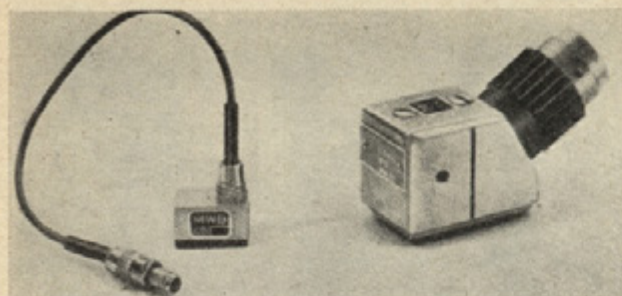
Pri preskušanju zvarnih spojev in ploščatih predmetov uporabljamo kotne ultra zvočne glave. Kotne ultra zvočne glave omogočajo, da vstopa ultra zvok v preskušanelec pod določenim kotom (sl. 9). Z izbiro določenega kota lahko praktično dosegamo vsako smer v preskušancu. Dandanes so naprave že tako izpopolnjene, da lahko pošiljamo ultra zvok v smeri, ki je vzporedna z njegovo površino. Tako lahko odkrivamo razpoke ali druge napake tudi v površini preskušanca (sl. 10). Zelo pogosto pa uporabljamo take načine tudi pri preskušanju zvarnih spojev in varjenih konstrukcij (sl. 11).

Na fotografiji sl. 12 sta vidni dve različni kotni glavi, ki oddajata ultra zvok pod določenim kotom v preskušanelec. Normalno uporabljamo pri tem kote 35°, 45°, 60°, 70° ali 80°. Kotne glave, ki oddajajo ultra zvok pod koti od 35° do 60°, uporabljamo za iskanje napak kakor so najrazličnejše razpoke v oseh, kolenastih gredeh ipd. kakor tudi za preskušanje zvarov nad 35 mm. S 70° preskušamo zware od 15 do 40 mm, z 80° pa tanke zware pod 20 mm. Te vrste glav so lahko izvedene tako, da rabijo samo za določen kot, lahko pa so tudi univerzalne ultra zvočne glave, ki jim lahko spremenjamo kontinuirno vstopne kote.

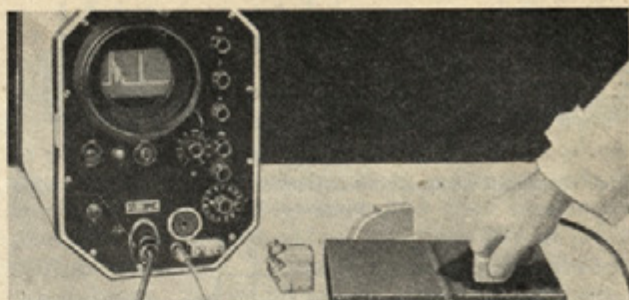
Da bi bila preskušanja in ugotavljanja napak zanesljivejša, je treba paziti, da je med kremenovim kristalom in preskušancem vzpostavljen čimboljši kontakt. To dosegamo s tem, da damo

Sl. 9. Shematični prerez skozi kotno ultra zvočno glavo  
1 — preskušanelec, 2 — nastavek v obliki zagozde iz poliakrilskega stekla, 3 — kremenov kristalSl. 10. Preskušanje s kotno ultra zvočno glavo  
1 — kotna ultra zvočna glava, 2 — preskušanelec, 3 — razpoka na površini preskušancaSl. 11. Preskušanje zvara s kotno ultra zvočno glavo  
1 — kotna ultra zvočna glava, 2 — preskušanelec, 3 — napaka v zvaru





Sl. 12. Kotna ultra zvočna glava



Sl. 13. Preskušanje zvara z uporabo kotne ultra zvočne glave

med ploščico iz kremenovega kristala in preskušane tekočino. To tekočino imenujemo kontaktno tekočino. Za kontaktno tekočino lahko uporabljamo vodo ali olje. Le-to uporabljamo pri vseh vrstah ultra zvočnih glav. Šele ko je zagotovljen dober in brezhiben kontakt — prileganje med ultra zvočno glavo in preskušancem — lahko pričakujemo tudi dobre rezultate pri preskušanju.

S slike 13 je lepo razvidna uporaba kontaktne tekočine. Za čimboljše in lažje prileganje skrbi tudi posebna vzmet, ki je nameščena na okrovju ultra zvočne glave (glej slike 5 a in 5 b).

## 6. Uporaba ultra zvoka pri preskušanju kovinskih predmetov

### 6.1 Splošno

Pri preskušanju z ultra zvokom imata veliko vlogo — kakor smo delno že slišali — oblika in kvaliteta površine preskušanca. Večkrat je to lahko krivo nenatančnih preskusov, ker površina omejuje zanesljivost preskušanja. V skrajnih primerih to lahko vodi tako daleč, da je treba preskušane predhodno obdelati. Zaradi tega je pri vsakem preskušanju želena kolikor mogoče gladka površina preskušanca. Za enakomernost preskušanja je seveda pomembno tudi, da je površina preskušanca enake kvalitete. Pri tem je treba še posebej paziti, da ni na preskušancu kakih vrhnjih plasti kakor so npr. ogorina pri kovanih ali valjanih polizdelkih, kraste pri ulitkih ali od korozije načete plasti, nesnaga ipd. Vse te površinske napake lahko preprečujejo stik kremenove ploščice s preskušancem tudi pri uporabi kontaktne tekočine in jih je treba, če hočemo doseči nemoteno preskušanje, odstraniti. Za tako odstranjevanje lahko jemljemo ročne in električne brusilne stroje, jeklene ščetke ipd.

