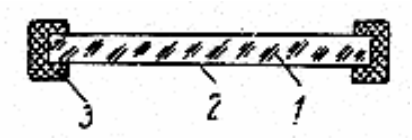
3. AZ ULTRAHANG ELŐÁLLÍTÁSA

Az ultrahangot rezgéskeltőkkel állítjuk elő. Ezek közül legáltalánosabb berendezésekként az elektromechanikus (elektromágneses, elektrodinamikus, magnetosztrikciós, piezoelektromos), aerodinamikus, hidrodinamikus és mechanikus átalakítókat ismerjük. Legelterjedtebbek az elektromechanikus átalakítók. Ezek fő részei a generátor, amely a szükséges frekvenciájú váltakozó elektromos áramot termeli, illetve a sugárzó-, amely a generátortól kapott elektromos energiát mechanikai rezgéssé alakítja át, és azt a vele érintkező közegnek átadja. Az ólom (P)- cirkonát (Z)- titanát (T) (PZT) sugárzók a nagyteljesítményű sugárzókban a legelterjedtebb mesterséges piezoelektrikumok. A piezoelektromos sugárzó piezoelektromos tulajdonságú elemből (1), elektródából, vagyis vákuumgőzöléssel felvitt fém fegyverzetekből (2), és tartókból (3) áll (27. ábra).

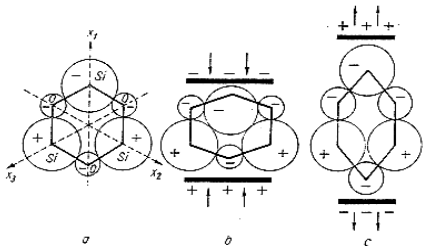


27. Ábra: Egytagú piezoelektromos sugárzó oldalnézete

Működésük a piezoelektromos jelenségen alapul, frekvenciatartományuk a geometriájuk alapján a teljes ultrahang tartományt felöleli. Jacques és Pierre Curie 1880-ban felfedezték, hogy bizonyos anyagok poláris tengelyű egykristályai tengely irányban összenyomva elektrosztatikusan feltöltődnek, mivel az egymással szemben lévő kristályfelületek töltése eltérő előjelű. 1881-ben Hankel nevezte el ezt a jelenséget piezoelektromosságnak a szervetlen anyagokra. Ha piezoelektromos tulajdonságú anyagok felületére váltakozó feszültséget vezetünk, akkor mechanikai rezgésbe jönnek, amit negatív

piezoelektromos hatásnak nevezünk. Fordított esetben pozitív piezoelektromos hatásról van szó, ha a piezoelektromos tulajdonságú anyag a felületére adott mechanikai erőre elektromos feszültség ébredéssel reagál (28. ábra). A jelenség fizikai magyarázata, hogy például a kvarc Si- és O-atomjai egy szabályos hatszög csúcsaiban helyezkednek el. Ha a rendszert úgy nyomjuk össze, hogy két szemközti sarkon elhelyezkedő Si- és O-atom közelebb kerül egymáshoz, az előbbi helyen az O-atomok negatív töltése, az utóbbi helyen a Si-atomok pozitív töltése jelentkezik.

28. Ábra: A piezoelektromos kristályrács (a) és a pozitív (b), valamint a negatív (c) piezoelektromos hatás sémája.



A mesterséges piezoelektrikumok piezoelektromos tulajdonsága akár több, mint 50-szer nagyobb, mint a természetes kvarcé, de a hőmérséklet növekedésével a piezoelektromos tulajdonságuk csökken, majd a Curie-ponton depolarizálódnak. A mesterséges piezoelektrikumokból (PZT, Bárium-titanát) bármilyen alakú sugárzó kialakítható. Ilyen mesterséges piezoelektrikumok találhatóak az általunk alkalmazott speciálisan tervezett Langevin és „szendvics” transzdúcerekben illetve az ultrahangos fürdőkben, valamint az élet bármely területén, így például a titntasugaras nyomtatóktól az öngyújtókig.

