

Tabela 1 kaže izrez iz standarda RfN 8004. Povrh dimenzij obročev so podani torni momenti vezi z enim parom obročev pri različnih kvaliteta materialov gredi in pripadajoče osne sile $F = F_2 + F_1$. Pri izračunu vezi standardnih izvedb z običajnimi tolerancami te podatke upoštevamo. S pomočjo enačb 3, 5, 9 in 19 pa lahko izračunamo vez s poljubnimi obroči, ki niso vsebovani v omejenem standardu. Navadno izhajamo iz danega vrtilnega momenta M (ki naj bo v vsakem primeru največji vrtilni moment, ki se sploh lahko pojavi v konstrukciji) in določamo pri danem premeru gredi sili F_2 in F_1 potrebno število obročev ter kontroliramo ploščinski pritisk. Torni moment za več parov obročev izračunamo po enačbi 19. V kriterij nosilnosti $M_r \geq M$ lahko še vstavljamo faktor varnosti, kakor je že tako v navadi pri veliki večini izračunov.

Vez z obročnimi vzmetmi pa ima razen uvo doma naštetih lastnosti še znatne konstruktivne prednosti. Obdelava gladke gredi in gladke izvrtine pesta z običajnimi (ali celo bolj grobimi) toleran-

cam je enostavna in cenejša od izdelave raznih utorov in profilov na gredi in v pestu. Vez dopušča znatno ožja pesta kakor pri večini znanih konstrukcij. Vzmetni obroči zadovoljivo centrirajo pesto in dodatne vodilne ploskve niso potrebne (slika 8). Vez lahko prestreza znatne osne sile, kar odpira v zvezi s sosednjimi elementi nove konstruktivne možnosti. Ker je vez še v dobi prvega razvoja, se pogosto pojavljajo rešitve, ki zamenjujejo stare tradicionalne konstrukcije. Lep primer kaže slika 9, ki ponazarja nov način pritrdjevanja bobna viseče centrifuge na navpično vreteno.

Zaključujem z željo, da bi tudi naš domači konstrukterski kader prispeval nekaj deleža k uvažanju vzmetnih obročev in nadaljnjemu razvoju tovrstnih vezi.

Literatura

H. Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau. Industrie Anzeiger, šte. 11, februar 1957.
Katalog tvrdke Ringfeder GmbH, Krefeld.

Avtor: ing. Milan Muršič, redni asistent na Fakulteti za rudarstvo, metalurgijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani.

DK 534.8—8:621.7

Ultra zvok kot tehnološko sredstvo za obdelavo materialov

FRANC GOLOGRANC

V zadnjih letih se je ultra zvok, ki ga zaradi nekaterih posebnih lastnosti uporabljajo že v mnogih področjih fizike, kemije in tehnike, pričel uveljavljati tudi na področju tehnološke obdelave raznih materialov. Sprito doseženih uspehov in stalno naraščajočega zanimanja za tovrsten način obdelave je prav, če se tudi pri nas seznanimo z novimi postopki ter si nekoliko pobliže ogledamo možnosti za praktično uporabo ultra zvoka v tehnološke namene.

Ultra zvok so pričeli uporabljati v tehnične namene že pred prvo svetovno vojno, vendar je takrat rabil le kot sredstvo za merjenje morskih globin. Šele z razvojem visokofrekvenčne elektrotehnike so se odprle nove praktične možnosti za njegovo širše industrijsko izkoriščanje. Ultrazvočna defektoskopija, t. j. ugotavljanje napak v materialih, merjenje modula elastičnosti trdnih snovi, homogeniziranje strukture nekaterih zlitin in lotanje aluminija so le nekatera izmed področij, v katerih se ultra zvok zdaj že uporablja z uspehom. Med najmlajše postopke spadata ultrazvočna površinska obdelava, t. j. čiščenje površin raznih izdelkov, predvsem optične in finomehanske industrije ter erozivna obdelava različnih trdnih materialov, karbidnih trdin, keramike, kamenin in dr. Rezultati dosedanjega razvoja na tem področju kažejo mnoge prednosti novih postopkov, predvsem pri obdelavi najtrših materialov-nevodnikov, ki jih ni mogoče obdelovati niti s pomočjo elektroerozije.

