

# **AZ AKUSZTIKUS EMISSZIÓ mint szilárdtestfizikai jelenség és mint roncsolásmentes anyagvizsgálati módszer<sup>1</sup>**

**SZÚCS Pál**  
**okl. fizikus**  
**anyagtudományi szakfizikus**

Az akusztikus emisszió is az emberiség természetes élményei közé tartozik. Hiszen mindenki ismeri a túlterhelt faág recsegését, a megfeszített szövet szakadásának hangját, a csont vagy a kőzetek pattogását. E jelenségek közös forrásai a szilárdtestben tárolt energia felszabadulása közben keletkező rugalmas hullámok. A felszabaduló energia rugalmas hullámokká való átalakulását nevezzük akusztikus emissziónak.

## **I. AZ AKUSZTIKUS EMISSZIÓ TÖRTÉNETE**

Az Enciklopedia Britannica szerint az első alkalmazott akusztikus emissziós vizsgálat kr. előtt 6500-ben történhetett, amikor a kézműves kiégetett cserépedények minőségét úgy ellenőrizte, hogy figyelte hűlés közben, hallható-e a repedés jellegzetes hangja a kemencéből.

A fémkohászatban az első megfigyelt, hallható akusztikus emisszió az ún. ónzörej volt. Az ón +13,2 °C és +161 °C között létező tetragonális változata, a fehér ón a képlékeny deformáció hatására létrejövő ikresedés során hallható hangokat bocsájt ki. Az ón kohászata a bronzkorban kezdődött, és az első datált, alakított ón- tárgy kr. előtt 2550-ben készült. Az ónzörej első leírását a nyolcadik században Jabir ibn Hayyan (ismert Geber néven is) aranycsináló adta. Művét latinul 1545-ben Bernben, angolul 1678-ben (The Sum of Perfect Magistery) nyomtatták ki. Már ő is megemlíti, hogy Mars (az acél) sokat beszél kovácsolás közben. Valószínűleg a martenzites átalakulás hangjára utal.

Az alkimisták korát követően megfigyelték a kadmium és a cink hallható emisszióját is. Az 1800-as években ismét olvashatunk a kadmium és az ón hangjáról, amit alakítás közben hallatnak. A jelenséget akkor már a kristályok egymáshoz dörzsölődésével magyarázzák.

A tizenkilencedik-huszedik század fordulóján, a fémfizika meg születésekor a kémiai módszereket felváltja a fémkohászat. Első nagy sikerei közé tartozik az ikresedés és az g→a (martenzites) fázisátalakulás magyarázata. A két modell-fém az ón és a cink volt. 1916-ban J. Csohralszkij kapcsolatot talált az ón és cink-zörej valamint az ikresedés között.

1923-ban A. M. Pertevin és F. Le Chatelier Al-Cu-Mg ötvözetek nyújtásakor a Lüders vonalak megjelenésével párhuzamosan "rövid éles hangokat" hallott. 1924-ben P. Ehrenfest és A. Joffé hegyikristály és cink egykristály nyírásakor kattogó hangokat észlelt.

---

<sup>1</sup> Elhangzott 1993. november 3-án a Veszprémi Egyetem szervezésében tartott "Tribológiai Szakmérnök" képzés keretében.

1925-ben R. J. Anderson leírta, hogy alumínium ötvözet csavaró vizsgálatokor a folyáshatár és a törés között Lüders vonalak jelennek meg hallható kattánások vagy hangok kíséretében.

1929-ben M. V. Classen-Neklodowa kőso, egykristályos és polikristályos sárgaréz, valamint polikristályos alumínium alakváltozását  $10^4$ -szeres nagyításban tanulmányozta, megfigyelve a recsegéseket. Ugyancsak 1929-ben E. Scheil tapasztalta, hogy az acél martenzites átalakulásakor tisztán hallható, a jól ismert ón-zörejhez hasonló hangok észlelhetők.

1935. és 1937. között P. W. Bridgman észlelte, hogy néhány fém és sok nemfém különböző hangokat bocsájt ki. A recsegést produkáló fémek: vanádium, titán, stroncium, cézium, arzén és ozmium.

1947-ben C. S. Barret leírta, hogy a lapcentrált köbös lítium fázisátalakulása, az ón és a magnézium ikresedése és a martenzit kialakulása hallható kattogással jár.

A hallható ón-zörejektől az akusztikus emisszió tudatos tanulmányozásáig három önálló és független mérés vezetett el.

1936-ban Németországban F. Förster és E. Scheil 29 % nikkelt tartalmazó acélban a martenzites átalakulás hangjait észlelte, felerősítette és rögzítette.

A második műszeres akusztikus emissziós megfigyelést 1948-ban az Egyesült Államokban W. P. Mason, H. J. McSkimin és W. Shockley végezte. Shockley javaslatára tiszta ónban a diszlokáció mozgás kiváltotta hullámokat vizsgálták. Készülékük alkalmas volt  $10^{-6}$  másodperc alatt lezajló  $10^{-7}$  mm-es elmozdulás (felületi hullám) észlelésére.

A harmadik műszerezett mérést 1950-ben Angliában D. J. Millard végezte kadmium egykristály-tűk csavarása közben.

