

Dinamikus mechanikai anyagvizsgálatok mérés-technikai problémái

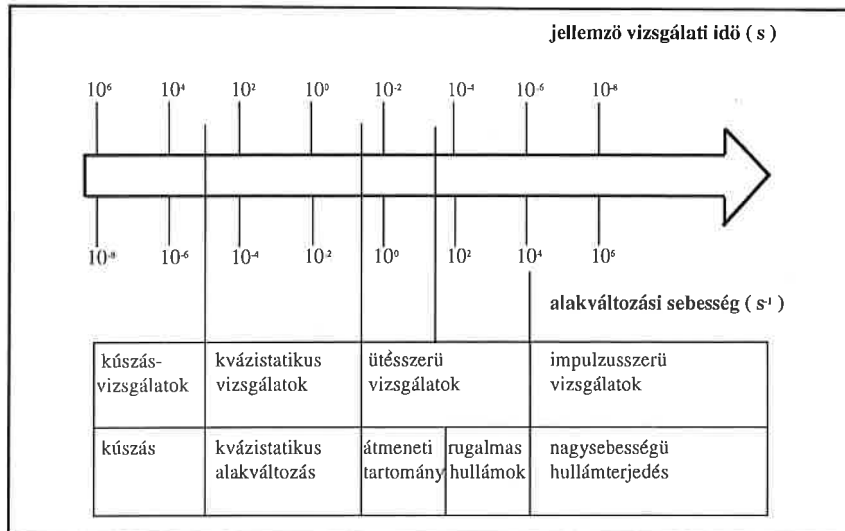
Major Zoltán

A mérés-technika, az elektronika és a számítástechnika fejlődése új lehetőségeket nyitott meg az anyagvizsgáló szakemberek számára az anyagok tulajdonságainak pontosabb megismeréséhez. Lehetővé vált a különböző szerkezeti anyagok, alkatrészek olyan terhelési, környezeti feltételek mellett történő vizsgálata is, amire korábban nem, vagy csak speciálisan felszerelt laboratóriumokban volt lehetőség. A számítástechnika, a CAMT (Computer Aided Material Testing) alkalmazása jelentősen lerövidítette a vizsgálatok elvégzéséhez, kiértékeléséhez szükséges időt, és megnövelte a vizsgálatok információ-tartalmát. Ezzel egyidejűleg jelentkeztek olyan mérés- és vizsgálat-technikai problémák, amelyekkel korábban nem találkozott az anyagvizsgáló. Ha a mechanikai anyagvizsgálatok felosztását tekintjük, hosszútávú kúszás, statikus-kvázi statikus, ismétlődő-fárasztó, dinamikus-ütésszerű vizsgálatok, akkor elmondható, hogy valamennyi területnek megvan a saját mérés-technikai problematikája. A cikkben az utóbbi időben egyre terjedő dinamikus, ütésszerű vizsgálatok mérés-technikai problémáival foglalkozom, ezeken belül is a már szabványosított, vagy a szabványosítás előtt álló vizsgálatokéval.

A vizsgálatok csoportosítása

Az ütésszerű igénybevétel egyáltalán nem olyan szokatlan, ritka jelenség a mérnöki gyakorlatban, amit a tervező, technológus mérnök figyelmen kívül hagyhat. Gondoljunk csak a különböző járművek ütközésére, a különböző anyagok nagy sebességű alakítására, egy sikítés egy védősisak terhelésére, vagy a repülőgépek és madarak ütközésére, hogy csak egészen különböző példákat említsünk. Ahhoz, hogy ezeket a jelenségeket elemezzük és az ütésszerű terhelésnek ellenálló anyagokat, szerkezeti elemeket tervezni, gyártani tudjuk, ismerni kell a dinamikus anyagjellemzőket is. Ezek meghatározásához megfelelő berendezésekre, mérőeszközökre, műszerekre, jelrögzítő és -feldolgozó eszközökre, valamint alkalmas mérés- és vizsgálat-technikára van szükség. Az alakváltozási, törési jellemzők a terhelési sebességgel lényegesen változnak. Különösen igaz ez a műanyagok, műanyag kompozitok esetében, de egyáltalán nem elhanyagolható a fémek anyagai területén sem.