Pogosto srečujemo pri preskušanju z ultra zvokom ukrivljene ploskve, npr. okrogle predmete ipd., ki lahko povzročajo težave pri nanašanju kontaktne tekočine in prileganju ultra zvočne glave na preskušane. Konveksne oblike so za kontaktno preskušanje ugodnejše kakor konkavne (votle). Pri preskušancih teh vrst ni mogoče uporabljati normalne ultra zvočne glave z ravno ploskvijo, saj je pri njej prileganje premajhno. Zmanjšana kontaktna ploskev (ploskev prileganja) povzroča slabšo

občutljivost preskušanja. V takih primerih uporabljamo posebne ultra zvočne glave, ki imajo tudi ploskev prileganja ukrivljeno in prilagojeno preskušancu. V ta namen jemljemo pogostoma take ultra zvočne glave, pri katerih s posebnimi nastavki lahko izmenjujemo ploskve prileganja ali pa take, da je nastavek narejen iz mehkejša umetne snovi, ki jo lahko s pilo ali brusno ploščo prilagajamo zunanjim oblikam preskušancev. Pri tem ni neogibno potrebno, da je ploskev prileganja absolutno gladka.

Pri okroglih preskušancih z majhnimi premeri, tj. zelo ukrivljenih ploskvah ni vedno zaželeno, da je ultra zvočna glava popolnoma prilagojena obliki preskušanca. Pretežno pri kotnih ultra zvočnih glavah nastajajo zaradi takega prileganja in povečane vstopne odprtine tako imenovani površinski valovi, ki lahko motijo natančnejše odbiranje. Da take motnje odpravimo, pri močno ukrivljenih ploskvah rajši uporabljamo ultra zvočne glave, ki se ne prilegajo natanko na preskušane, čeprav dosežemo po tej poti manjše kontaktne ploskve.

Na konkavnih ploskvah ne smemo uporabljati ultra zvočnih glav z ravno ploskvijo prileganja. Pri uporabi ultra zvočne glave z ravno ploskvijo se le-ta prilega samo na obeh zunanjih robovih; med njima pa nastaja prazen prostor. Tudi pri uporabi kontaktne tekočine ni mogoče odpraviti napak, ki nastajajo pri takem preskušanju. Zaradi tega jemljemo vselej, kadar preskušamo konkavne ploskve, ultra zvočne glave, ki imajo posebne nastave iz umetne snovi, katerih ploskev prileganja je prilagojena preskušancu.

Omenili smo že, da uporabljamo za kontaktno tekočino olje in vodo. Največkrat uporabljamo pač olje s srednjo viskoznostjo (SAE 30). Pri gladkih površinah pa je uporabno lahko tanko tekoče olje — celo Dieslovo plinsko olje. Na grobih in neravnih površinah pa uporabljamo bolj tekoče olje. Posebno težavo lahko povzroča kontaktna tekočina na poševnih ali pokončnih površinah. V takih primerih lahko uporabljamo masti in vazeline ali posebne, za to pripravljene in v vodi topljene paste; niso pa primerne kapljevine.

Pri preskušanju naj bo vedno možno umivanje rok in ultra zvočnih glav. Zaradi tega uporabljamo za kontaktno tekočino včasih celo sladkorno

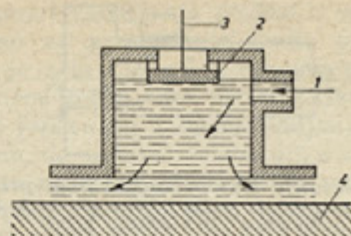


raztopino, ki se da z vodo laže odstranjevati kakor pa različna olja ali masti. Navadno vodo uporabljamo redkeje. Voda namreč znatno teže omaka preskušance kakor pa olja ali npr. sladkorna raztopina. Zaradi tega dodajamo vodi posebne kemikalije, ki ji povečajo sposobnost omakanja. Konstanten kontakt med kremenovo ploščico in preskušancem je pri preskušanju z ultra zvokom zelo velikega pomena. Od njega so v veliki meri odvisni pravilni rezultati preskušanja. Posebno pri kontinuirnem preskušanju je treba paziti, da je takšen kontakt stalen. Zato sta znana dva načina dovajanja kontaktne tekočine, in sicer od spodaj in od zgoraj. Za kontinuirno preskušanje je dovajanje kontaktne tekočine od spodaj ugodnejše. Pri dovajanju kontaktne tekočine od spodaj je namreč celoten dovod vedno poln vode in je pri naletu preskušanca kontakt med njim in ultra zvočno glavo vzpostavljen zanesljiveje. Slika 14 v shematični obliki ponazarja primer kontinuirnega preskušanja, pri katerem uporabljamo za kontakt med ultra zvočno glavo in preskušancem vodo.

V prejšnjem poglavju smo govorili o vrstah in oblikah ultra zvočnih glav, ki jih dajejo na izbiro najrazličnejše tvrdke. Na področju preskušanja navadno uporabljamo ultra zvok s frekvenco med 2 in 5 MHz. Ta frekvenca se je pokazala pri drobnozrnatih materialih kot najboljši kompromis med zahtevano natančnostjo ugotavljanja napak in debelino preskušanja. Z ustrezajočimi valovnimi dolžinami od 3 do 1 mm lahko odkrivamo npr. v jeklu napake v velikosti od 0,5 mm navzgor. Normalna ultra zvočna glava ima navadno premer od 20 do 25 mm. Ultra zvočne glave takih velikosti uporabljamo pri vsakdanjem preskušanju največkrat. Seveda je tudi taka normalna in splošno uporabljena ultra zvočna glava opremljena z varovalno plastjo, ki jo ščiti proti obrabi.

Z navadno ultra zvočno glavo lahko dosega izurjen preskušalec dobre uspehe. Jasno pa je, da še tako izkušen in spreten preskušalec ne more določati napak z normalno glavo v predmetih, ki so iz snovi, kakršne močno dušijo ultra zvok, npr. siva litina, umetne mase, les ipd. V takih primerih uporabljamo nižje frekvence od 1 do 0,5 MHz. Frekvence nad 10 MHz uporabljamo le zelo redko. Pri izbiranju ultra zvočnih glav gledamo tudi na debelino preskušanca oziroma prehajanja ultra zvoka. Za preskušanje večjih debelin uporabljamo glave z večjimi premeri, pri preskušanju manjših debelin, npr. do približno 50 mm pa ultra zvočne glave manjših premerov, npr. 10 mm.