Az eddig ismertetett megfigyeléseknek nem az akusztikus emisszió tanulmányozása volt az elsődleges célja. A napjainkban használt akusztikus emissziós technika szülőapja Joseph Kaiser volt, aki a Müncheneri Műszaki Főiskolán dolgozott. 1950-ben publikált [1] doktori disszertációjában adja az akusztikus emisszió első alapos vizsgálatát. Kaiser szokásos technikai anyagok szakítóvizsgálatát végezte, miközben megfigyelte:

- milyen hangok keletkeznek az anyagban,
- mikor keletkezik az akusztikus emisszió,
- milyen frekvencia tartományban történik az emisszió,
- a szakító diagram és a megfigyelt frekvencia közti kapcsolatot.

A legnevesebb felfedezése a róla elnevezett Kaiser-effektus (1.ábra). Megkülönböztette a folyamatos és a kitöréses emissziót. Feltételezte, hogy a hangkibocsájtás a kristallitok egymáson való dörzsöléséből ered. Megfigyelt szemcse- határmenti törés okozta zajokat is.

Az akusztikus emissziós kutatásokat Kaiser munkatársai terjesztik el Európában és Észak-Amerikában. Az érdeklődés középpontjába a módszer 1956-58-ban kerül ismét. Elsősorban C. A. Tatro laboratóriumi kutatásai, és tartályokon végzett integritás vizsgálatai eredményeként.

A repülőgép iparban 1961-ben végzik az első akusztikus emissziós méréseket. Jelenleg az amerikai légierő gépein mintegy 24 ezer a.e. érzékelő vigyázza a repülőgép szárnyak bekötéseit. A Boeing Scientific Research Laboratory repedés

terjedés és szivárgás (üzemanyagtartály és cső, valamint a hidraulikák) kimutatására fejlesztett ki készülékeket és módszereket.

Az atomiparban 1965-ben jelent meg az akusztikus emisszió. Elsősorban a primerkör integritás és szivárgás vizsgálatára használják. 1967-ben a "Rocky Flats Plant" erőműben alkalmazták első ízben az akusztikus emissziót, mint roncsolásmentes anyagvizsgáló eljárást.

Az akusztikus emissziót, mint roncsolásmentes anyagvizsgáló módszert számtalan területen alkalmazzák. Ezekről részletes áttekintést ad [2]. Napjainkban havonta 500-nál több publikáció jelenik meg, amelyek valamilyen kapcsolatban vannak az akusztikus emisszióval. A témakörnek saját folyóirata is van: "Journal of Acoustic Emission". A téma szabványairól, szakkifejezéseiről bővebben [4] a 3. fejezetben található.

Az Akusztikus emisszió magyarországi születése 1974-re tehető, amikor az ERBE (Kristyák Ernő) inspirálására a KFKI-ban (Péter Attila és Pellionisz Péter) amerikából vásárolt piezoelektromos érzékelőkhöz előerősítőt és egycsatornás jelfeldolgozó egységet építettek. Az első mérések hangterjedési sebesség és csillapodás mérések voltak, illetve az igen tág határok között jelentkező ( $10^{-1}$ - $10^{-6}$  Hz) hullámcsomag leírását szolgáló paraméterek definiálására, mérésére koncentráltak.

1976-ban a VASKUT (Fehérvári Attila és dr. Rittinger János) is bekapcsolódik a honosításba. A műszerfejlesztést továbbra is a KFKI végzi, a próbatest vizsgálatok (hárompontos hajlítás, szakítóvizsgálat) és az interpretálás a VASKUT-ban folyik.

Az igazi inspirációt az 1980-85. között a paksi atomerőmű építéséhez kapcsolódó A/11. számú "Az atomerőművek biztonságos üzemeltetését szolgáló KF feladatok" című OKKFT program 4. pontja "Szilárdsági ellenőrzések és ismétlődő vizsgálatok a berendezések állapotának és becsült élettartamának meghatározására" adta, amelynek keretében előbb egy négycsatornás laboratóriumi, majd egy 32 csatornás, autóbuszba telepített mozgó műszer született.

1984-ben létrejött a hordozható kivitelű 4 akusztikus és 1 analog (paraméter) csatornával rendelkező DEFECTOPHONE műszer, amit követett 1988-ban a 16+16 csatornás változat.

Jelenleg hazánkban akusztikus emissziós eszközöket gyárt az MTA Akusztikai Kutató Laboratórium, a DATAPLAN Rt., az ALD Kft és az MTA KFKI AEKI. Közel húsz készüléket forgalmaztak itthon.

Az alkalmazási területeket tekintve az évenkénti paksi reaktortartály integritás vizsgálatot az ERŐKAR és a KFKI közösen végzi (64 csatorna). Nyomástartó edények ellenőrzését az ERŐKAR Rt (16 csatorna) vagy az ENERGIAFELÜGYELET (4 csatorna) vállalja. A TVK Biztonságtechnikai Főosztálya 16 csatornás készülékével csak a gyárkapun belül vizsgál. A METALCONTROL 4 csatornás készülékével dolgozik. A Paksi Atomerőműben telepített (fix) szivárgásmérő rendszer (ALMOS) működik az I. és II. blokkon, valamint a primerkörben időszakosan üzemel 2 db 16 csatornás készülék.

Szálerősítésű műanyagok vizsgálata folyik az ÉTI-ben és a BME-n. Megmunkáló gépek szerszámainak a.e. felügyeletével (kopás, törés) foglalkoznak a BME-n. Az ITI-ben vékonyrétegek tapadását (karcolással) vizsgálják a.e. segítségével. A Mecseki Szénbányák és a Mecseki Ércbányák szeizmikus vizsgálatokra használnak

akusztikus emissziót. A többi műszertulajdonos sem a piacon sem a szakmai közéletben nem jelent meg.