Az 1. ábra mutatja be a jellemző vizsgálati időket és alakváltozási sebességeket a különböző vizsgálati típusokkal [1]. Általában ütésszerű terhelésről akkor beszélünk, ha az alakváltozási sebesség nagyobb mint 100 s^{-1} . Ezeket a nagy terhelési sebességeket különböző módon, különböző berendezésekkel tudjuk megvalósítani. A legfontosabb típusok a következők:



1. ábra

- ingás ütőmű, $E = 1 - 750 \text{ J}$; $v = 3 - 5.5 \text{ m/s}$,
- ejtő súlyos berendezés, $E = 10 - 1500 \text{ J}$; $v = 1 - 20 \text{ m/s}$,
- szervohidraulikus anyagvizsgáló gép, $F_{\max} = 250 \text{ kN}$; $v = 0.01 - 20 \text{ m/s}$,
- pneumatikus berendezések, $v = 1 - 50 \text{ m/s}$,
- portöltettel működő berendezések, $v = 10 - 100 \text{ m/s}$,
- ballisztikus szimulációs berendezések, $v = 100 - 500 \text{ m/s}$.

A mindennapi gyakorlat szempontjából az első háromnak van nagyobb jelentősége. A terhelés módja és az alakváltozási sebesség szerint az alábbi felosztást készíthetjük [2]:

- nyomóterhelés:
 - $< 0.1 \text{ s}^{-1}$ hagyományos szervohidraulikus berendezés,
 - $0.1 - 100 \text{ s}^{-1}$ speciális szervohidraulikus berendezés,
 - $200 - 10^4 \text{ s}^{-1}$ Hopkinson-rúd berendezés
- húzóterhelés:
 - $< 0.1 \text{ s}^{-1}$ hagyományos szervohidraulikus berendezés,
 - $0.1 - 100 \text{ s}^{-1}$ speciális szervohidraulikus berendezés,
 - $100 - 10^4 \text{ s}^{-1}$ Hopkinson-rúd berendezés
- hajlító-nyíróterhelés:
 - $0.1 - 100 \text{ s}^{-1}$ speciális szervohidraulikus berendezés,
 - $10 - 10^3 \text{ s}^{-1}$ torziós ütőgép,
 - $10^3 - 10^4 \text{ s}^{-1}$ lyukasztó (penetrációs) berendezések

- törési vizsgálatok, $[K, (\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1})]$:
 - $2 - 2 \cdot 10^5$ törésmechanikai vizsgálat,
 - 10^5 Charpy ütővizsgálat,
 - $10^5 - 10^6$ hajlítóvizsgálat,

- fáradás:

$0.1 - 100 \text{ s}^{-1}$ ultrahangos fárasztás

A felsorolt típusok közül a gyakorlati alkalmazás szempontjából érdekesebb szabványosított

vagy a szabványosítás előtt álló vizsgálatokat emelem ki. Ilyen pl. a

- ütvelyukasztó vizsgálat (DIN 53373, 53443, ASTM D 3763, ISO 6603-2),
- ütvehajlító vizsgálat:
 - Charpy, Izod (DIN 53453, ASTM 256, ISO 179, EN 45001),
 - Törésmechanikai vizsgálat három pontos hajlítópróbával (K_{Id} , J_{Id} ASTM E24, ESIS),
- ütve(dinamikus)szakító vizsgálat (ESIS, ASTM D1822).

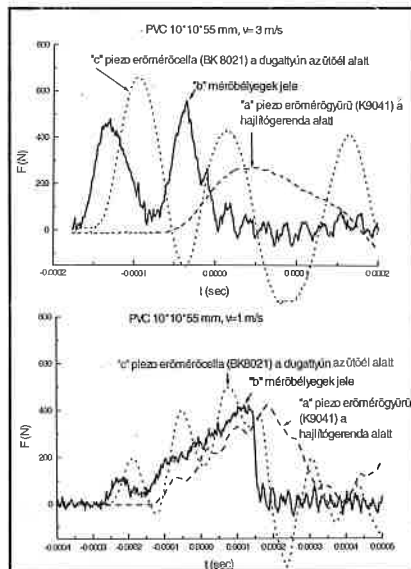
A hagyományos ütővizsgálatok információ-tartalma műszerezéssel jelentősen növelhető, illetve egyes vizsgálatokat már műszerezéssel együtt fejlesztettek ki. A műszerezéshez kapcsolódnak a bevezetőben már említett mérés-technikai problémák. A műszerezés célja alapvetően az alakváltozási törési folyamat során az erőalakváltozás kapcsolatának a meghatározása. Erre különféle módszerek, műszerek alkalmaznak, a következőkben ezek jellemzőit tekintjük át.