Namen članka je, podati fizikalne osnove in tehnološke značilnosti ultrazvočne obdelave ter opisati posamezne postopke in naprave, ki so namenjene za čiščenje površin in erozivno obdelavo raznih materialov.

I. FIZIKALNA NARAVA IN POSEBNE LASTNOSTI ULTRA ZVOKA

Kakor vemo iz fizike, sestavlja zvok vrsta mehanskih nihanj, katerih frekvence so v območju od 10^{-3} do 10^{10} Hz. Pri tem zaznava človeški sluh le en del teh nihanj, in sicer v območju od 16 do 16 000 Hz.

Nihanja s frekvenco nad 20 kHz, ki so torej zunaj območja slišnosti, imenujemo ultra zvok, medtem ko prištevamo taka s frekvenco pod 16 Hz k infra zvoku. Z modernimi ultrazvočnimi generatorji je možno proizvajati ultrazvočne valove s frekvencami do 1000 milijonov nihanj v sekundi, t. j. 10^9 Hz, vendar se na področju tehnološke obdelave uporabljajo le frekvence od 20 do 1000 kHz.

Zvočno nihanje je pojav mehanske narave, pri katerem se pretvarja energija iz ene oblike v drugo in se ponovno vrača v prvotno obliko v periodičnih časovnih intervalih. Ker se fizikalni naravi ultra zvoka in navadnega zvoka ne razlikujeta, veljajo zakoni akustike tudi za ultra zvok. Tako poznamo tudi pri ultrazvočnem valovanju lom, odboj, uklon in absorpcijo.

Ultrazvočni valovi se razširjajo v plinastih, tekočih in trdnih snoveh kot longitudinalni valovi. O teh govorimo, kadar materialni delci nihajo v smeri razširjanja valov. Nihanje posameznih materialnih delcev oziroma vsega sistema takih delcev povzroča zgoščevanje in redčenje snovi, zaradi česar nastajajo v materialu razlike v pritiskih. Brez materialnega medija ultrazvočno valovanje ni možno. V plinih in tekočinah se lahko širijo ultrazvočni valovi samo longitudinalno, medtem ko so v trdnih snoveh možne še druge oblike, predvsem transversalno valovanje, pri katerem nihajo delci pravokotno na smer razširjanja valov, ter površinsko, torzijsko in upogibno valovanje kakor tudi razne kombinacije. Nastanek določene vrste je odvisen od načina vzbujanja, oblike trdnega telesa in njegovih dimenzij glede na valovno dolžino.

Razdaljo med dvema sosednjima zgoščinama ali razredčinama ozir. splošno med dvema sosednjima delcema, ki nihata v enaki fazi, imenujemo valovno dolžino. Le-ta pomeni torej razdaljo, ki jo napravi zvočni val v času enega nihaja. Ker velja tudi pri ultrazvočnem valovanju zakon

$$c = f \cdot \lambda$$

po katerem je hitrost razširjanja ultrazvočnih valov c enaka produktu iz frekvence f in valovne dolžine λ , je valovna dolžina tem manjša, čim večja je frekvenca f . Ultra zvok lahko torej karakteriziramo z navedbo njegove valovne dolžine, pri čemer pa je treba navesti tudi medij, v katerem se valovanje razširja.

Ker je valovanje posledica prožnostnih lastnosti sredstva, je od teh lastnosti odvisna tudi hitrost razširjanja zvočnih valov. Ta hitrost je pri trdnih sredstvih odvisna od modula prožnosti E in gostote ρ , pri tekočih sredstvih od stisljivosti in gostote tekočine, pri plinih od temperature in vrste plina. V tabeli I je podanih nekaj vrednosti za hitrosti razširjanja zvočnih valov. Za navedeno frekvenčno območje ultra zvoka, t. j. od 20 kHz do 1000 MHz dobimo torej za zrak ($c \approx 330$ m/s) območje valovnih dolžin od 16 mm do $0,3 \cdot 10^{-3}$ mm, za tekočine ($c \approx 1200$ m/s) območje od 60 mm do $1,2 \cdot 10^{-3}$ mm in za trdna telesa ($c \approx 4000$ m/s) območje od 200 mm do $4 \cdot 10^{-3}$ mm. Najkrajši ultrazvočni valovi se torej po velikosti že približujejo valovni dolžini svetlobe. Prav te izredno majhne valovne dolžine dajejo ultra zvoku določeno specifičnost in omogočajo njegovo uporabnost za nekatere posebne namene.