Pri pretvorbi enega valovanja v drugo, npr. longitudinalnega v transverzalno pri vpadnih kotih, ki so manjši od 90°, se lahko sicer preprosto preskušanje zaobrne v precej zapleteno. Tudi slike na zaslonu v takih primerih niso več tako preproste in lahko razumljive. Poznamo vrsto stranskih vplivov, ki lahko kvarno vplivajo na jasnost slike



Sl. 14. Shematični prerez ultra zvočne glave s konstantnim dovajanjem vode kot kontaktne tekočine pri kontinuirnem preskušanju

1 — dotok kontaktne tekočine — vode, 2 — ploščica kremenovega kristala, 3 — priključek visokofrekvenčnega električnega toka, 4 — preskušalec

oziroma na zanesljivost odbiranja. Že preprost stranski odboj lahko zmede sliko na zaslonu. V takih primerih so za preskušanje potrebne določena izkušnost preskuševalca, popolnost naprave same in pravilna izbira frekvence, velikosti glav itd.

## 6.2 Iskanje napak v kovinskih predmetih

Kadar govorimo o preskušanju z ultra zvokom, lahko delimo vrste preskušanja na dva različna načina: na razvrstitev po obliki preskušanca in posebej na vrsto materiala, iz katerega je preskušalec. V naslednjem si bomo ogledali preskušanje glede na obliko preskušanca.

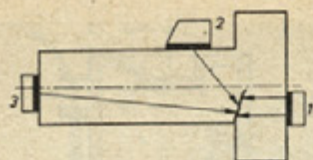
### 6.2.1. Preskušanje težkih kovanih predmetov

Zaradi velikih obdelovalnih stroškov pri večjih kovanih predmetih kakor so npr. tekači pri generatorjih in turbinah, preskušamo že kar surovce. Preskušanje potem večkrat ponavljamo med posameznimi fazami kovanja.

Pri ingotu je preskušanje navadno zelo sporno. Posebno pri ingotih velikih izmer je že debelina sama nad npr. 1 m zelo težko dosegljiva. Preskušanje z nizkimi frekvencami, npr. 0,25 MHz je zaradi neostrih snopov ultra zvoka pogosto neuporabno, ker ni mogoče z gotovostjo ugotavljati manjših lunkejev v ingotu. Za ugotavljanje takih napak je normalno potrebna višja frekvenca — vsaj 0,5 MHz. Razen tega duši prehajanje ultra zvočnih valov tudi groba struktura v ingotu. Močno legirano jeklo je po navadi tudi v manjših ingotih propustno za ultra zvok. Razen tega lunkeji, ki nimajo zveze z zrakom (kisikom), niso oksidirani in se zaradi tega popolnoma zavarijo pri plastičnem preoblikovanju. Manjše kovane predmete preskušamo, kakor smo že omenili, med posameznimi fazami obdelave, torej med kovanjem ali žarjenjem, če se predmeti vmes ohladijo. Za taka preskušanja potrebujemo frekvenco od 0,5 do 1 MHz. Šele po poboljšanju, ko postane struktura bolj finoizirana, pa uporabljamo frekvence od 2 do 5 MHz. Pri vsakokratnem preskušanju pazimo na to, da s preskušanca odstranimo ogorino. To lahko včasih opravimo že s kladivom, jekleno ščetko ali pa z brusilnim strojem.

Kako oziroma v kakšni smeri preskušamo različne kovane predmete, je odvisno od predmeta in njegove strukture. Pri kovanih kakor tudi va-





Sl. 15. Preskušanje trajnostnega zloma pri sorniku  
1 — neugodno nameščena ultra zvočna glava, 2, 3 — ugodno nameščena ultra zvočna glava

ljanih predmetih dobimo vlaknato strukturo. Tudi napake, kakršne so razpoke in razni vključki, so v preskušancih izoblikovane v smeri vlaken. Zaradi tega gledamo, da preskušamo vedno v prečni smeri vlaken. Pri kovani gredi ali turbinskem tekaču je npr. preskušanje pomembno samo v prečni smeri, vzdolžno pa nima velikega pomena. Na kratko se da reči, da lahko z ultra zvokom v kovanih predmetih ugotavljamo naslednje napake:

- razpoke, ki nastajajo zaradi vpliva vodika. Te vrste napake so po navadi na mejah z izcejami. Sem spadajo tudi razpoke, ki nastajajo zaradi izcej ali vključkov žlindre.

- Nekovinske vključke, ki nastajajo pri dezoksidaciji. To so predvsem silicijevi, aluminijevi ali kalcijevi oksidi.

- Razpoke, ki nastajajo na površini predmeta zaradi kovanja pri neprimerni temperaturi (površina se hitreje ohlaja).

- Različne tujke, ki so lahko ostali v talini pri litju v ingote, npr. delci šamotne opeke, delci palic za mešanje ipd.

#### 6.2.2. Preskušanje obdelanih strojnih elementov

Nasploh je zelo težko podati za preiskavo obdelanih strojnih delov določena navodila, saj je to področje izredno pestro tako po obliki kakor tudi po velikosti predmetov.

Vijaki, sorniki in kovice sestavljajo eno skupino obdelanih strojnih elementov. Pri njih rade nastajajo razpoke v notranjosti, ki ležijo prečno na os. Te vrste napake lahko odkrivamo iz obeh čelnih strani z normalno ultra zvočno glavo. Pri tem navadno uporabljamo frekvence od 2 do 5 MHz. Velikost ultra zvočne glave izbiramo po velikosti vijaka, kovice ali sornika; vsekakor naj ne bo večja kakor je premer elementa. Zaradi tega preskušamo največkrat iz smeri, v kateri je glava vijaka ali kovice, če ni seveda na glavi kakšne zareze. Pri množinskem preskušanju pritrujemo ultra zvočno glavo na mizo tako, da ima navzgor obrnjeno ploščico iz kremenca in pritiskamo nanjo preskušanelec, ki ga predhodno omočimo s kontaktno tekočino.