Mérés-technikai követelmények

Erőmérés

A gyakorlat szerint a nagyobb terhelési sebességeknél a piezoelektromos elven működő mérőelemek használata ajánlott. Ilyenek pl. a gyorsuláserzékelők, erőmérőcellák, vagy nyomásmérők. A különféle mérőcellák saját frekvenciája (f_0) a max. megengedett terheléstől és a kialakítástól függően $20 - 100 \text{ kHz}$ között változik. Speciális és igen drága indirekt erőmérőelemek (nyomás, nyúlás) esetén elérhető a $300 - 500 \text{ kHz}$. A beépítés, legyen a vizsgálószerszám

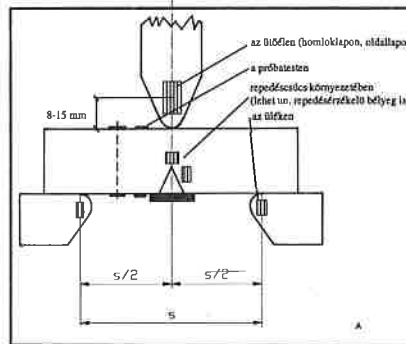
bármilyen célszerűen és átgondoltan is megtervezve, elkészítve jelentősen rontja ezeket az értékeket. Egy beépített piezo-erőmérőcella sajátfrekvenciája 8–12 kHz között mozog és 20 kHz fölé nem vihető. A sajátfrekvencia meghatározza azt, hogy milyen gyors jelet milyen mértékű lengésekkel tudunk mérni. A 2. ábra c görbéje mutat erre egy példát. A beépítésnél több esetben a hely jelent nagy problémát. A vizsgálószerszámok alakja, mérete többnyire pontosan meghatározott és ezekben kell megfelelő merevséggel, védetten beépíteni a mérőelemeket.



2. ábra

A másik erőmérési lehetőség valamilyen nyúlásmérőbélyeggel ellátott mérőelem készítése. Számításba jöhet a félvezetős és a normál ellenállás mérőbélyeg is. A félvezetős bélyegek nagy előnye, hogy igen nagy jelet adnak kis terhelés esetén is, nem kell különleges erősítőt alkalmazni. Hátrányuk a magas ár és a hőmérsékletérzékenység. Az egyenáramú (DC) erősítők és a bélyegek gyártási és alkalmazási technikájának fejlődése lehetővé tette a normál ellenállásbélyegek dinamikus méréseknél való alkalmazását is. A mérőbélyeg a vizsgálati elrendezéstől függően egyidejűleg akár több helyen (ülék-befogó, próbatétel, ütől) is elhelyezhető. A 3. ábra egy műszerezett ütvhajlító vizsgálati elrendezésnél mutatja be a lehetséges helyeket. A legjobb (legkisebb zavaró lengések) jelet a próbán elhelyezett bélyeg adja. Ez esetben a vizsgálatok költségei tetemesen megnövekednek (1000 Ft/bélyeg és előkészítési költség). A 2. ábra három különböző erőmérőelem jelének az összehasonlítását mutatja be. Az a jel egy $F_{max} = 90$ kN piezo-erőmérőgyűrű egy nagy tömegű hajlítogerenda alatt elhelyezve, a b jel egy titánötözetből készült ütőélre ragasztott 350 Ω -os bélyegek jele, míg a c jel egy $F_{max} = 5$ kN piezo-erőmérőcella jele, ami a Ti ütőél alatt a mozgó dugattyún van rögzítve. Az első jel egy teljesen túlcillapított lengés, a második esetben egy gyengén alulcillapított jelet kapunk, ahol az első csúcs az inerciaerőt mutatja, a

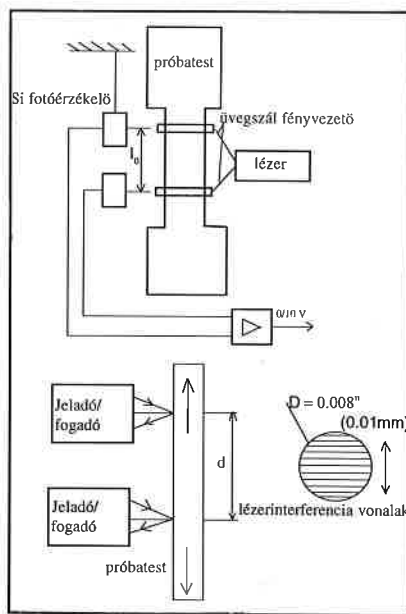
harmadik jel pedig egy gyakorlatilag csillapítatlan lengés, amiből az anyag viselkedése egyáltalán nem hámozható ki. A vizsgált próbatétel PA6 típusú műanyag volt.