Ker prenašajo tudi ultrazvočni valovi gibalno energijo, se ta širi z zvočno hitrostjo skozi medij. Srednja vrednost energije E , ki se nahaja v enoti volumena zvočnega polja, je podana z naslednjo zvezo

$$E = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot A^2$$

pri čemer pomeni A amplitudo nihanja, ρ gostoto sredstva, $\omega = 2\pi f$ krožno frekvenco. Proporcionalna je torej kvadratu frekvence in kvadratu amplitude. Čim večja je frekvenca ultra zvoka, tem večja je tudi njegova energija.

Gostota zvočnega toka j je podana s količino energije, ki prehaja v časovni enoti skozi enoto ploskve, pravokotne na smer širjenja zvoka

$$j = E \cdot c = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c \cdot \omega^2 \cdot A^2$$

kjer je c hitrost ultra zvoka v določenem sredstvu. Celotna energija, ki prehaja skozi ploskev S , je zvočna moč P .

$$P = \int j \cdot dS$$

Enota za gostoto zvočnega toka ali jakost zvoka je W/m^2 ozir. W/mm^2 . Pri ultrazvočnih oddajnikih, ki so v uporabi pri površinski obdelavi, t. j. pri čiščenju raznih delov, zadostujejo običajno jakosti od 0,03 do $0,05 W/mm^2$. Pri erozivni obdelavi trdnih snovi pa se normalno uporabljajo jakosti do $0,5 W/mm^2$. Za primerjavo bodi omenjeno, da znaša jakost zvoka, ki ga oddaja n. pr. navaden radijski zvočnik v sobi, le $10^{-7} W/mm^2$ in je celo jakost zvoka pri topovskem strelu več ko 10 000 krat manjša od jakosti, ki se uporablja n. pr. pri ultrazvočni obdelavi površin. Tehnično pa so dosegljive še mnogo večje gostote zvočnega toka (tudi do $10 W/mm^2$). Iz tega vidimo, da je v takem ultrazvočnem polju lahko koncentrirano izredno mnogo energije, ki zmore opravljati tudi delo na določenem mestu sredstva, v katerem se razširja. Ta možnost koncentracije ultrazvočne energije pa se izrablja prav za ultrazvočno površinsko in erozivno obdelavo.

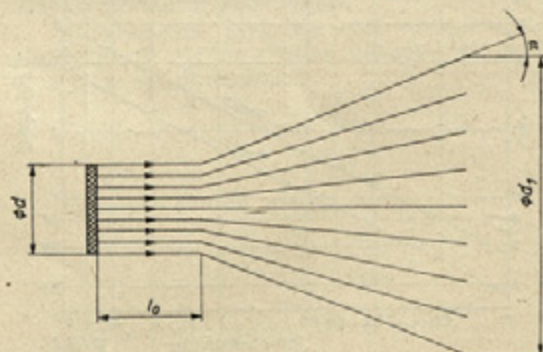
Pri povečanju frekvence ne narašča le energija ultrazvočnega valovanja, ampak tudi sposobnost za njeno usmerjanje. V nasprotju s slišnim zvokom lahko namreč zbiramo ultrazvočne valove v snop kakor svetlobo. Zaradi tega govorimo o ultrazvočnem sevanju (žarčenju), ki izstopa pravokotno iz površine ultrazvočnega oddajnika. Če je oddajna ploskev konkavna, lahko ultrazvočno energijo zgoščamo. Pogoji za tako

Tabela I. Hitrosti razširjanja ultrazvočnih valov v nekaterih snoveh
(c_L = longitudinalni valovi, c_T = transverzalni valovi)