A hagyományos PZT piezoelemek az anyagi specifikációjuk szerint, a PZT jelölés utáni számozásból azonosíthatóak. Általában ipari és laboratóriumi céllal a PZT4 kerámiákat építjük be és alkalmazzuk az aktív ultrahang

előállítására. A felhasználási céltól függően legalább 1-8-ig változik a számozás, illetve az egyes anyagok módosulatainak megfelelően a számozás után még további betűjelzések is találhatóak (PZT4D). A számozások más piezoelektromos konstanst, dielektromos állandót, elektromos tulajdonságokat, pl. impedanciát, konverziós faktort, stb. takarnak.

A piezoelektromos elemeket a frekvenciájuknak megfelelő geometriával gyártják. Kialakításuk szerint legnépszerűbbek a kör és négyszögletes lapok, de gyakran találkozni a gyűrű, cső, félgömb, gömb, és egészen speciális kialakítású felületekkel is.

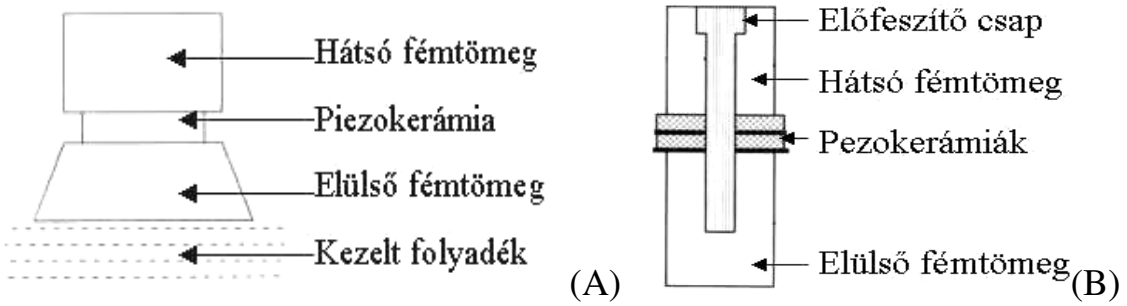
3.1. AZ ULTRAHANGTÉR MODELLEZÉSE

Ma természetesen az adott célnak megfelelő transzdúcerek és a rezgőtestek tervezésére és az ultrahangtér modellezésre speciális akusztikai szoftverek állnak már rendelkezésre. Ilyen modellező és szimulátor szoftverek az ATILA, a WAVE2000, a WAVE2000Pro, az RFBEAM, a K-SPACE, a MATLAB program „SIMULINK” toolboxa alatt futó ULTRASIM, stb. Általában ezek véges elemes programok, melyekben beállítható a sugárzó, a transzdúcer geometriája, anyagi, elektromos paraméterei, a hullámmód, a frekvencia, a hangtér összes paramétere és ebből a megadott számú pontban kalkulálják a hullámok terjedését, az elmozdulást, az akusztikai nyomás amplitúdót, stb. Vannak közöttük programozható és menüvezérelt szoftverek is, de a legtöbb a hibrid megoldást támogatja, vagyis előre programozott anyagtulajdonságokat és akusztikai függvényeket tartalmaznak, melyeket ki lehet egészíteni, vagy át lehet írni (ULTRASIM, WAVE2000).

3.2. AZ AKTÍV ULTRAHANGBERENDEZÉSEK ÁLTALÁNOS FELÉPÍTÉSE

A modern ultrahang-berendezések aktív elemei tehát legtöbbször ólom – cirkonát – titanát (PZT) kerámiák. Természetesen rendeltetésüknél fogva ezeknek eltérő a rezonancia és működési frekvenciája, a teljesítménye és a kialakítása. Általánosságban elmondható, hogy ahol magas felületegységre eső teljesítményre (nagy amplitúdók, nagy terhelések) van szükség, ott az elektronikai erősítésen kívül mechanikai erősítést is igénybe veszünk (17. ábra).

A múlt század közepétől ismertek az úgynevezett szendvics, vagy Langevin transzdúcerek (29. ábra). Ezek lényege, hogy az általában párosával alkalmazott piezokerámiák a tranaszdúcer (rezonátor) középső részén találhatóak és a kerámiák előtt és mögött, a funkciónak megfelelően tervezett kialakítású, méretű és anyagú fém elemeket tartalmaznak, melyeket igen nagymértékben ráfeszítenek ezekre a kerámiákra, azaz előfeszítenek egy csap segítségével. Az előfeszítés által a transzdúcereknek csökken az elektromos impedanciájuk és a rezonanciafrekvenciájuk.