3. ábra

Út- és alakváltozás-mérés

Az egyes berendezéseknél, vizsgálati elrendezéseknél más-más technikát alkalmazhatunk. Az ingás ütőműveknél és az ejtő súlyos berendezéseknél érintkezés nélkül, szervohidraulikus berendezéseknél a dugattyúba beépített LVDT (induktív útadó) alkalmazható. Ez 1 m/s feletti sebességek esetében többnyire lassú a közvetlen erő-alakváltozás diagram felvételéhez ($TF = 5 - 50$ kHz, amiből az $f_{gmax} = 12 - 13$ kHz), de a sebesség meghatározására alkalmas és így az energiák számításánál használható. A dinamikus szaktípusvizsgálatoknál a nyúlást a próbatétel elhelyezett mérőeszközzel célszerű mérni. A hagyományos felcsippenhető nyúlásmérők nem alkalmazhatók, (nagy tömeg, kis merevség). Rugalmas tartományban a próbatétel elhelyezett mérőbélyeg ($\epsilon < 3\%$), vagy valamilyen optikai elvű (lézeres) nyúlásmérő jöhet számításba. A képlékeny tartományban az optikai eszközök mellett az ún. post-yield mérőbélyegekkel ($\epsilon = 20\%$) kaphatunk kielégítő eredményt. Ha valamilyen optikai elven működő



4. ábra

műszert választunk (video, lézeres vetítő, lézeres tükröző, lézeres doppler), akkor figyelembe kell venni az egyes típusok sebesség (50 kHz), mérestartomány (1–100 mm) és felbontási korlátait (0.02–1 μ m), valamint jó mélyen kell a zsebünkbe nyúlunk. A 4. ábra két különböző lézeres nyúlásmérő elvi vázlatát mutatja be.

A mérési lánc

A teljes mérési lánc minimum a következő elemekből áll:

jeladó – kábel – erősítő – jelrögzítő.

Az 5. ábra egy dinamikus vizsgálatokra alkalmas mérőrendszer elemeit mutatja be a jellemző paraméterekkel együtt.

A dinamikus, nagy sebességű mérések szempontjából az egyik legfontosabb paraméter: milyen gyors a rendszer, milyen a viselkedése a frekvenciaátvitel szempontjából. Ez vagy a sávszélességgel [B, (Hz)], vagy pedig a jelfelfutási idővel [t_a , (s)] a jel 10 és 90% felfutása között eltelt idő] jellemezhető. A teljes mérési lánc esetén ezek az alábbi összefüggésekkel számíthatók.

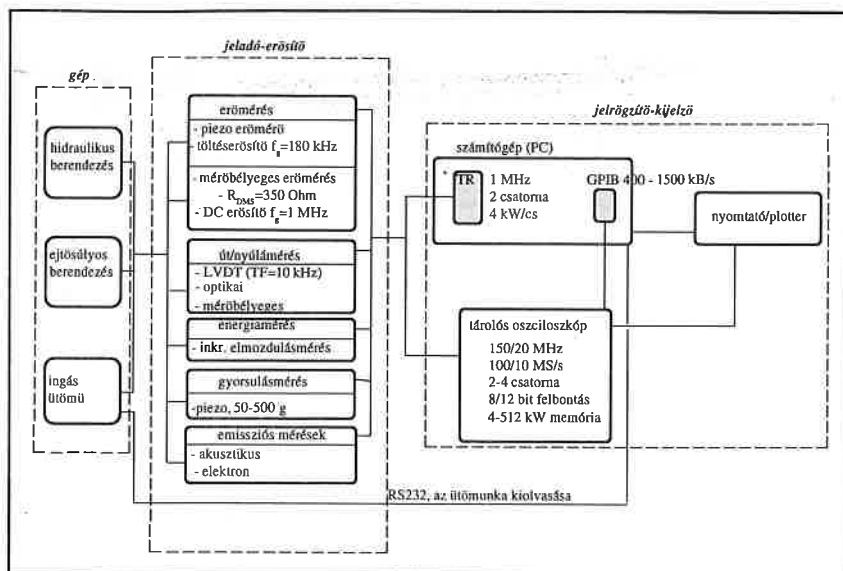
$$B_{tot} = \left(\sum_{j=1}^n \frac{1}{B_j^2} \right)^{-1/2} \quad (1)$$

$$t_{atol} = \sqrt{t_{a1}^2 + t_{a2}^2 + \dots + t_{an}^2} \quad (2)$$

A jeladó

Egy piezocella esetén a t_a értéke 1–10 μ s. Bélyeges erőmérő esetén $c = 6$ mm/ μ s rugalmas hullámterjedési sebességet feltételezve (acél) egy $L_0 = 6$ mm aktív mérőhosszúságú bélyegnél $t_a = L_0/c = 1$ μ s.