Snov	Gostota ρ [kg/m ³]	Hitrost razširjanja valov	
		c_L [m/s]	c_T [m/s]
zrak	1,29	331	—
kisik	1,43	316	—
vodik	0,0899	1285	—
voda	998	1485	—
bencol	878	1326	—
glicerina	1261	1923	—
živo srebro	13551	1451	—
transformatorsko olje	895	1425	—
petrolej	825	1295	—
aluminij	2700	6260	3080
svinec	11400	2160	700
jeklo	7800	5850	3230
baker	8900	4700	2260
guma	900	1479	—
nikelj	8800	5630	2960
pleksiglas	1180	2670	1121

usmerjeno sevanje ultra zvoka pa je, da je dolžina ultrazvočnih valov majhna v primeri z velikostjo ploskve oddajnika.

Geometrična oblika zvočnega polja, v katerem se razširjajo ultrazvočni valovi, in porazdelitev energije v njem sta odvisni od raznih faktorjev, predvsem od razmerja velikosti ultrazvočnega oddajnika in valovne dolžine ultra zvoka. Kadar je to razmerje majhno, je razširjanje valov zelo divergentno in se približuje obliki kroglastega valovanja. Zato se zmanjšuje gostota zvočnega toka pri takem sevanju skoraj s kvadratom oddaljenosti od izhodišča valovanja. Pri večjih razmerjih pa izhajajo ultrazvočni valovi iz oddajnika v obliki stožčastega snopa, katerega divergenca je tem manjša, čim manjša je valovna dolžina. Ugotovljeno je, da poteka ultrazvočno polje pri majhnih valovnih dolžinah (torej pri velikih frekvencah) in razmeroma veliki oddajni ploskvi najprej paralelno (če je ploskev okrogla, ima polje obliko valja) in se prične širiti šele pri določeni razdalji od izhodiščne ploskve (sl. 1). Na geometrijo razširjanja zvočnih valov vpliva zlasti nehomogenost zvočnega toka, ki je posledica pojavov interferenčne v ultrazvočnem polju.



Sl. 1. Idealizirana oblika ultrazvočnega polja za $D > \lambda$.

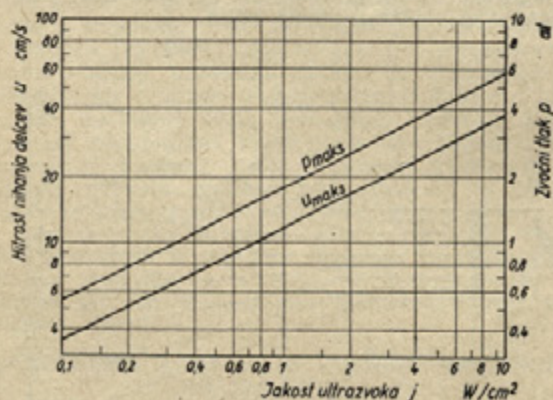
Ker absorbira vsako sredstvo večji ali manjši del v njem razširjajoče se zvočne energije, pojema jakost ultra zvoka z naraščanjem njegove oddaljenosti od oddajnika. Večji del te energije se pretvarja v toploto, ki sredstvo segreje. Absorpcija je odvisna predvsem od elastičnih lastnosti sredstva, v katerem se ultra zvok širi. V idealnem elastičnem trdnem sredstvu je majhna, dokler deformacija materiala ne prekorači meje prožnosti. Njen vpliv narašča v splošnem sorazmerno s frekvenco, je pa še pri 1000 kHz pri večini trdnih snovi zelo majhna. Pri mehkejših kovinah, n. pr. pri svincu in cinu, dalje pri gumiju in sintetičnih masah ter drugih nehomogenih in poroznih snoveh pa se absorbira skoraj vsa ultrazvočna energija — zaradi velikih notranjih trenj. Velike gostote zvočnega toka povzročajo zato pri materialih, ki so slabi prevodniki toplote, močne lokalne temperaturne obremenitve, ki imajo lahko zelo kvarne posledice. Na to je treba paziti n. pr. pri ultrazvočnem čiščenju. Pri tekočinah narašča absorpcija z viskoznostjo tekočega sredstva. Največ ultrazvočne energije absorbirajo plini.