Tudomásunk szerint jelenleg egyetlen MSZ EN 45001 szerint akusztikus emissziós integritás vizsgálatra akkreditált és MSZ EN 473 szerint vizsgázott személyzettel rendelkező laboratórium van hazánkban.

## II. AZ A.E. MINT SZILÁRDTESTFIZIKAI JELENSÉG

Az akusztikus emisszió jelenségét definiálhatjuk, mint a szilárdtestben tárolt energia felszabadulása közben keletkező rugalmas hullámcsomagot. A rugalmas hullámokat keltő akusztikus emissziós forrásokat általában négy csoportba sorolják:

- diszlokációs mozgások,
- fázisátalakulások,
- súrlódások, törések,
- repedés keletkezés és növekedés.

A források által szolgáltatott jelek jellemző intenzitása fémekben a következő:

Fizikai effektus	Intenzitás (dB)
diszlokációs változás	10- 20
zárvány elválás	30- 50
zárvány törés	50- 70
szemcsehatár repedés	60- 80
repedés terjedés	80-100
törés	100-120

Az akusztikus emissziós mérések során az észlelt jelek forrásának azonosítása (tehát a keltő mechanizmus tisztázása) nehéz, mivel az anyag belsejében keletkező hullámcsomag amplitúdója, fázisa és spektruma változik (szóródás, elhajlás, törés, visszaverődés, csillapodás). Az érzékelőhöz eljutó hullámot a piezoelektromos érzékelő - rezonanciája folytán - csillapított szinuszos hullámmá transzformálja, és ez az elektromos jelalak is torzul az erősítés, jelfeldolgozás során.

Az akusztikus emisszió forrásai több szempont szerint is csoportosíthatók. A fémfizikai szemlélethez legközelebb a kiváltó mechanizmus szerinti csoportosítás áll. Eszerint az akusztikus emisszióknak lehetnek mikroszkópikus és makroszkópikus forrásai. A mikroszkópikus források szerint az anyagszerkezeti kutatások végzői csoportosítanak:

- kristallit deformáció,
- szemcsehatár mozgás,
- diszlokáció keletkezés, vándorlás,
- alapmátrix és idegen fázis kölcsönhatása,
- fázisátalakulások,
- mikrotörések.

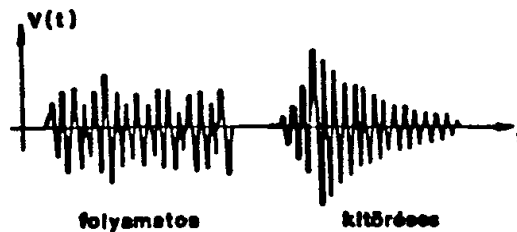
Akik az akusztikus emissziót roncsolásmentes anyagvizsgáló eljárásnak kívánják használni, a makroszkópikus források szerinti osztályozást részesítik előnyben:

- képlékeny zóna növekedés,
- repedés növekedés,
- törés,
- korrózió,
- feszültségkorrózió.

"Forrásként" kell kezelni néhány olyan jelenséget, amely ugyan nem akusztikus emisszió, de az általa produkált hangjelenség az akusztikus emissziós műszerekkel kezelhető:

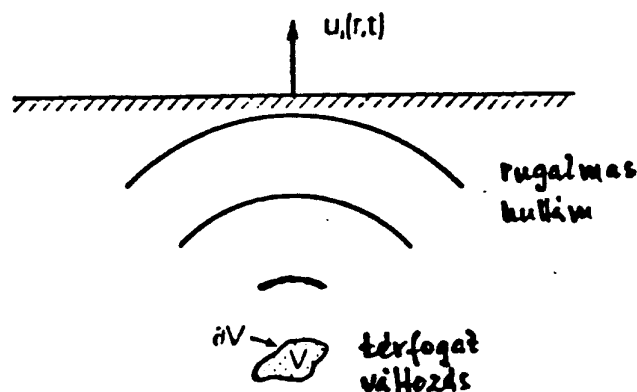
- súrlódás, dörzsölés,
- elektromos kisülés,
- szivárgás,
- elszabadult, lelazult tárgyak felütődése,
- turbulens áramlás.

Az emittált hullámok típusát illetően megkülönböztetünk folyamatos és kitöréses emissziót. A két jel az emisszió gyakoriságát illetően különbözik.



2. ábra Folyamatos és kitöréses A.E. jel

Azt az esemény sorozatot, amelynek eredményeként egy akusztikus emisszió létrejön, szemlélteti a 3. ábra. A feszültséggel terhelt tárgy  $dV$  térfogatában lejátszódó helyi feszültség átrendeződés hozza létre a rugalmas hullámokat. A felszabaduló energia átalakulásának mértéke és módja nehezen leírható. A gerjesztett hullámok végighaladnak a tárgy anyagában, mechanikai zavart okozva. A hullámcsomag a közeg inhomogenitásai, szerkezete (szemcsehatár, kiválások mérete és eloszlása) és a felületekről való visszaverődések során torzul, illetve csillapodik, amíg az érzékelőig eljut. A szabályos rács lokális hibái körül kialakuló feszültségtereket mind kontinuum, mind rugalmas-kristály modellen számolhatjuk. A kontinuum modell ellen szól, hogy abban csak hosszú-hullámú zavar értelmezhető.