Itt rögtön feltehető a kérdés: a széles kínálatból milyen bélyeget is válasszunk? A válasz nem is olyan egyszerű. Ismernünk kell, hogy milyen anyagot, milyen környezeti feltételek mellett akarunk vizsgálni ($T_{min/max}$). Milyen anyagú az ütőél, vagy a próbatétel amire ragasztani akarunk. Milyen érzékenységet (N/V), milyen élettartamot várunk. A bélyeg érzékenységét a k (gauge faktor) megadja, a mérőelem érzékenységét azonban befolyásolni tudjuk. A fél vagy teljes Wheatstone-hídba kötött bélyegeket különböző tápfeszültségekkel táplálhatjuk meg. Ha nagyobb tápfeszültséggel dolgozunk azonos terhelés esetén nagyobb lesz a kapott jel. Túl nagy tápfeszültség esetén viszont a bélyegek melegszenek, a rendszer instabil lesz. A szokásos bélyegellenállás értékek 120, 350 ohm. Nagyobb ellenállású bélyeg esetén szintén növelhető a tápfeszültség, csökken a kábelek ellenállásának hatása. Milyen legyen az aktív bélyeghossz? Kiseb L_0 esetén a jelfelfutás gyorsabb, de ekkor kedvezőtlenebbek a melegezési viszonyok és a kis bélyegeket sem ragasztani, sem vezetékezni nem egyszerű. Egy elfogadható kompromisszumot kell tehát találnunk. Ilyen pl. egy 350 ohmos, $L_0 = 6$ mm aktív hosszal rendelkező bélyeg (pl. MM WK 06 250BG-350). A mérőelem-érzékenység növelés másik módja a mérőelem anyagának változtatása. Ha kisebb rugalmassági modulusú anyagot választunk,



5. ábra

akkor a kapott jelet növelhetjük. Itt azonban figyelembe kell venni, hogy a szabványok acél anyagot adnak meg, és az élnek keménynek (keményebbnak mint a vizsgált anyag), valamint megfelelően kopásállónak kell lenni. Műanyag vizsgálati esetén sikerrel alkalmazhatunk Ti ötvözetből vagy Aralditból készített üttöelőt is. Ha az üttöelő (erőmérőcella) érzékenyebb, akkor kisebb erősítés értékekkel dolgozhatunk és így javítanunk tudjuk a jel/zaj viszonyt, valamint, mivel az erősítők sávszélessége függ az erősítéstől, kedvezőbb frekvenciaátvitelrel számolhatunk.

A kábelek

A kábelek villamos tulajdonságai is hatással vannak a rendszer sebességére. Általánosan elmondható: célszerű minél rövidebb kábellel összekötni a jeledőt és az erősítőt. Ha feltételezünk egy 500 pF kapacitású kábelt, akkor a $\tau = 88$ ns az egyik ágba, tehát a hídban összesen $\tau = 2\tau$, ebből a $t_a = 2.2\tau$ összefüggéssel adódik, hogy a jelfelviteli idő 0.4 μ s, ami $f_g = 0.91$ MHz-nek felel meg. 2 m kábel esetén ezek az értékek 0.77 μ s, 455 kHz [13].

Az erősítők

A piezo-erőmérőkhöz töltés(csatolt) erősítőket használunk. Itt a méréstartomány, az érzékenység beállítható. Az erősítők sávszélesség 100–200 kHz között változik. A mérőbelyegekhez egyenáramú (DC) erősítőket használhatunk. Itt a sávszélesség max. az 1 MHz értéket is elérheti (a legtöbb gyári műszerezett ütmű ilyen paraméterű erősítőkkel dolgozik). Jogos kérdés azonban: mi az a határ ami még elfogadható frekvenciaátviteli viszonyokat ad? Az [5] szabvány ajánlása és több elemzés szerint [6, 10, 11] a 100 kHz-es sávszélesség –3 dB csillapítás mellett elfogadható. Ez esetben a jelfelfutási idő az alábbi összefüggéssel határozható meg [5]:

$$t_a = \frac{0.35}{f_g} \quad (3)$$

100 kHz esetén tehát $3.5 \mu\text{s}$ jelfelfutási idővel számolhatunk.