Trajnostni zlomi pri vijakih nastajajo pri prehodu v glavo vijaka ali pa na delu, ki ima navoje. Zaradi tega preskušamo vijake pretežno na teh ogroženih delih. Podobno lahko nastaja trajnostni zlom tudi pri sornikih in kovicah. Slika 15 prikazuje pravilno preskušanje sornika, kadar hočemo ugotoviti napako na prehodu pri glavi.

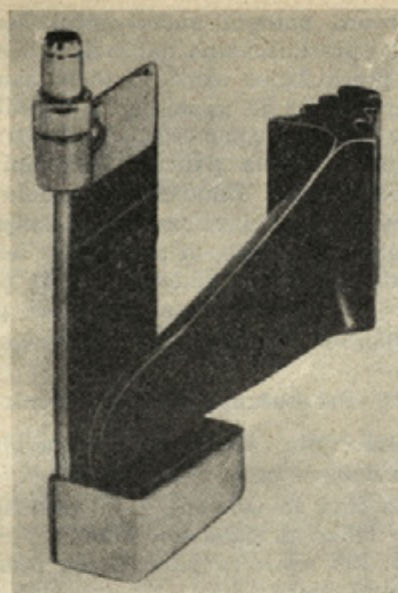
Pri kaljenih strojnih delih pogosto nastajajo razpoke zaradi notranjih napetosti. Take napake se pojavljajo seveda šele, ko je predmet že dokončno izdelan, npr. na orodjih za prešanje, v utopih ipd. Take razpoke se ne kažejo vedno na površini predmeta, temveč jih je treba z ultra zvočno glavo preskušati — otipati. Na večjih predmetih z bolj zapletenimi oblikami, kakor so npr. ploščate in spiralne vzmeti, je preskušanje odvisno od oblike in velikosti vzmeti. Tu je treba izbirati med opisanimi načini preskušanja.

Turbinske lopatice so elementi, ki jih zelo pogosto preskušamo z ultra zvokom. Tudi pri teh vrstah elementov poznamo različne vrste lopatic, katerih oblike so odvisne od vrste turbin, npr. vodne, parne ali plinske turbine in so lahko narejene iz različnih materialov.

Lopatice parnih turbin so večidel narejene iz magnetnih materialov in jih zaradi tega lahko preskušamo z magnetnim prahom — magnetofluksom. Kadar pa jih preskušamo z ultra zvokom, jih je treba poprej dobro očistiti, ker bi sicer korozija, ki je posebno močna na sprednjih ploskvah, ovirala preskušanje. Tudi vse ostale nečistoče, ki se nabirajo na lopaticah, je treba odstranjevati. Šele tako je mogoče učinkovito in zanesljivo preskušati lopatice — kar velja posebno za lopatice parnih turbin. Pri preskušanju z ultra zvokom pa so lahko lopatice tudi montirane.

Dele za plinske turbine, kakor so lopatice in venci, preskušamo zaradi velikih obremenitev še posebej skrbno. Že izhodiščni material preskušamo, saj je razumljivo, da je lahko življenje desetih ljudi odvisno od tega, če se polomi lopatica plinske turbine modernega potniškega letala. Napake lahko izvirajo — kakor smo slišali — iz izhodiščnega materiala, lahko pa nastajajo tudi pri izdelavi sami. Lopatice plinskih turbin lahko izdelujemo različno; lahko jih kujemo v utopih, frezamo iz celih delov ali celo lijemo po načinu tlačnega litja. V obeh prvih primerih preskusimo zelo skrbno že izhodiščni material; palice, iz katerih izdelujemo lopatice, imajo lahko že vzdolžne zavaljane ali pri kovanju nastale napake. Pri izhodiščnem materialu kakor je Ni-Cr-Al-Ti zlitina, lahko nastajajo tudi prečne razpoke. Vsak košček materiala, ki je pripravljen za posamezno lopatico, je treba posebej preskusiti; prav tako posebej preskušamo nato tudi že izgotovljene lopatice. Ker so lopatice relativno majhne, jih preskušamo z majhnimi ultra zvočnimi glavami in višjimi frekvencami. Tako je tudi zagotovljena največja možna zanesljivost pri ugotavljanju napak. Preskušamo lahko s konveksne strani lopatice s površinskim valovanjem frekvence od 2 do 5 MHz. Za serijsko preskušanje si največkrat prirejamo posebne pripomočke, ki držijo lopatice v pravilni legi, v kakršni je mogoče hitrejše in preprostejše preskušanje. V modernih laboratorijih pa uporabljajo tudi že posebne vrste preskuševalnih glav, ki so prirejene za obliko turbinske lopatice (sl. 16).





Sl. 16. Preskušanje turbinske lopatice s posebno ultra zvočno glavo (tvrdka Krautkrämer, Köln)

### 6.2.3. Preskušanje pločevine

Pri pločevini uporabljamo ultra zvok za iskanje napak, kakor so dvoplastnost, izceje, lunke, ali razpoke, ki so nastale pri valjanju, in podobne. Pri preskušanju pločevin lahko uporabljamo različne postopke preskušanja, ki slonijo na odboju ali prehodu ultra zvoka skozi pločevino. Zlasti pri tankih pločevinah pa marsikdaj uporabljamo tako imenovano preskušanje s ploščatimi ultra zvočnimi valovi. Uporaba odbojnega postopka z normalnimi ultra zvočnimi glavami je zaradi tako imenovane mrtve cone omejena. Ta omejitev znaša — odvisno od vrste naprave — do 4 do 5 mm debeline navzdol. Z uporabo znanih kotnih ultra zvočnih glav je mogoče preskušanje tudi tankih in najtanjših pločevin.