### 3. ábra Az A.E. keletkezése

Az akusztikus emisszióra (fémekben) jellemző 100 kHz-1MHz frekvencia tartományú repedések egymáshoz rugókkal csatolt tömegpontokkal modellezett kristályban könnyen értelmezhetők, mivel a minimális  $l = 2a$  (ahol  $a$  a rácscella oldalszáma) hullámhossztól felfelé mindenféle hullám leírható.

Mi válthat ki egy rugalmas modellben rácsrezgéseket? A pontok mozgása kis perturbációt okoz a környezetében, irodalmi adat nincs arra, hogy mozgásukat ezzel a módszerrel sikerült volna észlelni.

A diszlokációk mozgása, még ideális kristályrácsban is, nagyobb perturbációt okoz. A nem blokkolt diszlokáció extra félsíkjának élénél a mozgás során a rácscellák át kell kötniük, a diszlokáció egy periódikus potenciálon "bukdácsol", és eközben rácsrezgéseket gerjeszt. A mozgó diszlokáció és a rácsrezgések közti csatolást nehéz számba venni.

A kialakuló fonon-gerjesztés terjedési sebességét a diszperziós reláció írja le:

$$\frac{\delta\omega}{\delta k} = V_{cs}$$

ahol  $\omega$  a fonongerjesztések frekvenciája,  $k$  a hullámszám. A csoportsebesség kifejezhető a Lamé-állandókkal is:

$$V_{cs} = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$

ahol  $\rho$  a közeg sűrűsége,  $\lambda = c_{12}$  és  $\mu = 0,5(c_{11} - c_{12})$ .

Sokkal intenzívebben gerjeszti a fononspektrumot az akadályról leszakadó diszlokáció. Akadály lehet a többi diszlokáció feszültségtere, idegen atom, második fázis, szemcsehatár. Az akadályokon megakadt diszlokációt az egyre növekvő külső feszültség végül letépi a diszlokációt rögzítő pontokról. Ilyenkor a diszlokáció közel hangsebességgel tud mozogni.

A diszlokáció sajátenergiája a helyzeti és mozgási energia összege (feltéve hogy  $v$  nem túl nagy  $c$ -hez képest):

$$E = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \approx E_0 + \frac{1}{2} \frac{E_0}{c^2} v^2$$

ahol  $c$  a hangsebesség és  $v$  a diszlokáció haladási sebessége. Mivel az  $E_0/c^2$  mennyiség tömeg jellegű, a sorfejtést követően látható, hogy ahogy nő a diszlokáció sebessége, úgy "nehezedik" el, és a hangsebesség határán leáll a mozgása.

Természetesen a diszlokáció mozgása, és így a rugalmas hullámok emittálása is csak a következő akadályig, legfeljebb a szemcsehatárig tart. Mérések szerint egykristályban az aktivizálódott csúszó síkok távolsága több mm (Lüders-vonalak). Az elcsúszás távolsága 0,1 - 1 mm. Egy elcsúszás legfeljebb 0,01 sec-ig tart.

Polikristályos minták alakváltozását csak az egykristályok alakváltozásának ismeretében érthetjük meg. Az egykristályban a képlékeny alakváltozás Burgers-vektornyi elcsúszások soroza-tának eredménye. Egykristály esetében az elcsúszás feltétele az, hogy egy adott csúszási rendszer egy csúszási síkjában a csúszási síkban ható külső feszültség elérje az adott csúszási rendszerre vonatkozó csúszási folyáshatárt,  $t_f$ -et. Ha egy egykristályt egytengelyű nyújtásnak tesszük ki, akkor az egyszeres csúszás feltétele:

$$\tau_f \leq \tau \cdot \cos \Theta \cdot \cos \lambda \equiv \tau \cdot m$$

ahol  $t$  a külső feszültség,  $Q$  a külső feszültség iránya és a csúszási sík normálisa által bezárt szög,  $l$  a csúszási irány és a külső erő iránya által bezárt szög. A két iránykoszinusz szorzata az ún. Schmid-faktor.

Polikristályos mintában a folyás feltételének meghatározásához a Schmid-faktort az összes lehetséges csúszási rendszerre átlagolni kell:

$$\tau_f \leq \overline{\tau \cdot m}$$

A polikristály képlékeny alakváltozásánál a szemcsehatárok mentén teljesülnie kell:

- a szomszédos szemcsékben működő feszültségek a szemcsehatárok mentén egyensúlyban legyenek,
- a határok mentén az anyag folytonos maradjon.

