

ULTRASUNETELE SI UTILIZAREA LOR IN PROCESE TEHNOLOGICE

Ultrasunetele (US) sunt o forma de energie mecanica ce se propaga sub forma unor unde de frecventa superioara limitei de perceptie a urechii umane. Omul percepe sunete cu frecventa cuprinsa intre 16 si 20 000 Hz. Sunetele cu frecventa peste limita de audibilitate umana (20 MHz) se numesc ultrasunete, iar cele cu frecventa sub aceasta, infrasunete.

Daca o particula dintr-un mediu elastic executa o miscare inainte si inapoi fata de pozitia de echilibru, miscare numita oscilatie mecanica sau vibratie, are loc un transfer de energie in mediul care o inconjoara. Particula care oscileaza interactioneaza cu cele vecine si astfel unda se propaga din aproape in aproape. Regiunea din spatiu in care se afla unde ultrasonice (altfel spus, campul de US) este reprezentata de oscilatii ciclice in spatiu si timp. Miscarea particulelor in jurul pozitiei de echilibru se repeta la anumite intervale de timp.

Proprietatile ultrasunetelor

Perioada (T) este timpul necesar unei particule pentru descrierea unei oscilatii complete si se exprima in secunde.

Frecventa (f) este numarul de oscilatii efectuate in unitatea de timp (secunda). Unitatea de frecventa este Hertz (Hz). O frecventa de 1 Hz corespunde unei oscilatii pe secundă ($f=1/T$).

Amplitudinea oscilatiei este valoarea absolută a distantei maxime parcurse de particula in jurul pozitiei de echilibru.

Lungimea de unda este distanta dintre doua maxime sau dintre doua puncte succesive aflate in aceeasi faza.

Viteza ultrasunetelor exprima distanta parcursa de US in unitatea de timp. Se masoara in m/s. Viteza de propagare a US este de 331 m/s în aer, de 1430 m/s în apă si mult mai mare in corpurile solide, fiind dependenta de densitatea si elasticitatea mediului. Undele sonore nu se propaga in vid, iar in gaze se propaga destul de greu, datorită distantei mari dintre molecule.

Energia acustica. Unda ultrasonica transporta si cedeaza o parte din energie mediului strabatut determinand oscilatii ale particulelor din mediu. Se masoara in Jouli (J).

Intensitatea ultrasunetelor este cantitatea de energie care strabate unitatea de suprafata in unitatea de timp. Se exprima in W/cm^2 . Intensitatea US scade proportional cu distanta parcursa, atenuarea acustica fiind cu atat mai mare cu cat frecventa este mai ridicata. Deci pe masura ce creste frecventa scade adancimea de penetrare. La o frecventa data, adancimea de penetrare a US este limitata de scaderea intensitatii.

Impedanta acustica exprima rezistenta la trecerea undelor, fiind produsul dintre densitatea mediului si viteza US. Impedanta acustica este deci o constanta de material: $Z = \rho \cdot c$. Se masoara in rayl; 1 rayl = $1 \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Limita de separare

dintre două medii cu densitate diferită, deci cu impedanță acustică diferită, se numește **interfață**. La nivelul interfețelor, impulsul ultrasonic este: **reflectat, refractat, dispersat, absorbit** sau **atenuat**.

Reflexia constă în întoarcerea în mediul inițial a unei părți a fasciculului de US la traversarea unei interfețe, în funcție de impedanță acustică a celor două medii. Direcția fasciculului reflectat depinde de unghiul pe care îl face fasciculul incident cu interfața.

Refracția reprezintă schimbarea direcției fasciculului incident după ce a străbătut o interfață. Valoarea unghiului de refracție este proporțională cu diferența de viteză a US în cele două medii și invers proporțională cu unghiul de incidență.

Dispersia constă în reiradiere, adică în emisia de noi unde sferice în zone cu impedanțe acustice diferite și cu dimensiuni mai mici decât lungimea de undă. Dispersia conduce la mărirea ariei de acțiune a US.