Če preskušamo z normalno ultra zvočno glavo pločevino z debelino pod 4 mm, tedaj je to mogoče samo z visokimi frekvencami (6 MHz). Pločevina pa mora imeti gladko površino. Pri pločevini z debelino od 6 do približno 20 mm uporabljamo frekvence 4 MHz. Pri pločevini z debelino 10 mm navzgor so za preskušanje v rabi ultra zvočne glave, ki imajo zaščiteno ploščico kremenovega kristala. Pri debelinah nad 20 mm uporabljamo frekvence 2 MHz.

Za preskušanje pločevin uporabljamo posebne ultra zvočne glave, ki jih lahko vodimo po pločevini. Slika 17 prikazuje preskušanje debele pločevine, pri čemer sta na posebnem nosilnem ogrodju pritrjeni ultra zvočna glava in posoda s kontaktno tekočino.

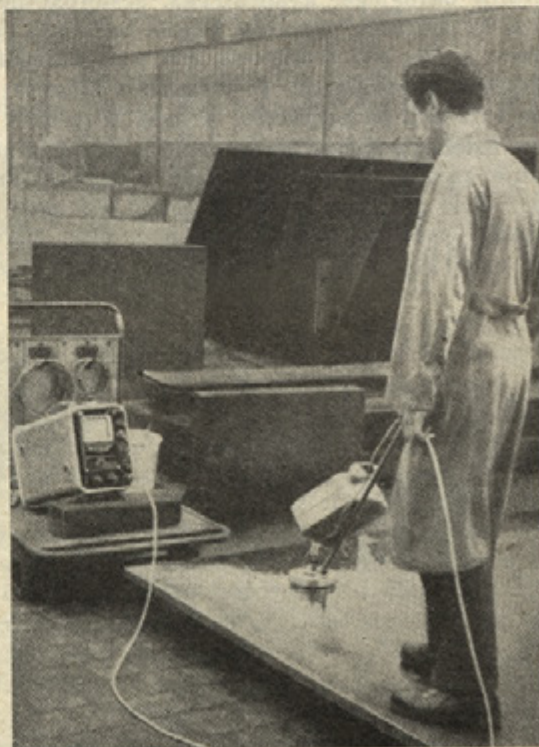
Za preskušanje tankih pločevin uporabljamo posebne postopke. Tu je v rabi več različnih načinov za merjenje odbitih ultra zvočnih valov. Med seboj se razlikujejo predvsem po načinu merjenja

in še po smeri razširjanja ploščatih valov, ki jih uporabljamo za preskušanje tanke pločevine. V praksi se je zelo obnesel postopek, pri katerem merimo intenzivnost ultra zvočnega valovanja, ki se razširja vzporedno s smerjo valjanja. Postopek sloni na tem, da se intenzivnost ultra zvoka močno zmanjša, ko zadenejo ultra zvočni valovi na napako. Ta padec intenzivnosti lahko merimo tehnično. Za ta postopek so primerne frekvence okrog 3 MHz.

### 6.2.4. Preskušanje žice, jeklenih palic, gredi, osi ipd.

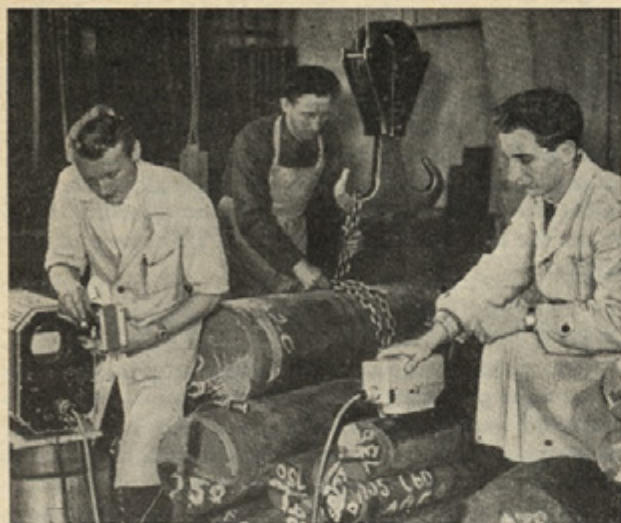
Pri polizdelkih, npr. žicah in okroglih profilih kakor tudi pri oseh in gredeh, razlikujemo v glavnem dve vrsti napak: notranje napake in napake na površini. Notranje napake izvirajo še iz ingota, zunanje pa so nastale pri poznejšem plastičnem preoblikovanju (vlečenju in valjanju oz. kovanju).

Notranje napake pri okroglih profilih iz jekla s premerom nad 30 mm preskušamo z odbojnim postopkom. Pri tem uporabljamo frekvence od 2 do 4 MHz. Preskušamo lahko v smeri osi predmetov, pri čemer je treba skrbno paziti na odboj ultra zvoka. Za preskušanje v smeri osi uporabljamo normalne ultra zvočne glave. Pri preskušanju z normalno ultra zvočno glavo v prečni smeri dobivamo zelo zapleteno odbojno sliko na zaslonu katodne cevi. Zaradi tega se k temu postopku raje ne zatekamo. Zelo ugodno lahko preskušamo s kotnimi glavami, pri katerih vstopa ultra zvok v predmet (profil) pod kotom  $35^\circ$  ali  $45^\circ$ . Izvedljivo je tudi



Sl. 17. Preskušanje pločevine s posebno ultra zvočno glavo (tvrdka Krautkrämer, Köln)





Sl. 18. Preskušanje različnih kovanih profilov s posebno ultra zvočno glavo  
(tvrdka VEB Carl Zeiss, Jena)

preskušanje s površinskimi ultra zvočnimi valovi, zlasti kadar hočemo odkrivati napake, ki so na površini.

Površinske napake lahko odkrivamo s poševnimi transverzalnimi ultra zvočnimi in površinskimi valovi. Postopek s površinskimi valovi uporabljamo samo pri zelo gladkih površinah.