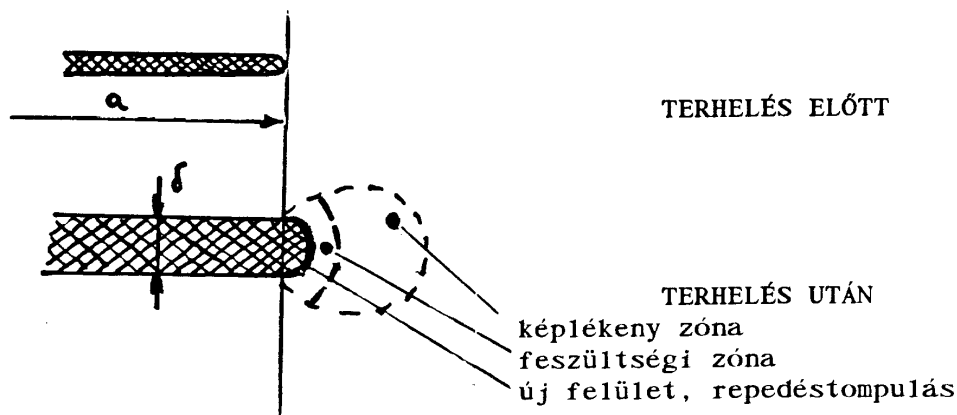
A polikristályos anyag terhelésekor az egyes szemcsékben más és más krisztallográfiai irány lesz kedvező helyzetben. Nyilvánvaló, hogy nem deformálódhat minden szemcse azonos mértékig. Legalább 5 csúszási sík rendszernek kell minden krisztallitban egyszerre aktivizálnia, hogy az egyensúly és a folytonosság feltétele fennálljon. A képlékeny alakváltozást vagy a Taylor, vagy a Sachs modell alapján szokás tárgyalni. Az adott polikristály deformáció olyan aktivizált csúszási rendszerek és feszültségállapot esetén jön létre, amikor a szükséges nyírások összege minimális, miközben a plasztikus munkavégzés maximális.

A diszlokáció mozgások és a képlékeny alakváltozás okozta rácsrezgések után nézzük át a mikrorepedések által gerjesztett fononspektrumokat.

A terhelt polikristályos szerkezet bár makroszkópiusan még nem érte el a folyáshatárt, de mikroméreteken, egyes krisztallitokon belül bekövetkezhet képlékeny alakváltozás, helyi deformáció. A képlékeny alakváltozást gerjesztő külső

feszültség hatására a diszlokációk felszaporodnak, a szemcséken belüli hibákon (oldott idegen atom, kiválás, más csúszósíkban mozgó diszlokáció feszültségtér) és a szemcsehatárokon torlódnak, leállítják a diszlokációkat termelő forrásokat, az anyag keményedik. Az összes folyáshatárt, szilárdságot növelő beavatkozás szemcsefinomítás, szilárdoldatos keményítés, diszperziós keményítés) a szemcsén belüli diszlokáció eloszlást egyenetlenné teszi, és az egyenetlen diszlokáció eloszlás kedvez a mikrorepedés kialakulásának.

A repedés megjelenésekor megszűnik a homogén feszültségtér. A repedés éles csúcsában "nagy" feszültség ébred. Ha képes az anyag alakváltozásra, akkor létrejön egy letompulás, egy feszültségi zóna és egy képlékeny zóna a repedés éle körül. A képlékeny zóna intenzív diszlokációs mechanizmus révén képes lesz az alakváltozásra.



4. ábra Repedés szétnyílás és a feszültségi valamint képlékeny zóna kialakulása

A makroszkópikus repedésnövekedés esetén a törésmechanika eszközeivel, a feszültségintenzitási tényező vagy a J-integrál felhasználásával szokás a repedés stabilitását vagy terjedésének feltételeit jellemezni. Amikor a külső erő hatására a repedés szétnyílik, akkor a repedés eredeti felületei  $d$  távolságra eltávolodnak egymástól, létrejön egy látszólagos repedés növekmény:

$$\Delta a_b = \frac{\delta}{2}$$

Ennek következtében a repedés eltompul. Ezt az eltompult repedés éle veszi körül a feszültségi (stretch) zóna, és azon kívül helyezkedik el a képlékeny (alakváltozó) zóna. Ez az egész együttes egy rugalmasan deformált kristályszerkezetbe van beágyazva. A terhelés növelésekor a repedést körülvevő rugalmasan alakváltozott tartomány, és azon belül a képlékenyen alakváltozott tartomány is nő. Látszólag a repedés csúcs körül kialakult képlékeny zóna maga előtt tolja, szinte felfújja a rugalmas tartományt. Ez történik mindaddig, amíg a feszültségi zónán belül meg nem

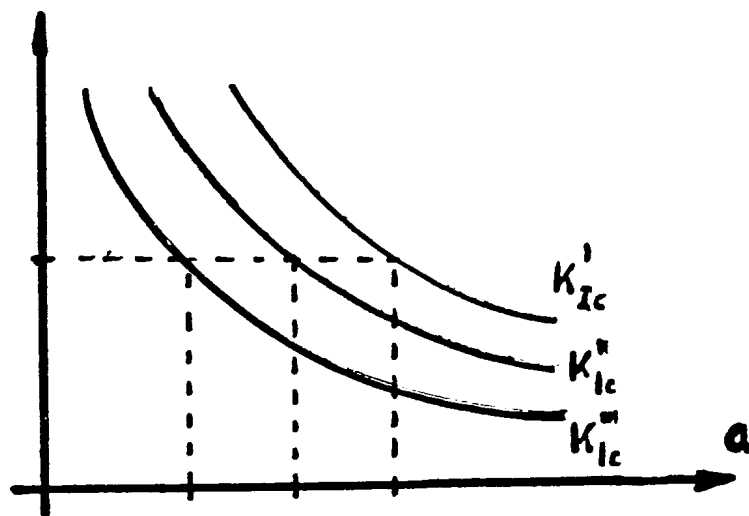


szűnik a kontinuitás, amíg a feszültségi zóna fel nem hasad, azaz amíg el nem indul a repedésterjedés.