Atenuarea se produce prin: **absorbție, dispersie, reflexie**. Atenuarea este direct proporțională cu pătratul distanței parcurse și cu frecvența fasciculului de US. Undele cu frecvență mare sunt atenuate după un parcurs scurt, iar cele cu frecvență mică patrund în profunzime.

Difracția. Atunci când fasciculul de US trece la o distanță mai mică de una sau două lungimi de undă de un obstacol, direcția de propagare a undelor este deviată în spatele acestuia. În spatele obstacolului apar zone de umbră acustică, iar în fața lui se produce **interferența undelor**, ca rezultat al acțiunii mai multor unde asupra aceluiași particule. Dacă undele sunt în aceeași fază, efectul se cumulează și avem de a face cu o **interferență constructivă**, iar dacă sunt în antifază efectul se anulează, **interferența fiind distructivă**.

Puterea acustică este cantitatea de energie care străbate o suprafață în unitatea de timp. Se măsoară în watt.

Interacțiunile ultrasunetelor

Mecanismele de interacțiune posibile la trecerea undelor ultrasonice printr-un mediu sunt următoarele:

- mecanismul termic
- cavitația
- mecanismul de tensionare.

Mecanismul termic

Interacțiunea ultrasunetelor cu materia este urmată de absorbția de către mediu a unei părți din energia fasciculului, care se transformă în căldură. Căldura generată pe unitatea de volum a mediului este proporțională cu intensitatea acustică și cu coeficientul de absorbție și invers proporțională cu densitatea mediului și cu căldura lui specifică. Ținând cont de efectul conductivității termice, se apreciază că după un timp temperatura va atinge o valoare de echilibru. Pentru corpurile sferice creșterea temperaturii de echilibru, ca și timpul pentru a atinge această temperatură sunt proporționale cu pătratul razei.

Cavitația

Cavitația se poate defini ca fiind fenomenul dinamic de apariție, dezvoltare și dispariție prin implozie a unor bule (cavitati) de gaz (vapori), în masa unui lichid în

miscare. Aparitia acestor bule are loc atunci cand presiunea scade sub o valoare critica, reprezentata de presiunea de vaporizare.

Intr-un sens restrans al cuvantului, prin cavitatie se intelege procesul dinamic de formare si surpare a cavitatilor dintr-un curent de lichid, care contine vapori si gaze. In lichidele normale, aceste cavitati se formeaza atunci cand presiunea in anumite puncte se reduce pana la valoarea presiunii de vaporizare a lichidului. In aceste puncte sau zone, lichidul fierbe si se formeaza bule de vapori, care impreuna cu lichidul ajung in zona presiunilor ridicate, unde are loc surparea acestor cavitati. Condensarea bulelor de vapori in aceasta regiune provoaca socuri hidraulice locale sau suprapresiuni, in momentul in care, la sfarsitul condensarii, particulele inconjuratoare de lichid inainteaza spre centrul bulei, se ciocnesc si se opresc brusc. In acest loc energia cinetica se transforma in energie elastica de deformatie. In zonele in care se termina procesul de cavitatie, cresterea presiunii datorata socurilor hidraulice poate atinge valori de zeci, sute, sau mii de atmosfere, iar energia acestor socuri se propaga sub forma undelor de presiune care se manifesta in exterior prin vibratii puternice si zgomote caracteristice. In zona de vaporizare apare un mediu spumos, care printr-o conducta transparenta poate fi observat si cu ochiul liber.

Cavitatia poate fi stabila sau temporara. Diametrul unei cavitati stabile care poate intra in rezonanta pentru producerea fenomenului de cavitatie in apa, la trecerea undelor ultrasonice cu frecventa de 1 MHz, este de aproximativ $3,5 \mu\text{m}$. Intensitatea acustica necesara pentru aparitia cavitatiei in apă este de $\approx 30 \text{ mW/cm}^2$. Cand bula se dilata si se contracta, se formeaza microcurenti in care gradientii de viteza pot fi foarte mari.