Pri razširjanju ultrazvočnih valov v določenem sredstvu nihajo posamezni elementarni delci z določeno amplitudo, t. j. odmikom iz ravnovesne lege, z določeno hitrostjo in pospeškom. Amplitude in sile, ki nastajajo pri pospeševanju nihajočih delcev snovi, niso odvisne samo od gostote ultrazvočnega toka, temveč tudi od frekvence. Tako dobivajo delci snovi v ultrazvočnem polju pospeške, ki so lahko do 100 000-krat večji od pospeška Zemljine teže g . Ti pospeški povzročajo zelo velike sile, ki delujejo sicer le v manjšem delu nihajne polperiode — n. pr. pri frekvenci 500 kHz v času 1 milijoninke sekunde — vendar s popolnim učinkom, tako da se lahko pojavljajo med delci raznih velikosti ali različnih gostot velike trenutne napetosti.

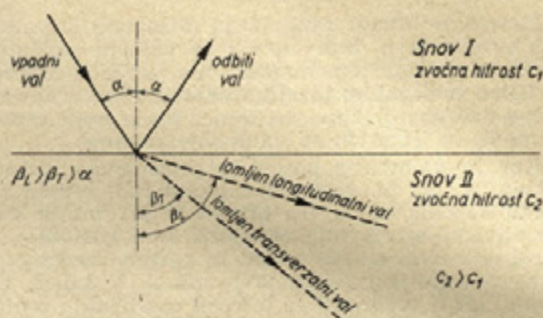
Ker sta v intervalu ene valovne dolžine vsakokrat po ena maksimalna zgostitev in razredčitev, se zaradi zvočnega tlaka v sredstvu periodično menjavajo natezne in tlačne napetosti. Ta zvočni tlak lahko dosega več atmosfer in niha z dvojno frekvenco. Potek njegove odvisnosti od jakosti ultra zvoka je prikazan v diagramu sl. 2. Razumljivo je, da imajo velike razlike tlakov določen mehanični učinek na sredstvo, v katerem nastajajo.

Mimo že omenjenega zvočnega tlaka se pojavlja v ultrazvočnem polju tudi še poseben tlak zaradi sevanja, ki nastaja pri zadevanju ultrazvočnega vala na oviro. Pri tem gre za enakomeren tlak, ki je vedno usmerjen proti mestom manjše energijske gostote v smeri razširjanja ultrazvočnega vala. Ta tlak lahko povzroča n. pr. močne turbulence v tekočini.

Pri dosedanjem obravnavanju fizikalnih lastnosti ultra zvoka je bilo predpostavljeno, da je zvočno polje



Sl. 2. Odvisnosti hitrosti nihanja delcev in zvočnega pritiska F od jakosti ultra zvoka v vodi



Sl. 3. Odboj in lom ultrazvočnih valov

v zelo razsežnem homogenem sredstvu. Ker pa vsako sredstvo obdajajo bodisi stene ali plast zraka, je treba ugotoviti, kaj se dogaja na mejni ploskvi dveh različnih sredstev, n. pr. tekočine in zraka ali tekočine in trdnega telesa. Če zadane ultrazvočni val na tako mejno ploskev, prehaja le določen del v drugo sredstvo, medtem ko se ostali del odbija (sl. 3). Pri pravokotnem vpadanju ultrazvočnih valov na mejno ploskev je koeficient odboja R podan z naslednjo relacijo

$$R = \left(\frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1} \right)^2$$

Pri tem sta ρ_1 in ρ_2 gostoti ter c_1 in c_2 hitrosti razširjanja ultra zvoka v obeh sredstvih, ki mejita drugo na drugo. Produkt ρc imenujemo tudi zvočno ali akustično upornost določenega sredstva.

Koeficient odboja R je torej odvisen od razmerja obeh akustičnih upornosti. V tabeli II so podane vrednosti za akustično upornost in koeficient odboja za nekatera sredstva. Ker je akustična upornost zraka v primerjavi z akustično upornostjo trdnih ali tekočih sredstev majhna ($\rho c = 426 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$), se zvok na mejni tekočina — zrak ali trdna snov — zrak praktično popolnoma odbija. Zvočni valovi torej, ki prehajajo skozi določeno sredstvo, na mejni ne morejo izstopati iz sredstva v zrak, ampak se na mejni ploskvi odbijajo nazaj v sredstvo. Iz trdnega ali tekočega sredstva se potemtakem lahko prenaša v plinasto sredstvo le neznamen del ultrazvočne energije.