Preskušanje najrazličnejših polizdelkov kakor so profili okroglega, kvadratnega, šestokotnega prereza in podobnih prerezov, žice in podobnih polizdelkov, se da avtomatizirati. Pri tem dosegamo kontinuirno preskušanje, ki je znatno hitrejše od ročnega in tudi zanesljivejše. Seveda je treba v ta namen izdelati posebne transportne naprave za pomikanje palice ali profila skozi oziroma mimo ultra zvočne glave, ki je vpeta fiksno. Pri profilih okroglega prereza povezujemo podajanje palice tudi z njeno rotacijo. Tako otipavamo palico z normalno ultra zvočno glavo v obliki spirale. Notranje napake lahko tako zadevajo ultra zvočni valovi pod različnimi koti in jih napravljajo vidne. S posebno kotno ultra zvočno glavo pa lahko hkrati preskušamo tudi površino palice. Pri okroglih profilih z večjim prerezom rotiranje preskušanca ne prihaja v poštev. Slika 18 prikazuje preskušanje okroglih jeklenih profilov. To velja tudi za vse neokrogle profile. Pri kvadratnih ali šestokotnih profilih preskušamo lahko z dvema vzporedno priključenima ultra zvočnima glavama (sl. 19). Tako lahko delata obe glavi skupaj, kakor posreduje slika 19, lahko pa vsaka posebej, če je napaka obrnjena tako, da se ultra zvok odbije nazaj na glavo, ki je oddala ultra zvok.

Avtomatičnih načinov preskušanja je še več. Zlasti pri preskušanju tankih profilov in tankih pločevin pogosto uporabljamo tudi postopke, pri katerih je preskušanelec pomočen v tekočino. To so

tako imenovani potopni načini preskušanja. Pri tem je lahko preskuševalna naprava urejena tako, da potuje preskušanelec skozi majhen, zaboju podoban rezervoar, ki je napolnjen s kontaktno tekočino in v katerem je nameščena tudi ultra zvočna glava ali pa leži cela palica v tekočini skupaj z ultra zvočno glavo. Dandanes že izdelujejo posebne ultra zvočne glave za preskušanje težjih profilov, kakor so brame, in profilov iz težko proputnih materialov, npr. umetnih mas in podobnih materialov. Za kontaktno tekočino pri potopnih postopkih najpogosteje uporabljamo vodo.

#### 6.2.5. Preskušanje cevi in jeklenk

Pri preskušanju cevi bomo obravnavali le cevi iz celega in varjene cevi.

Varjene cevi so izdelane iz pločevinskih travkov, ki jih lahko preskusimo, preden jih oblikujemo v cev. Pri takih varjenih ceveh preskušamo ponajveč samo zware.

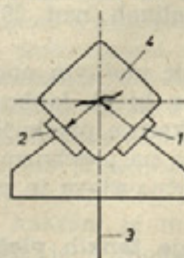
Cevi iz celega imajo lahko različne napake, ki so nastale pri izdelavi. To so podobne napake kakor pri profilih oziroma valjanih polizdelkih, tj. razpoke v notranjosti in na površini — lunke, vključki ipd. Pri preskušanju cevi uporabljamo skoraj redno poševno oddane transverzalne valove v smeri oboda, kakor že pri profilih okroglega prereza. Nasploh pa je tehnika preskušanja cevi odvisna od velikosti cevi. Pri tem delimo cevi v štiri posamezne skupine glede na njihov premer: najdebelejše cevi nad 400 mm premera, debele cevi s premerom od 60 do 400 mm, srednje debele cevi od 25 do 60 mm in tanke cevi do premera 25 mm.

Zelo debele cevi, ki jih uporabljamo za zbiralnike pri parnih kotlih ali plinske zbiralnike ipd., preskušamo postopno za posamezna območja. Za preskušanje uporabljamo kotne ultra zvočne glave, ki oddajajo ultra zvok pod kotom 45°.

Debele cevi preskušamo s posebno ultra zvočno glavo, kakršno kaže v shematični obliki slika 20.

Srednje debele cevi preskušamo podobno kakor debele cevi, le da uporabljamo pri tem ustrezajoče manjše ultra zvočne glave s frekvenco okrog 4 MHz in vpadni kot 45°.

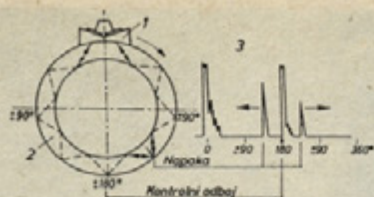
Za preskušanje tankih cevi pogosto uporabljamo potopne postopke, ki smo jih omenili že pri preskušanju drobnih profilov in žice. Slika 21 pri-



Sl. 19. Avtomatično preskušanje kovinskih palic s kvadratnim prerezom

1, 2 — vzporedno priključeni ultra zvočni glavi, 3 — priključek visokofrekvenčnega toka, 4 — preskušanelec





Sl. 20. Preskušanje debelih cevi s posebno ultra zvočno glavo v shematični obliki

1 — posebna ultra zvočna glava, 2 — prerez cevi, 3 — slika napake na zaslonu

kazuje kontinuirno preskušanje tankih cevi pri izdelavi.

#### 6.2.6. Preskušanje ulitkov

Pri ulitkih iščemo z ultra zvočnimi postopki preskušanja skoraj vedno napake, ki nastajajo pri izdelavi ulitka, tj. pri litju. To so navadno lunke, plinski mehurčki, poroznosti, vključki žlindre ali peska ter razpoke, ki nastajajo zaradi notranjih napetosti kot posledice neenakomernega ohlajanja. Samo izceje iščemo v ulitkih zelo težko.