Cavitatia temporara este mai violenta decat cea stabila. Cand o bula de gaz dintr-un mediu este supusa actiunii campului ultrasonic, cu o amplitudine de presiune mare, ea isi mareste raza de mai multe ori fata de valoarea initiala si apoi explodeaza violent. In etapele finale ale exploziei, energia cinetica este cedata unui volum extrem de mic si din acest motiv se produc presiuni si temperaturi mari.

La cavitatia temporara s-au estimat temperaturi de 3500 K si presiuni de 10^4 atm. In aceste conditii mediul are de suferit, cel putin datorita undelor mecanice de soc si a temperaturilor inalte. Cavitatia temporara apare mai ales atunci cand intensitatea depaseste o valoare de prag, dependenta de conditiile experimentale:

- pentru undele ultrasonice continue, cu cat frecventa ultrasunetelor este mai mare, cu atat va trebui sa fie mai mare intensitatea ultrasonica de prag pentru a produce cavitatia;
- cresterea presiunii ambiante duce la marirea intensitatii ultrasonice de prag pentru producerea cavitatiei;
- cresterea temperaturii micsoreaza intensitatea ultrasonica de prag;
- cresterea volumului lichidului expus ultrasunetelor micsoreaza intensitatea ultrasonica de prag.

Mecanismul de tensionare

In sisteme eterogene supuse actiunii unui camp ultrasonic apar tensiuni sau forte rezultante, clasificate astfel:

- forte oscilatorii, a caror medie in timp este egala cu zero si care produc o presiune asupra corpurilor cu densitate diferita fata de mediul inconjurator;
- forte de deplasare, care au media in timp diferita de zero si pot provoca deplasarea neomogenitatilor din mediu cu viteze diferite;
- forte datorate variatiei viscozitatii in timpul aplicarii ultrasunetelor.

Cele trei forte prezentate determina aparitia in campul ultrasonic a unor microcurenti, pusi in evidenta in apropierea bulelor de gaz care vibreaza.

Producerea ultrasunetelor

Undele ultrasonice se obtin prin metode mecanice, magnetostrictive si piezoelectrice. Corpul care vibreaza si genereaza unde ultrasonice este denumit sursa acustica sau sursa de ultrasunete.

La baza obtinerii ultrasunetelor se afla cel mai adesea **fenomenul piezoelectric**, efect descoperit in anul 1880 de catre Pierre si Jacques Curie. Aparitia polarizarii electrice la suprafata unui cristal atunci cand asupra lui se exercita o presiune mecanica sau o tractiune se numeste **efect piezoelectric direct**. Aplicarea unui camp electric pe suprafata unui cristal piezoelectric duce la contractia sau dilatarea acestuia si la emisia unor unde acustice. Acest fenomen se numeste **efect piezoelectric invers**.

Materialele piezoelectrice cele mai folosite sunt: titanatul de bariu, zirconatul de plumb (materiale piezoceramice) si fluorura de poliviniliden (material plastic). Cuarțul natural sau cel sintetic poseda de asemenea proprietati piezoelectrice, avantajele acestuia fiind rezistența mecanică și frecarea internă redusă. Materialele piezoceramice posedă o mai bună eficiență a conversiei energiei electrice în energie mecanică, sunt ieftine, se prelucrează ușor și necesită tensiuni scăzute.

Efectul magnetostrictiv consta in faptul ca unele materiale feromagnetice isi modifica dimensiunile la magnetizare. Atunci cand aceste materiale se afla intr-un camp magnetic variabil, ele incep sa oscileze, devenind surse de unde acustice.

In ambele cazuri de generare a ultrasunetelor, este necesar ca dimensiunile placutelor oscilante sa fie astfel alese incat frecventa lor proprie sa coincida cu frecventa de excitatie (frecventa campului electric, respectiv a campului magnetic). Deci generatoarele de ultrasunete lucreaza in regim de **rezonanta**.