Ta pojav se izrablja predvsem pri ultrazvočni defektoskopiji, ima pa veliko vlogo tudi pri tehnološki obdelavi. Če hočemo namreč prenašati ultrazvočno energijo iz ene kovine v drugo, je treba skrbeti za to, da ni med njima niti najmanjše plasti zraka. Tudi zelo gladko in natančno obdelane stične ploskve je treba prevleči s tanko plastjo maziva ali tekočine, da se doseže dober akustični spoj med obema kovinama.

Pri poševnem vpadanju ultrazvočnih valov na mejno ploskev dveh različnih sredstev se le-ti lomijo po znanem zakonu

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

Sprememba smeri vpadajočega ultrazvočnega vala je torej odvisna od vpadnega kota in razmerja zvočnih hitrosti v obeh sredstvih. Pri določenem mejnem kotu α_0 nastaja pri prehodu zvoka iz sredstva z manjšo v sredstvo z večjo zvočno hitrostjo popoln odboj, pri katerem je vrednost koeficienta odboja $R = 1$. Ta mejni kot α_0 znaša pri prehodu ultra zvoka iz vode v jeklo okrog 15° za longitudinalne ter okrog 25° za transverzalne valove.

Nadaljnji pojav, ki je zelo pomemben pri površinski obdelavi z ultra zvokom in je zaznaven v zelo intenzivnih ultrazvočnih poljih v tekočinah, je kavitacija. Kakor je bilo že omenjeno, povzročajo zgoščine

Tabela II. — Akustična upornost $\rho \cdot c_L$ in koeficient odboja R na meji raznih sredstev

Snov	$\rho \cdot c_L$ $\cdot 10^{-6}$ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right]$	Koeficient odboja R v %								
		nikelj	jeklo	baker	steklo	aluminij	kremen	bakelit	voda	transform. olje
nikelj	49,5	0	0,2	0,8	34	24	29	75	89	90
jeklo	45,6		0	0,3	31	21	27	76	88	89
baker	41,8			0	19	18	22	71	87	88
steklo	18,05				0	2	0,8	32	65	67
aluminij	17,0					0	0,3	42	72	74
kremen	15,2						0	17	68	71
bakelit	3,63							0	18	23
voda	1,5								0	0,6
transform. olje	1,28									0
zrak	0,000426									~ 100

in razredčine, ki nastajajo pri longitudinalnem valu, periodično menjavanje podtlakov in nadtlakov, ki lahko dosega precejšnje vrednosti. Pri določenem podtlaku se dinamično obremenjeno tekoče sredstvo raztrga, kar ima za posledico nastajanje votlih prostorov v tekočini. V trenutku, ko zopet nastane nadtlak, se ti votli prostori v hipu porušijo — pri frekvencah 20 kHz 20 000-krat v sekundi — zaradi česar prihaja tam do znatnih lokalnih koncentracij energije. Pri tem se sproščajo v neposredni bližini nastale kavitacije tlaki, ki znašajo lahko tudi več 10 000 atmosfer. Take kavitacije se pojavljajo tudi pri hitrotekočih ladijskih vijakih, turbinskih tekalnih kolesih, pri iztoku tekočin iz šob itd., in povzročajo na površinah teh delov korozijo materiala.

Ker je za nastanek takega votlega prostora v tekočini potreben določen čas, je kavitacija, ki jo povzroča ultra zvok, odvisna od frekvenca. Vpliv kavitacije je pri majhnih frekvencah velik, medtem ko pri frekvencah nad 1000 kHz praktično že izgine. Mimo tega je za nastanek kavitacije potrebna določena minimalna jakost ultra zvoka. Spodnja meja te jakosti je odvisna od frekvenca in velikosti kohezijskih sil v tekočini, ki rastejo z naraščanjem hidrostatskega tlaka in zmanjšanjem temperature. Pri manjših frekvencah nastaja kavitacija že pri manjših gostotah ultrazvočnega toka. Posebno intenzivna je na mejni ploskvi dveh sredstev, ker delujejo tam le adhezijske sile.