A jelrögzítők

Az erősítők kimenetén egy analóg jelet tudunk regisztrálni. A jelrögzítő eszköznek digitálizálni, rögzíteni, tárolni és lehetőleg ábrázolni kell tudni a jelet. Erre a célra digitális tárolós oszcilloszkóp (DSO), vagy tranziens rekorder használható (TR). Melyek a legfontosabb paraméterek? A DSO esetén a sáv szélesség (MHz), a mintavételi sebesség (MS/s), az egy csatornánál tárolható pontok száma (kW), és az analóg jel digitális ábrázolási pontossága (bit). Természetesen a DSO-k alkalmazhatóságát még számos egyéb paraméter is jellemzi (trigger típusok, képernyő minősége, mérete, csatornaszám, mérési szolgáltatások stb.). Az 1. táblázatban három, általam önkényesen kiválasztott típus adatai hasonlíthatók össze. A közös, hogy mind 12 bites felbontással rendelkezik és viszonylag nagy memóriával. Ennek megfelelően igen borsos az áruk is.

1. táblázat

Jellemzők	Gyártó, Típus		
	Nicolet Pro 42	Yokogawa DL 3100	Gould 8000
Függőleges felbontás, (bit)	12	12	12
Sávszélesség, (MHz)	10	10	20
Mintavételi sebesség (MS/s)	20	25	10
Mérési csatornák száma	4	2(4)	4
Memória (kW)	256	512	50
Matematikai funkciók	van	van	van
Kimenet RS232, GPIB, Floppy	van	van	van
Képernyő mérete, típusa	esz. z 7"	esz. s 9"	színes 6"

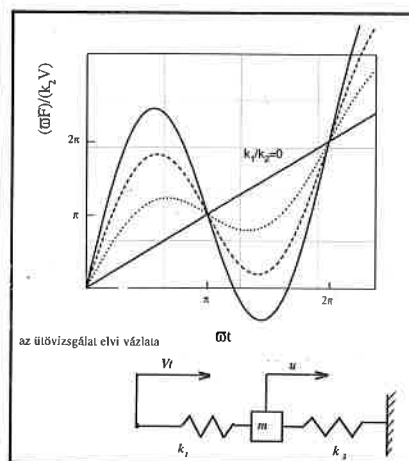
A tranzien্স rekorderek vagy külön műszer formában vagy PC-be beépíthető kártya alakban szereshetők be. A jellemzők hasonlóak, mint a DSO-k esetén, itt azonban az adatok tárolásához és megjelenítéséhez szükség van a számítógépre. Az [8] munkában egy olyan magyar fejlesztésű és gyártású TR kártya adatai található, mai több műszerezett ütőműben is jól működik. A TR-ek jól használhatóak 1–2 csatorna esetén egy állandó telepitett (pl. egy atomerőművi műszerezett ütőmű), vagy pedig sok – (16–128) – csatornás mérésekhez. Az [5] szabvány szerint a jelrögzítő eszközzel szemben minimális követelmény a 8 bites felbontás, legalább 250 kS/s mintavételi sebesség és csatornánként legalább 4000 (4 kW) adat tárolása. Méréstechnikai szempontból Shannon mintavételi törvénye szerint a mintavételi frekvenciának legalább kétszer akkorának kell lenni, mint a jelben előforduló legnagyobb frekvencia. A gyakorlati tapasztalat szerint a jelrögzítő mintavételi frekvenciája legalább 5–10 szerese legyen az erősítő sáv-szélességének. A DSO-k esetében ez soros RS232 vagy GPIB vonalon keresztül történik. Kereskedelmi forgalomban lévő, de saját fejlesztésű programok sokasága alkalmas az adott hardverek lekezelésére és a kapott jelek ábrázolására, értékelésére.