Nézzük meg, miként jelentkezik mindez az akusztikus emisszióval monitorozott szakítóvizsgálat során. Az 5. ábra egy szénacél (A34X) próbatest szakítóvizsgálatát mutatja be. A vizsgálat három szakaszra bontható: **a rugalmas szakasz** a folyásig tart. Igen aktív akusztikus emissziós tevékenység jellemzi: 20-50 dB amplitúdójú események, 120 esemény/10 sec gyakoriság. Az **egyenletes nyúlás szakasza** a folyástól a befűződés kezdetéig (max. erő) tart. Az események amplitúdója (energiája) és mennyisége folyamatosan csökken. A végső, **kontrakciós szakasz** gyakorlatilag csendes, pedig 20-70 % alakváltozást szenved el a befűződés helyén az anyag. Az észlelt jelenség-sorozat jól magyarázható egy diszlokációs mechanizmussal: az anyag akkor emittál, amikor a diszlokációk leszakadnak a rögzítő pontokról. A folyás, a képlékeny alakváltozás szakasza néma.

A szerkezeti anyagok jelentős része a bemutatott példa szerint viselkedik. Az aktív rugalmas szakasz praktikus is, hiszen szerkezeteink nagy többségét ebben a tartományban használjuk.

Ha egy szerkezetben létezik egy repedés, akkor ennek a repedésnek a "nagyságát" az adott külső feszültség hatására körülötte kialakuló rugalmas kontúr jellemzi.



6. ábra A terhelés nagysága és a repedés mérete is lehet kritikus nagyságú

Ez a terhelés növelése során végigsöpör a rugalmas alakváltozás teljes térfogatán, ami magában foglalja a képlékeny alakváltozó térfogatot. Ha egy anyag akusztikus aktivitását (b) ismerjük, akkor a

$$\sum E = \beta \cdot V$$

összefüggés alapján a mért akusztikus eseményszámból becsülni lehet a képlékenyen alakváltozó zóna  $V$  térfogatát.

Ne feledjük, ehhez a becsléshez ismerni kell az adott anyag adott állapotában a b akusztikus aktivitást - amit laboratóriumi próbatest mérésekből nyerhetünk -, és a SE érték is erősen függ az A.E. mérés körülményeitől (pl.: a threshold értéke, a holtidő nagysága...).

### III. AZ A.E. MINT RONCSOLÁSMENTES INTEGRITÁS VIZSGÁLAT

Az 1960-as években új roncsolásmentes anyagvizsgálati technika született, amikor bebizonyosodott, hogy az akusztikus emisszió jelensége alkalmas anyaghibák, repedésnövekedés kimutatására. Az akusztikus emisszió gyorsan felnőtt a "hagyományos" roncsolásmentes vizsgálatok mellé, bizonyítva hatékonyságát a szerkezetek integritás vizsgálatában, szivárgások felderítésében, kezdődő meghibásodások észlelésében.

Ha az akusztikus emissziót makroszkópikus anyaghibák behatárolására kívánom használni, nem szükséges ismerni a hullámok keletkezésének és terjedésének mechanizmusát. Elég ha annyit tudunk, hogy lokális alakváltozás, nemfemes zárvány törése, súrlódó felületek (hidegkötés, inaktív repedés) környezetében keletkeznek általában a rugalmas hullámok.

Az akusztikus emisszió két lényeges szempontból különbözik a hagyományos roncsolásmentes anyagvizsgáló eljárásoktól:

- a megfigyelt és analizált jel magából a vizsgált anyagól származik,
- az A.E. vizsgálat dinamikus ellenőrzés, amelyik a szerkezetet károsító, aktív, működő mechanizmusokhoz kapcsolódik.

Az akusztikus emisszió fő forrásai azok az anyaghibák, amelyek a terhelés hatására növekednek. Az akusztikus emisszióval tehát meg tudjuk különböztetni az adott igénybevételi szinten aktív, illetve passzív anyaghibákat. Bár a radioráfia, ultrahang, örvényáramos vizsgálat többnyire meg tudja adni az anyaghibák elhelyezkedését és méretét, de nem szolgáltat közvetlen információt azok veszélyességéről, mivel statikus vizsgálat, és a pillanatnyi állapot "lenyomatát" adja.

Az akusztikus emissziós vizsgálat az alábbi előnyökkel rendelkezik a hagyományos roncsolásmentes vizsgáló eljárásokkal szemben:

- Az akusztikus emissziós vizsgálat olyan dinamikus eljárás, amely - többnyire ismert - terhelés hatására vizsgálja a szerkezet vagy/és a benne rejlő anyaghibák válaszát. Csak az adott terhelés-szinten aktív hibák bocsájtanak ki akusztikus jelet.
- Az akusztikus emisszió egyetlen mérés során az egész szerkezetben fellelhető, aktív hibákat képes érzékelni és minősíteni.
- Az akusztikus emisszió fel tudja deríteni a hagyományos módszerek számára hozzáférhetetlen helyen lévő hibákat is.

- Az akusztikus emisszióval nyomástartó edényeket, csővezetékeket üzem közben lehet ellenőrizni, újraminősíteni leállás nélkül vagy igen rövid leállás árán.
- Az akusztikus emissziós módszer felhasználható ismeretlen (felderítetlen) hibákat tartalmazó berendezés tönkremenetelének megakadályozására a hiba időben történő felismerésére.
- Az akusztikus emissziós vizsgálat lehetőséget ad a szerkezet állapotának egyidejű értékelésére, szükség szerint
- .
- Az akusztikus emisszió olcsó, gyors előzetes szűrővizsgálat: csak akkor kell a költséges, bonyolult hagyományos vizsgálat, ha az a.e. hibát jelez.