Pri kavitaciji v tekočinah, ki ne vsebujejo nikakršnih plinov, se tekočina pretrga zaradi velikih notranjih napetosti, ki premagajo kohezijske sile in povzročijo nastanek votlega prostora. Če so v tekočini mikroskopsko majhni mehurčki ali delci drugih snovi, ki zmanjšujejo kohezijske sile, pa se tekočina pretrga na mestih, kjer trenutno prevladujejo natezne napetosti, že pri manjši gostoti ultra zvoka, tako da je njihova zrušitev manj intenzivna, zaradi česar so manjše tudi nastajajoče kavitacijske sile. Plinski mehurčki se zaradi podtlakov združujejo v večje mehurčke in uhajajo na površje. Ta pojav izrabljajo tudi za razplinjavanje tekočine.

Pri tehnološki obdelavi ima kavitacija deloma negativen vpliv, ker zmanjšuje energijo ultrazvočnega polja. Hkrati pa je kavitacija ravno zaželena, ker lahko povzroča namerno korozijo, ki rabi za intenzivno čiščenje površin ozir. erozivno obdelavo materialov.

Razen opisanih primarnih efektov (absorpcije, kavitacije) se v ultrazvočnem polju pojavljajo še številni sekundarni efekti. Ti so lahko mehanične, termične, električne, optične, kemične ali biološke narave in se pojavljajo bodisi skupno ali posamezno ter so odvisni od posameznih parametrov ultrazvočnega polja.

(Nadaljevanje prihodnjic)

Avtor: ing. Franc Golobranc, redni asistent na Oddelku za strojništvo Univerze v Ljubljani.

IZ PRAKSE ZA PRAKSO

DK 621.831.063

RAČUNANJE MENJALNIH ZOBNIKOV S PRIBLIŽEVANJEM

PEPO PUHAR

UVOD

Z obdelovalnimi stroji za izdelavo zobnikov, navojev in podobnega prejme naročnik določen zlog menjalnih zobnikov in pogonsko navodilo. Iz ustreznih razpredelnic so razvidni pripadajoči menjalni zobniki za najbolj običajne primere.

Vendar se skoraj v vsakem obratu pojavljajo tudi primeri, ko moramo z razpoložljivimi menjalnimi zobniki sestavljati razmerja zob, ki niso zajeta v priloženih razpredelnicah. Menjalne zobnike za takšna razmerja moramo izračunati.

V praksi je precej razširjen način računanja menjalnih zobnikov z računalom. Priznati pa je treba, da računal ni dovolj zanesljiv pripomoček za zahteve pri ozobju, navoju in podobnem.

Če se hoče izogniti zamudnemu iskanju s poskusi ali podobno, bo vsakdo rad uporabil način, ki ga bo lahko kaj kmalu obvladal z dobro voljo in nekaj vajami.

Opisani način ni matematična študija verižnih ulomkov, temveč le praktična uporaba računske opera-

cije, ki je znana že iz 16. stoletja. Obširneje o verižnih ulomkih je lahko najti v tuji literaturi. (Glej navedbo literature ob zaključku članka.)

RAZMERJE ZOB

Z menjalnimi zobniki $z_1, z_2, z_3, z_4 \dots$ lahko nastavimo, n. pr. pri kotalnem frezanju valjastih zobnikov s poševnimi zobmi zahtevano razmerje med vrtenjem mize in vretenom podajanja.

Za prestavno razmerje med vrtilno hitrostjo na gonilni gredi n_{gon} in vrtilno hitrostjo na gnani gredi n_{gn} izhaja znana enačba:

$$-i = \frac{n_{gon}}{n_{gn}}$$

Razmerje zob pa je:

$$u = \frac{1}{i} = \frac{n_{gn}}{n_{gon}}$$

Gornjo enačbo lahko pišemo tudi:

$$u = \frac{z_{gon} \cdot z_{gon}}{z_{gn} \cdot z_{gn}} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} \quad (1)$$