Traductoarele de ultrasunete asigura conversia reciproca si succesiva a energiei electrice in energie mecanica. Elementul lor activ este constituit de cristalul piezoelectric. Acesta are forma unui disc si este acoperit pe ambele fete cu doua straturi metalice, bune conductoare de electricitate, pe care se aplica doi electrozi, cate unul pe fiecare suprafata. Aplicarea unei tensiuni electrice intre electrozi va provoca deformarea cristalului si consecutiv emisia de energie mecanica spre ambele suprafete. Straturile metalice au atat rolul de a transfera tensiunea electrica cristalului, cat si acela de a prelua impulsul electric creat la suprafata acestuia dupa actiunea ultrasunetelor reflectate in tesuturi. Acest impuls electric creat este condus apoi spre sistemul de amplificare al aparatului. Grosimea discului piezoelectric determina frecventa nominala.

Pe suprafata interioara dinspre mediul asupra caruia se actioneaza este dispusa uneori o **lentila acustica**, cu o grosime egala cu un sfert din lungimea de unda a frecventei de excitatie electrica. Lentila este denumita si **strat adaptiv de sfert de lungime de unda**, rolul său fiind acela de focalizare și de a face ca fiecare impuls electric să îl întărească pe celălalt, mărind astfel randamentul traductorului. În fața lentilei este plasat un strat izolator cu impedanță asemănătoare cu cea a corpului. În spatele discului piezoelectric este introdus un strat de material ce absoarbe US emise apoi și pentru a amortiza vibrațiile care nu au frecvența dorită. Tot acest ansamblu este înconjurat de un strat izolator acustic și este introdus într-o husă de material plastic cu care operatorul vine în contact în timpul examinării. Fața posterioară a materialului piezoelectric este căptușită cu un material atenuator, având rolul de a reduce capacitatea de rezonanță sonoră.

Fasciculul de ultrasunete. Materialul piezoelectric nu emite o singura unda ultrasonica, ci un fascicul care porneste de pe toata suprafata materialului. Intr-o prima portiune, de cativa cm, acest fascicul este ingust si are forma cilindrica, undele din componenta avand practic o dispunere paralela. Aceasta **zona apropiata** poarta denumirea de **zona Fresnel**. Urmeaza o alta portiune, numita **zona indepartata** sau **zona Fraunhofer**, in care undele devin divergente, iar fasciculul are forma de trunchi de con. Lungimea zonei Fresnel si divergenta zonei Fraunhofer depind de dimensiunile discului piezoelectric, dar si de frecventa ultrasunetelor produse de acesta. Cresterea frecventei ultrasunetelor sau a diametrului discului piezoelectric determina marirea zonei Fresnel si micșorarea unghiului de divergenta.

Aplicatiile ultrasunetelor in procese tehnologice

Ultrasunetele sunt utilizabile in toate etapele unui proces tehnologic, de la conditionarea materiei prime pana la controlul procesului.

Exemple de **operatii tehnologice** efectuate sub actiunea ultrasunetelor:

- **dispersarea**, procesul fizic de raspandire a particulelor unei substante printre cele ale altei substante;
- **curatirea**, bazata pe fenomenul de cavitate. Curatirea cu ultrasunete este mult utilizata datorita calitatii operatiei efectuate, a timpului scurt de lucru, a diversitatii materialelor ce pot fi supuse acestei operatii;
- **sedimentarea**, bazata pe aglomerarea particulelor fine, solide sau lichide, in zona nodurilor unui camp stationar produs de propagarea ultrasunetelor;
- **filtrarea**, operatia de separare a unei substante solide dintr-un lichid;
- **emulsionarea**, bazata pe dispersarea particulelor unui lichid in altul in care este miscibil, sau a unei substante solide intr-un lichid in care nu se dizolva;
- **extractia**, operatia de separare a unei sau a mai multor substante dintr-un amestec;
- **stimularea** unor reactii chimice (ex. cele de polimerizare);
- **uscarea**, procesul de eliminare a apei dintr-un material;
- **crystalizarea**, bazata pe diferenta de solubilitate a componentelor unui amestec;
- **sterilizarea**, bazata pe actiunea distructiva a ultrasunetelor asupra microorganismelor (ex. in industria alimentara); etc.