29. Ábra: Konvencionális transzdúcer sémák (A, Langevin, B, szendvics-típusú)

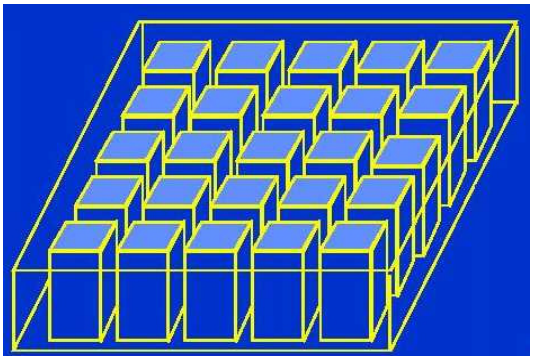
A Langevin sugárzókat legtöbbször nagy ultrahang teljesítményt igénylő zsírtalanításra, fémtisztításra, nagyteljesítményű tisztító- és pácoló kádak meghajtására a mai napig is sikeresen alkalmazzák. Ezeket a berendezéseket gyártjuk mi is leggyakrabban, kádszerű és bármilyen speciális igénynek megfelelő kivitelben.

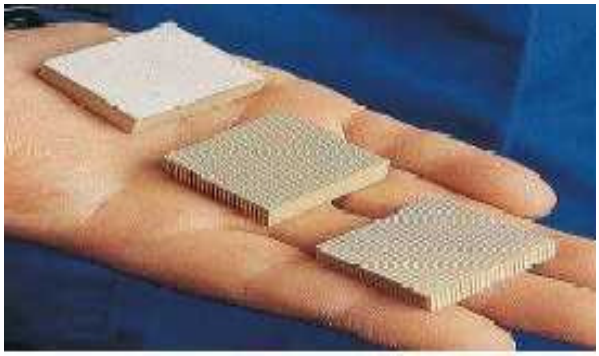
3.3. NAPJAINK INNOVATÍV REZGÉSKELTŐI

1972-ben fedezték fel, hogy néhány polimer piezoelektromos tulajdonsággal rendelkezik. Napjaink legújabb rezgéskeltői a PVDF anyagok, amik bármilyen felületre felvihetőek, mintegy paszta-, vagy fóliaszerűen és ott rezgéseket indukálhatunk velük. A PVDF anyagok Poli(vinilidén-fluorid) és Poli(vinil-fluorid) ($-CH_2-CF_2-$) lineáris szerkezetű szemikristályos anyagok (polimerek), melyek 200°C körül megmunkálhatók. A PVDF fóliák vastagsága néhány tized (0,2-0,3) milliméter általában és főleg az érzékeléstechnikában alkalmazzák tapintás és hőérzékelési szenzorként, mivel az érzékenysége az emberi bőrhöz hasonló. UV sugárzásnak, ionizáló gammasugárzásnak kiválóan ellenállnak és szerves oldószerekben jól oldódnak a PVDF anyagok, emiatt könnyen felhordhatók a felületekre. A PVDF anyagok alkalmazási területe lehet például a technikai berendezések burkolata, napcellák borítója, atomerőművekben alkalmazott alkatrészek csomagolóanyaga, élelmiszeripari bevonó burkoló anyagok, kábelszigetelők, ultra és mikro-szűrők, szenzorok, illetve extrém esetben a csontok felületi borítása, stb.

Megjelentek a piacon az úgynevezett kompozit transzdúcerek, melyek sok egymás mellé helyezett apró, polimerbe ágyazott PZT elemből állnak. Mindkét új típusú anyag és elrendezés (PVDF, kompozit) egyelőre leginkább csak a passzív ultrahangos érzékeléstechnológiákban (szenzorok) alkalmazott. Azonban várható, hogy egyes alkalmazásokra (a kompozitok, melyek régi-új eljárásnak számítanak, mivel az 1900-as évek első felében már voltak erre próbálkozások, csak az automatizálhatóság alacsonyabb foka miatt „elfelejtődtek”) az ultrahangtechnikában az új típusú anyagok betörnek az aktív felhasználásokhoz is.