Mérési alkalmazások és speciális problémák

A jelek összetevői

A dinamikus vizsgálatoknál kapott jel több összetevőből áll [4, 10]. Ezek az alábbiak:

- Az anyag válasza a dinamikus igénybevételre. Ez az ideális jel a különböző anyagok, anyagtulajdonságok (rugalmas, viszkózus, rugalmas, rugalmas-képlékeny) esetén eltérő.
- Az inerciaerők hatása a próbatest gyorsítása következtében. A 2a. ábrán látható, hogy 3 m/s sebesség esetén egy PVC Charpy próbánál ez már milyen jelentős.
- A rezgőrendszer elemeinek érintkezéséből, merevségéből származó lengések. A 6. ábra szemlélteti, hogy a k_1 , k_2 aránya hogyan befolyásolja a lengések amplitúdóit [14]. A [4]



6. ábra

szerint a lengésidő az alábbi összefüggéssel számítható:

$$\tau = 1.68 \frac{S}{c_0} \left(\frac{W}{S} \right)^{1/2} (EBC_s)^{1/2} \quad (4)$$

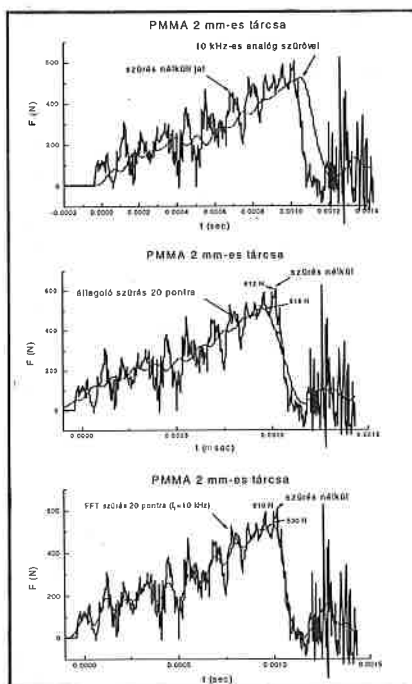
ahol S a támaszköz, c_0 a hangsebesség, W , B a próba geometriai méretei, c_s compliance. Acél esetén az értéke 30–33 μ s.

— A villamos rendszer nagyfrekvenciás rezgései (erősítő zaja, kábel).

Csillapítás, szűrés

Mit tehetünk annak érdekében, hogy az anyagjelre superponálódott lengések hatását csökkenteni tudjuk? Csökkenthetjük a terhelési, alakváltozási sebességet. Ez egyrészt körülményesen megvalósítható (pl. ingás ütművek), másrészt így információt veszünk. Változtatjuk az érintkezési viszonyokat, puhább anyagú ütőel (pl. Araldit a műanyagoknál), vagy csillapítóanyagot teszünk az ütőel és a próbatest közé. A csillapítóanyag lehet közönséges ablakgitt, gumipoliuretán réteg, vagy pl. szakítóbefogók esetén Ti-Al ötvözet. Acélműanyagoknál nem javasolt csillapítóanyag alkalmazása.

A mért jelek szűrésére analóg, vagy digitális szűrőket alkalmazhatunk. Az analóg szűrők többnyire az erősítőbe be vannak építve. Ezek alkalmazását azonban a szabványok, szabványajánlások nem javasolják. A digitális szűrést egy számítógépi program segítségével könnyen elvégezhetjük. A szűrés lehet valamilyen algoritmus szerinti átlagolás, vagy közvetlen frekvenciaszűrés. A 7. ábra három típusra mutat be példát. Viszonylag kedvező eredményeket kaphatunk egy FFT típusú szűrővel. (7c. ábra)



7. ábra

Kalibrálás

Alapvetően statikus vagy dinamikus kalibrálást különböztethetünk meg. A piezocellák kalibráltak, a megfelelő érték beállításával (N/V) a mérést elvégezhetjük. A statikus kalibrálásra „long” üzemmódban pontos súlyterheléssel van lehetőség. Speciális berendezésekkel dinamikus kalibrálás is elvégezhető. A mérőbéllyeges cellákat minden esetben kalibrálnunk kell. Ezt statikusan egy szervohidraulikus gépen egy ismert jellemzőjű erőmérőcellával összehasonlítva tehetjük meg, vagy az ütműbe beépítetten hasonló módon. A dinamikus kalibrálás történhet az ütmű energiámérőjével való összehasonlítással, az ún. „low-blow” (lassú ütés) technikával, amikor a rugalmas deformációhoz tartozó energiából számítjuk ki a kalibrálási állandót, vagy kalibráló anyag alkalmazásával.

A 2. táblázat egy adott ütőel esetén mutatja be a különböző értékeket [9].

2. táblázat

Statikus kalibrálás	Dinamikus kalibrálás		
C_s (N/V)	C_{d1} (N/V)	C_{d2} (N/V)	C_{d3} (N/V)
9480	10880	9746	10042

Az alkalmazott ragasztó és a ragasztás minősége jelentősen befolyásolja ezeket az értékeket.