Pri ulitkih uporabljamo ultra zvok predvsem pri razvijanju novih ulitkov, pri čemer preskušamo pri različnih preskusnih ulitkih, kakšne napake lahko nastajajo v ulitku, in še posamezne med izdelavo samo. Če je bilo prvo preskušanje dovolj natančno in učinkovito, lahko pripravimo takšen postopek pri litju, da je preskušanje posameznih ulitkov v osvojeni izdelavi odvečno.

Pri preskušanju ulitkov z ultra zvokom zadržujemo na različne težave, ki omejujejo te vrste preskušanja. Te težave so v naslednjem takele:

oblika površine pri ulitkih je pogostoma tako zapletena, da je težko doseči pravičen kontakt med ultra zvočno glavo in ulitkom. To preprečuje zanesljivo delo in trati obilico časa, kar dela preskušanje nezanesljivo in drago. Avtomatiziranje preskušanja ulitkov z ultra zvokom je pravzaprav nemogoče.

Kvaliteta površine je marsikdaj — zlasti pri večjih ulitkih za preskušanje z ultra zvokom — neprimerna. Kakršno koli popravilo in dodatno čiščenje samo zaradi preskušanja bi bilo predrago.

Struktura ulitkov je večinoma groba, kar povzroča močno dušenje ultra zvoka. Razen tega ustvarja še dodatne težave okoliščina, da je velika razlika v strukturi tudi med zunanji plasti ulitka in njegovo notranjostjo (jedro je zaradi počasnejšega ohlajanja bolj grobozrnato).

Tudi gospodarnost preskusov ima pri preskušanju veliko vlogo. Če upoštevamo vse našteje težave, se kaj lahko zgodi, da je preskušanje v primeri z izdelanim ulitkom v ceni previsoko. Povrh tega večina ulitkov ni tako obremenjena, da bi bilo zelo natančno preskušanje vsakokrat neogibno potrebno.

Iz vsega tega lahko sklepamo, da z ultra zvokom ne preskušamo majhnih ulitkov v množinski izdelavi, pač pa predvsem večje ulitke kakor so npr. valji za valjarske stroje, okrove, kolenaste gredi, težje armature, elemente cevovodov ipd.

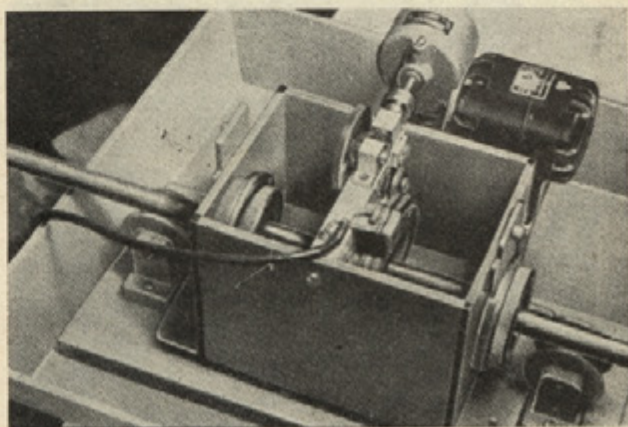
V zadnjem času delajo intenzivnejše preskuse z ultra zvokom tudi pri preskušanju ulitkov iz sive litine. Tako smo izvedeli od znane nemške tvrdke MAN (Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg) za uvedbo ultra zvoka pri merjenju debeline sten valjev pri Dieslovih motorjih, ki so izdelani iz sive litine. Pri litju motorskega bloka se kaj rado dogaja, da se jedro v formi premakne in postane tako debelina valja premajhna. Zato je nevarno, da bi pod vplivom tangencialnih sil pretanka stena valja počila. Z uporabo posebnih ultra zvočnih glav in preskuševalnih naprav se je v ta namen zelo dobro obnesel prav ultra zvok, čeprav je znano, da je preskušanje sive litine z njim zaradi njene posebne lastnosti — dušenja zvočnega valovanja — znatno težje kakor npr. pri jeklu.

V splošnem pa ne dobivamo pri preskušanju litin z ultra zvokom tako dobrih rezultatov kakor pri jeklu. Tudi pri preskušanju z nizkimi frekvencami, npr. 2 MHz ne dobivamo na zaslonu dovolj jasnih slik. V litini obstajajo namreč vselej kakšni vplivi majhnih plinskih mehurčkov ali lunkejev, ki ustvarjajo delne odboje, ti pa motijo sliko na zaslonu katodne cevi.

#### 6.2.7. Preskušanje zvarov in zvarnih spojev

Ogromno področje preskušanja z ultra zvokom zajema vsekakor preskušanje zvarov in zvarnih spojev. Z ultra zvokom lahko preskušamo zvarne spoje vseh vrst varjenja, npr. soležnega električnega uporabnega varjenja, točkovnega varjenja, električnega obločnega varjenja, plamenskega varjenja itd.

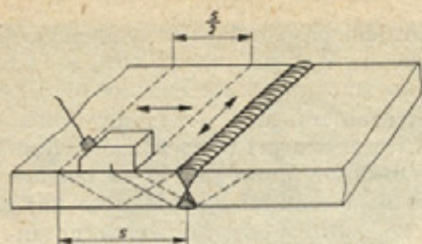
Pri soležnem uporabnem varjenju lahko ugotavljamo napake kakor so vključki žlindre in plinski mehurčki, napake zaradi slabega sprijema na obeh soležnih ploskvah, obrobne zareze, slabe zavaritve, razpoke, ki so lahko vzdolžne ali prečne in podobne napake. Preskušanje z normalnimi ultra zvočnimi glavami je izvedljivo zelo redko. Z normalnimi ultra zvočnimi glavami lahko preskušamo



Sl. 21. Preskušanje tankih cevi s posebno ultra zvočno napravo

(tvrdka VEB Carl Zeiss, Jena)