A kompozitról érdemes annyit megemlíteni, hogy a sok egymás mellé helyezett külön-külön szabályozható piezoelem egy egységes sugárzófelületként fogható fel (30. ábra).





30. Ábra: Kompozit kerámia

Emiatt a mindenki által jól ismert sugárzás közbeni interferenciajelenségek (2.1.3. fejezet, 5. ábra), abból is a térbeli gyengítések a kompozitokkal kiküszöbölhetőekké válnak, illetve járulékos fizikai elemek, mint például erősítő oszlopok, vagy parabolakoncentráló elemek, stb. nélkül megoldható velük a hangsugár egy pontban történő egyesítése és irányítása is. A kompozit kerámiákban a piezoelemek közé tehát polimer anyagokat (műanyagokat) töltenek, melyek elektronikailag szigetelik egymástól az egyes elemeket.

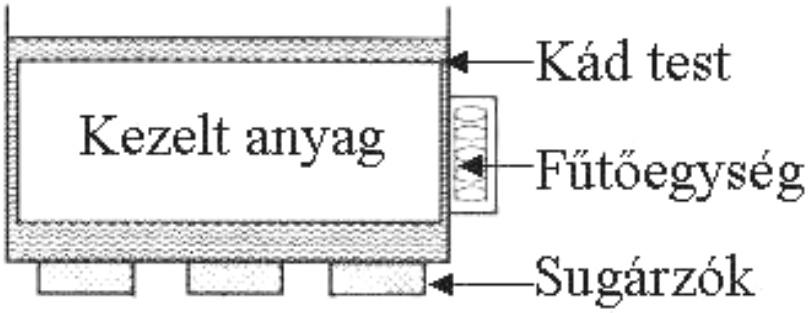
Ma már egyes világcégek jelentkeztek az úgynevezett „poreless" pórusmentes PZT kerámiákkal, melyeknek általában a legtöbb előzőekben említett tulajdonsága 30-50%-al jobb, mint a hagyományos PZT kerámiáké. Természetesen áruk egyelőre a hatásfok-növekményük többszöröse, azonban ennek ellenére bizonyos speciális alkalmazásokra, pl. szonártechnikában, - ahol így is a tervezési és kivitelezési költségek töredéke az aktív elem ára – szívesen alkalmazzák.

3.4. SEJTRONCSOLÓK

Konkrétumra fordítva az eddigieket, nézzük meg milyen fő elemekből állnak az ultrahangrendszerek! A laboratóriumi sejtroncsoló berendezéseink általában frekvenciagenerátorból, elektromos erősítőből, összekötő kábelből, szendvics típusú transzdúcerből, mechanikai erősítőből és titán hegyből állnak (16. ábra). A mechanikai erősítő feladata, hogy az elektromos erősítő által a piezoelemekhez juttatott intenzitás hatására a transzdúcerben kialakuló amplitúdót, azaz az egy kontrakcióra, vagy depresszióra jutó utat tovább növelje, tehát egyre nagyobb felületegységre jutó intenzitások alakuljanak ki általa. Persze ennek ára van, mégpedig az, hogy egyre kisebb aktív felülettel fogunk rendelkezni, az egyre nagyobb amplitúdók mellett. Ebből a célból három legnépszerűbb mechanikai erősítő rúd terjedt el. Az egyik a „stepped horn" vagyis a lépcsőzetes, a másik az exponenciális, a harmadik a trapéz alakú, vagy egyenes erősítő rúd (17. ábra). Mindhárom kialakítás különböző fizikai alapokon nyugszik. Azonban elmondható, hogy határa van bármelyikkel való erősítésnek, illetve az anyagban kialakuló hullámhosszt, rezonanciafrekvenciát, multiplikációs faktort, valamint a közegek közötti akusztikai keménység eltérést mindenképpen figyelembe kell venni a tervezésnél, de még a felhasználásnál is!