Mérésindítás, triggerelés

A mérésadatgyűjtés, különösen a nagy sebességű mérés fontos kérdése: hol induljon a mérési adatok gyűjtése, tárolása? A triggerelés történhet belső, vagy külső jelle. Belső jel az analóg jel felfutása, ennek megfelelően lehet pozitív/negatív. Meg kell határozni a trigger szintet, milyen feszültség elérése esetén induljon a mérés. A korszerű eszközök: TR, DSO rendelkeznek ún. pre- és posztrigger lehetőséggel és a különböző trigger típusok „ÉS” kapcsolatba is hozhatók, azaz egyidejűleg több módon triggerelhetünk, ezzel növelve a mérésindítás biztonságát. A külső jel legtöbb esetben valamilyen optikai eszköz (optikai rács), amit az előtte elhaladó ütőel hoz működésbe és ez ad egy impulzust a mérés indításhoz. Ez különösen kis jelek mérésekor, viszonylag rossz jel/zaj viszony esetén előnyös.

A berendezés merevségének a meghatározása

Ha a terhelőrendszer (ütőel, befogó(ülék), terhelőkeret, inga stb.) merevsége nem elhanyagolható a próbatest merevségéhez képest, akkor ezt meg kell határozni. A mérőrendszer merevsége, vagy ennek reciproka a „compliance” többféle módon is számítható

$$C_l = C_m + C_s \quad (5)$$

a C_m a gép compliance, a C_s a próbatest compliance értéke. Ez utóbbi számítható pl. az alábbi összefüggéssel [7]:

$$C_{s,0} = 20.1 EB \quad (6)$$

A gép compliance meghatározható egy statikus, vagy az ún. low-blow vizsgálatból:

$$C_m = \frac{v_0}{dF/dt_{mij}} - C_{s,0} \quad (7)$$

ahol a dF/dt_{mij} az erő határvonalában mért jelelfutás meredeksége.

★

Talán a leírtakban sikerült azt bemutatni, hogy megbízható eredményeket minden anyagvizsgálati módszer esetében csak alapos, körültekintő előkészítés, végrehajtás és kiértékelés után kaphatunk; de a dinamikus, ütésszerű vizsgálatoknál talán még egy picivel körültekintőbben kell eljárunk.

Irodalom

- [1] R. Bardheim: Servohidraulische Mehrzweckprüfmaschinen-eine Herausforderung, Materialprüfung 35 (1993) 5 148–152.
- [2] M. R. Staken: High Strain Rate Testing, ASM Metals Handbook Vol. 8. Mechanical Testing
- [3] P. Profos, T. Pfeifer: Handbuch der Industriellen Meßtechnik, 6. Auflage, Oldenburg Verlag, München 1993.
- [4] A. Savadori: Impact Testing of Plastics: Present knowledge, Polymer Testing 5 (1985) 209–241.
- [5] Proposed Standard Method for the Instrumented Charpy-V Impact Test on Metallic Materials, ESIS TC4 Draft 10. 1994. January.
- [6] Proposed Standard Method of Test for Instrumented Impact Testing of Precracked Charpy Specimens of Metallic Materials, ASTM E 24 03. 03.
- [7] W. Böhme: Application Method of Dynamic Key Curves to the Determination of Impact Fracture Toughness K_{Id}, ESIS TC5, Fh-IWM, Freiburg 1992.
- [8] Lenkeyné Bíró Gy., Major Z., Tóth L.: Műszerezett ütmű kifejlesztésének kezdeti tapasztalatai, Anyagvizsgálók Lapja, 1991. I. 2. 64–66.
- [9] Lenkeyné Bíró Gy., Major Z., R. Viehrig: Dynamic Calibration Problem in Instrumented Impact Test, ECF 9. Várna, 1992.
- [10] D. R. Ireland: Procedures and Problems Associated with Reliable Control of the Instrumented Impact Test. Instrumented Impact testing, ASTM STP 563
- [11] S. L. Kessler (Ed.): Instrumented Impact Testing of Plastics and Composite Materials, ASTM STP 936
- [12] Rawinder Chona (Ed.): Rapid Load Fracture Testing, ASTM STP 1130
- [13] S. Winkler: Anlage zu Angebot für IWPK MU Leoben (nem publikált közlemény), 1994. Freiburg
- [14] J. G. Williams: Fracture Mechanics of Polymers, Vol. 8. Impact testing and dynamic effects, Ellis-Harwood London 1989.