A hagyományos roncsolásmentes anyagvizsgáló eljárások - röntgen vagy izotóp durvaszerkezet vizsgálat, ultrahang vizsgálat, örvényáramos vizsgálat, mágneses repedésvizsgálat, penetrációs vizsgálat - hosszú évtizedek óta ismertek az üzemeltetők előtt. Ezen eljárások célja, hogy négyzetcentiméterről négyzetcentiméterre letapogatva a próbatest felületét, behatárolják az esetleges anyaghibákat, méretüket, helyzetüket. A felderített hibák veszélyességét méretük és helyzetük alapján emberöltők során felgyülemlett tapasztalati tények alapján ítélik meg.

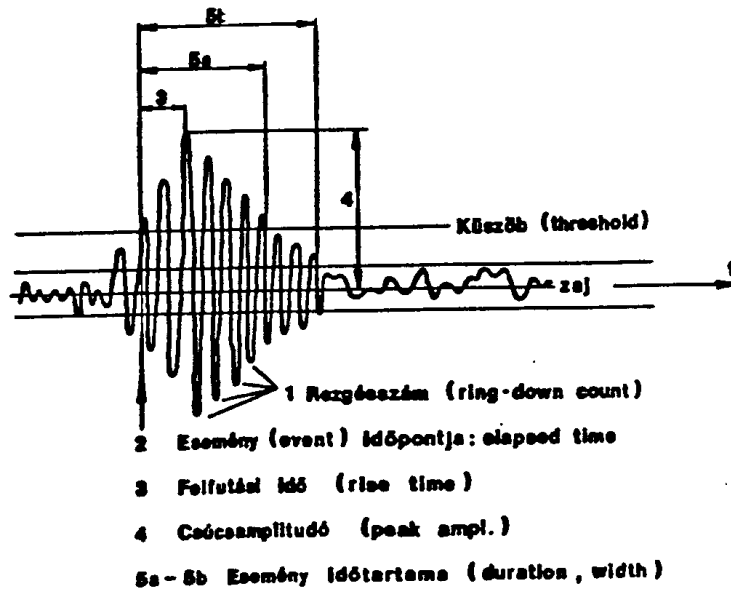
Ilyen gyakorlat mellett szokatlan találkozni az akusztikus emisszióval, egy olyan módszerrel, amelynél egy érzékelő több négyzetméternyi felület teljes terhelhető keresztmetszetéről ad információt. Az üzemeltetők a megszokott hibamegnevezéseket várják: gázzárvány, salakzárvány, kötésihiba, repedés, és azt, hogy a vizsgáló meghatározza a hiba méretét. Ezzel szemben a jegyzőkönyvben kapnak egy kiterített palástrajzot, amelyen egy-két ponthalmaz látható, például azzal a megjegyzéssel, hogy a regisztrált aktív, de nem intenzív források a berendezés üzembiztonságát nem veszélyeztető hibákra utalnak.

Az akusztikus emisszió "hátrányai" elsősorban ismeretlenségéből fakadnak. A vizsgálat eredményét nehéz lefordítani a megszokott anyagvizsgáló nyelvre. Ezért nem tudatosul, hogy a berendezés biztonsága szempontjából teljesebb értékű, megalapozottabb információt ad, mint a hagyományos eljárások.

Az akusztikus emissziós integritásvizsgálat során a rendelkezésre álló akusztikus csatornákat csoportokba szervezik, és ezekkel az érzékelő csoportokkal lefedik a vizsgálni kívánt szerkezet felületét. Egy-egy érzékelő-csoport hatótávolságát az adott szerkezeten elvégzett csillapodásmérésekkel kell megállapítani. A szerkezetet igénybevételnek kitéve (az igénybevételt jellemző paramétert - nyomás, hőmérséklet, elmozdulás - is rögzíti az a.e. készülék) akusztikus emissziós jelek jelentkeznek. A "jelek" okozta felületi hullámok megszólaltatják egymás után az érzékelőket. Az a.e. készülék megméri a hullámcsomag paramétereit és az egyes érzékelők megszólalási idejét. A jel paramétereiből a forrás intenzitására, bizonyos határok között a típusára, a megszólalási idő különbségekből (az ún. késleltetési időkből) a forrás helyére lehet következtetni. Vizsgálva a lokalizált forráshelyek aktivitását, intenzitását és térbeli eloszlását, megítélhető a vizsgált szerkezet állapota.

Konkrét alkalmazási példákat [2] és [4] kézikönyvekben, valamint [13], [21] és [22] folyóiratcikkekben bőségesen találni.

Most csak két, a hazai gyakorlatban sűrűn előforduló példát említünk.



7. ábra Egyedi hangesemény paramétere

Tárolótartályok integritásvizsgálata során az anyagvizsgálat költségeit lényegesen meghaladják az állványozás, szigetelésbontás és felülettisztítás költségei. Ezért a rendszeres időközönként esedékes hatósági felülvizsgálatok során az akusztikus emisszió jelentős költségmegtakarítást is eredményez. Az érzékelők telepítése (8. ábra) kosaras kocsiból vagy hegymászó-technikával történhet. A 16-32 érzékelőnek elég tenyérnyi ablakot nyitni a szigetelésen. A próbanyomás során végzett akusztikus emissziós vizsgálat kijelöli a "gyanús" területeket, így kisebb felület tisztítása, hagyományos roncsolásmentes módszerekkel való átvizsgálása válik csak szükségessé. Az akusztikus emissziós vizsgálat egyben az ismert hibák (korróziós kráterek, zárványok, korábban feltárt repedések) veszélyességét is segít megítélni: ha a nyomásemelés során "némák" ezek a hibák, akkor méretük, helyzetük alapján indifferensek. Ha a nyomástartás során "elnémulnak", akkor még a stabil repedésterjedési szakaszban vannak az ismert repedések. A korróziós viszonyok elemzését az akusztikus emissziós vizsgálat elvégzése esetén is meg kell tenni. (Feszültségkorróziós repedésterjedés.)