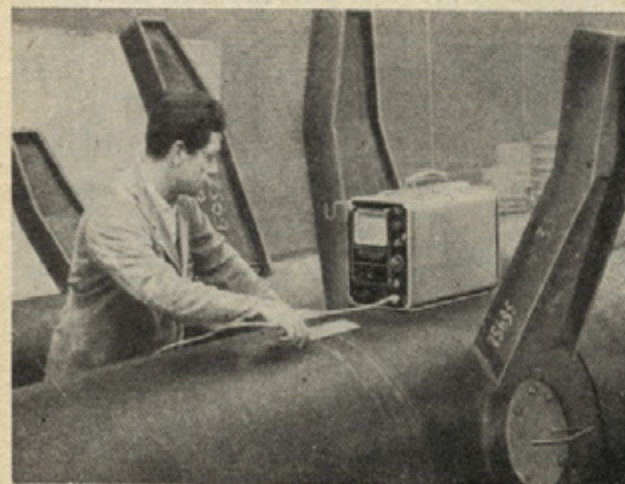
Sl. 22. Preskušanje zvarnega spoja na debeli pločevini (puščice kažejo smer gibanja ultra zvočne glave).

samo nekatere predmete, npr. okrogle profile, ki so zavarjeni po postopku soležnega varjenja s stiskanjem, prirobnice, zavarjene na cevi ipd.

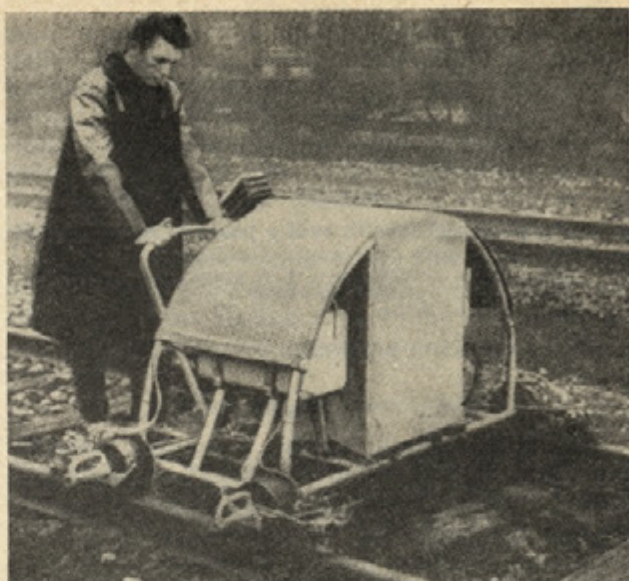
Za preskušanje zvarnih spojev — posebno pri ploščatih predmetih — uporabljamo večidel le kotne ultra zvočne glave. Pri tem uporabljamo frekvence okrog 2 do 2,5 MHz. Za kontaktno tekočino uporabljamo olje (strojno olje). Pri preskušanju takih zvarov uporabljamo v odvisnosti od debeline pločevine kotne glave, ki oddajajo ultra zvok pod kotom 45°, 60°, 70° ali 80°. Tabela 2 prikazuje nekaj kotov, ki so v odvisnosti od debeline pločevine.

Tabela 2

| Najugodnejši vpadni kot ultra zvoka |                            |                             |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| debelina pločevine [mm]             | vpadni kot ultra zvoka [°] | oddaljenost od razpoke [mm] |
| a) pri obdelanem zvaru              |                            |                             |
| 5...15                              | 80                         | 55...165                    |
| 15...30                             | 70                         | 80...165                    |
| 30...60                             | 60                         | 105...210                   |
| nad 60                              | 45                         | nad 120                     |
| b) pri neobdelanem zvaru            |                            |                             |
| 5...20                              | 80                         | 55...220                    |
| 20...40                             | 70                         | 110...220                   |
| nad 40                              | 60                         | nad 140                     |



Sl. 23. Preskušanje zvara na varjeni cevni konstrukciji (tvrdka Krautkrämer, Köln)



Sl. 24. Preskušanje železniških tirnic s posebno ultra zvočno napravo (tvrdka Krautkrämer, Köln)

Slika 22 ponazarja način preskušanja (smer gibanja ultra zvočne glave) in oddaljenost glave od zvara. Zvarov pa tako ni mogoče preskušati samo na pločevini, ki je ravna; tudi varjene cevi lahko preskušamo podobno. Slika 23 prikazuje preskušanje zvara na varjeni cevi.

Poseben način preskušanja so točkovni zvarni spoji. Napake pri teh vrstah zvarnih spojev leže večinoma vzporedno s površino pločevine, npr. žlindra, napake v uvaru (sprijemu) ipd. Te vrste napake lahko ugotovljamo z normalno ultra zvočno glavo, če je debelina pločevine tako debela, da je večkratni odboj ultra zvoka zaznaven na zaslonu katodne cevi. Ta debelina znaša pri frekvenci od 4 do 6 MHz okrog 3 do 4 mm za jeklo in aluminij. Če je površina zavarjene pločevine gladka in čista, lahko uporabljamo ultra zvočne glave, ki so večje od premera točkovnega zvara, npr. pri premeru točkovnega zvara od 6...8 mm je lahko premer ultra zvočne glave 10 mm.

Zgoraj smo navedli le nekaj primerov, kje in kako se uporablja ultra zvok v kovinski industriji. Na kratko lahko sklenemo, da je možnost za uporabo ultra zvoka v preskuševalne namene zelo obširna. Žal prostor ne dopušča, da bi navajali še druge, prav tako zanimive primere take uporabe ultra zvoka npr. pri železnicah, jeklenih konstrukcijah ipd. Posebno železnice uporabljajo ultra zvočno preskušanje v najrazličnejše namene, npr. preskušanje dovolj trdnega nasajanja toplo navlečenih bandaž na kolesa lokomotiv, preskušanje tirnic na progi, preskušanje napak v lokomotivskih in vagonskih oseh na vmesnih postajah itd. Slika 24 predstavlja ultra zvočno preskušanje železniških tirnic na progi.

(Konec prihodnjič)

Avtorjev naslov: doc. ing. Polde Leskovar,  
Fakulteta za strojništvo  
Univerze v Ljubljani