3.4.1. NAGY TELJESÍTMÉNYŰ ULTRAHANGRENDSZEREK HAZAI GYÁRTÁSA

Az ultrahangos gáztalanító és tisztító berendezések frekvenciagenerátorból, erősítőből, tisztítókádból, illetve piezoelemekből állnak (31. ábra).



31. Ábra: Az ultrahangos tisztítókád általános sémája

Az ultrahangos kádak, jellegüknél fogva az előző berendezéseknél sokkal igénytelenebbek, egyszerűbbek, azonban néha a speciális igényeknek megfelelő tervezés kapcsán, hosszútávon sokkal hatékonyabbak, megbízhatóbbak, mint a bonyolult kialakítású erősítő rudakkal felszerelt laboratóriumi sejtroncsoló társaik. A fűtésre általában például a zsírtalanításhoz azért van egyrészt szükség, hogy a speciális oldószerek könnyebben ki tudják fejteni hatásukat, másrészt, hogy könnyen emulgeálódjon a zsír. A tisztítás úgy történik, hogy a feltapadt zsírt a fémfelületen a kavitációs buborékok megkezdik, majd hozzáférést engednek az oldószereknek, ezután a zsírokat emulzióban tartják, megóvva a fémet a zsír visszatapadásától.

3.5. ULTRAHANGRENDSZEREK BESZERZÉSÉVEL KAPCSOLATOS KÖVETKEZTETÉSEK

Természetesen a szériaberendezéseket a saját szintjükön kell kezelnünk. Azt értem ezalatt, hogy egy katalógusból a céljainkhoz leginkább társítható berendezés kiválasztására van „csak” módunk, azonban a számunkra 100%-ban szükséges kiválasztására gyakorta (szinte soha) nincs. Persze könnyű magyarázat erre, hogy nem lehet mindenki kedvéért más berendezést tervezni és gyártani, vagy hogyha mégis ez az igény, akkor a tisztelt vásárló jobb, ha mélyen a zsebébe nyúl. Örömmel jelenthetem, hogy ez nálunk nem így működik! Mivel nem túlságosan nagy hazánkban az aktív ultrahang piac, ezért nem jelent problémát számunkra az egyéni igények kielégítése sem, illetve ez legtöbbször nem költségnövelő tényező. Például, ha kizárólag gáztalanításról van szó, természetesen elegendő egy kis teljesítményű laboratóriumi fűtetlen ultrahangkád, amely szinte minden laboreszköz kereskedelmi cég kínálatában szerepel.

Ha viszont komolyabb feladatra, például fémek tisztítását, emulgeálást, zsírtalanítást szeretnénk végezni, célszerű magasabb felületegységre eső teljesítményű ipari fűthető berendezést vásárolni, speciális kavitátor tisztítószerekkel együtt. Azonban a nagyobb teljesítményű berendezések esetén már érdemes elgondolkodni a kommersz ipari berendezések helyett a célokhoz leginkább alkalmazható eszközök gyártatásáról.

Véleményünk szerint, a kommersz és a célra tervezett „ipari" ultrahang berendezések alkalmazásának határa hazánkban a nagykonyhai, preparatív laboratóriumi, vagy a kisüzemi méret, amelytől felfelé jelentős pénzügyi megtakarításokat eredményezhet a specifikus alkalmazáshoz igazított tervezés és kivitelezés. Sok esetben fordulnak elő hatékonyságbeli problémák, a célokhoz képest alul- vagy túlméretezett kommersz berendezések következtében, melyek nem csak pénzügyileg, de a kezelt anyagra nézve minőségileg is igen károsak.

Emiatt azt tanácsolom, hogy főleg komolyabb berendezések vásárlásánál érdemes specialista véleményét kikérni. Amennyiben speciális méretű, kialakítású vagy teljesítményű ipari és laboratóriumi ultrahangos gépek, berendezések beszerzéséről, kialakításáról van szó, akkor ma már érdemes velünk, a hazai ultrahang berendezésgyártókkal konzultálni és együttműködni, mivel a világpiacon található ipari széria berendezéseknél, a céljainknak sokkal megfelelőbb, ugyanolyan megbízható, garanciális, jóval kedvezőbb árfekvésű berendezések gyárthatóak már itthon is.