Nyomástartó edények vizsgálata során, legyenek azok kazándobok vagy atomerőművi reaktortartályok, a nyomáspróbához kapcsolódó akusztikus emissziós integritás vizsgálat jól kiegészíti a hagyományos (szemrevételezés, ultrahang, mágnesporos repedésvizsgálat, penetrációs felületi repedésvizsgálat, örvényáramos repedésvizsgálat) roncsolásmentes vizsgálatokat, ugyanis az akusztikus emisszió számára a szerkezet teljes terhelhető térfogata hozzáférhető, míg az összes hagyományos roncsolás mentes vizsgálatnak megvannak a maga korlátai, fehér foltjai.



- Műszerügyi és Méréstechnikai Közlemények (1981.) 31. 11- 17. o.
- [8] Gábor J.: "A feszültség hangja"  
Új Technika 1982/3. Műszaki Könyvkiadó, Bp
- [9] Berkes O., Tóth T.: "Szerszámállapot vizsgálata A.E. méréssel"  
GÉP XXXVII. (1985.) 1. 29-34. o.
- [10] Berkes O.: "A forgácsolási folyamat hangemissziója"  
Automatizálás (1985.) 11. 30-32. o.
- [11] Berkes O.: "Az anyag hangja"  
Természet világa (1986.) 10.
- [12] Berkes, Szélig: "A.E. az állapotfelügyeletben"  
Automatizálás 20. (1987) 5.
- [13] Berkes, Geréb, Hermann, Szélig: "Az A.E. gépipari alkalmazása"  
Automatizálás 21. (1988) 3.
- [14] Berkes O., Dániel I., Földes K.: "Forgácsoló szerszámok elhasználódását kísérő akusztó emissziós jelenségek"  
Korszerű technológiák 1989/6. 6-13 o.
- [15] Geréb J., Pellionisz P., Székely Gy.: "Az akusztikus emissziós folyamat és minőségellenőrzés új eszköze: a bővített Defectophone."  
Gép XL. (1988). 9. 335-338. o.
- [16] Illényi, Hermann, Berkes: "A forgácsoló szerszámok elhasználódását kísérő akusztóemissziós jelenségek és alkalmazásuk."  
Mérés és Automatika 36. (1988) 10. 289-301. o.
- [17] Berkes O., Mészáros I., Szélig K.: "Forgácsolási folyamatok szerszámfelügyeleti célú akusztóemissziós vizsgálata"  
Korszerű technológiák 1991/1. 12-21. o.
- [18] Szűcs P.: "Kazándobok minősítése akusztikus emisszióval"  
GÉP XLIII. (1991.) 1-2. 43-45. o.
- [19] Pellionisz P.: "Akusztikus emissziós vizsgálat. I. rész: Méréstechnikai alapok"  
Anyagvizsgálók Lapja I. (1991.) 2. 47-50. o.
- [20] Pellionisz P.: "Akusztikus emissziós vizsgálat. II. rész: Alkalmazási területek"  
Anyagvizsgálók Lapja I. (1991). 3. 79-81. o.
- [21] Dr. Rittinger J., Szűcs P.: "Technológiai folyamatok ellenőrzése akusztikus emisszióval"  
GÉP XLIII. (1991.) 3. 73-77. o.
- [22] Szűcs P.: "Az akusztikus emissziós vizsgálat ipari alkalmazása"  
GÉP XLIII. (1991.) 10. 321-325. o.
- [23] Paluska Gy.: "Méréstechnikai tapasztalatok nyomástartó edények akusztikus emissziós vizsgálata során"  
GP XLIII. (1991.) 10. 326-329. o.
- [24] Pellionisz P.: "Akusztikus emissziós vizsgálat. III. rész: Az A.E. technika eszközei"  
Anyagvizsgálók Lapja II. (1992.) 1. 19-20. o.
- [25] Geréb J.: "Néhány szó az akusztikus emisszióról"  
ENERGIAGAZDÁLKODÁS XXXIV. (1993.) 10. p. 452
- [26] Szűcs P.: "Az Akusztikus Emisszió története"  
Anyagvizsgálók Lapja III. (1993) 4. 132-133.o.
- [27] Szűcs P., Borsai T.: "Szénacélok akusztikus viselkedése a rugalmas-képlékeny alakváltozás tartományában"

GÉP XLVI (1994.) 3 28-32. o.

[28] Szűcs P., Paluska Gy.: "Hosszvarratos csődarab akusztikus emisszióval megfigyelt repesztési kísérlete"

GÉP XLVI (1994.) 3 33-38.o.

A felsorolás korántsem teljes, hiszen a téma művelői számos hazai kongresszuson és külföldi tanácskozáson jelentkeztek előadásokkal, cikkekkel és posztterekkel.

Budapest, 1994. október