

- [11] Gillemot F., Szabó L.: Dinamikus törésmechanikai vizsgálatok továbbfejlesztése – Beszámoló jelentés, KFKI, Budapest, 1983.
- [12] Módszerek a statikus és dinamikus törésmechanikai anyagjellemzők meghatározásához – Kutatási jelentés, VASKUT Hegesztési Főosztály, 1981.
- [13] Rittinger J., Tóth K., Macsári K.: Dinamikus törésmechanikai anyagjellemzők meghatározása ütővizsgálattal, Gép, 34, 1982/5., pp. 191-199.
- [14] Winkler, S. R.: Magnetic Emission Detection of Crack Initiation, ASTM STP 1074, Philadelphia, pp. 178-192. (1990)
- [15] Winkler, S.: Brucherkennung mit Elektrischer Emission, IWM Bericht, Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik T 10/90 (1990)
- [16] Lenkey, Gy. B., Winkler, S.: On the applicability of the magnetic emission technique for determining ductile crack initiation in impact tests, Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures, Vol. 20., No. 2., 1997, p. 143-150.
- [17] Blumenauer, H., Push, G.: Technische Bruchmechanik, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1982.
- [18] Ireland, D. R.: Critical review of instrumented impact testing, Int. Conf. On Dynamic Fracture Toughness, London, 1976, p. 47-57.
- [19] J. F. Kalthoff, S. Winkler, W. Böhme: A novel procedure for measuring the impact fracture toughness K<sub>Id</sub> with precracked Charpy specimens, Journal de Physique, 1985/No. 8, pp. C5-179-186.
- [20] J. F. Kalthoff: Concept of Impact Response Curves, ASM Handbook, Volume 8, ASM, 1995, p. 269-271.
- [21] Neale, B. K.: The development of an instrumented Charpy impact machine, Evaluating Material Properties by Dynamic Testing, ESIS Publication 20, Mechanical Engineering Publications (MEP), Bury St-Edmunds, 1996, p. 197-206.
- [22] Lenkey, Gy. B.; Winkler, S.; Major, Z.; Lévy, I.: Applicability of magnetic and electro-emission techniques for detecting crack initiation in impact tests, 11th European Conference on Fracture, Poitiers, 3-6. September 1996., Vol. III. p. 1989-1994.
- [23] Standard Test Methods for Plane-Strain Fracture Toughness and Strain Energy Release Rate of Plastic Materials, ASTM D 5045-93, December 1993.
- [24] W. Böhme: Application of Dynamic Key Curves for the Determination of the Impact Fracture Toughness of Polymers at High Rates of Loading, ESIS Publication 19, ed. J.G. Williams, A.Pavan, MEP, London, 1995.
- [25] W. Böhme: Dynamic Key-Curves for Brittle Fracture Impact Tests and Establishment of a Transition Time, Fracture Mechanics: Twenty-First Symposium, ASTM STP 1074, Philadelphia, 1990., pp. 144-156.
- [26] Gy. B. Lenkey: On the Determination of Dynamic Fracture Toughness Properties by Instrumented Impact Testing, Pendulum Impact Testing: A Century of Progress, ASTM STP 1380, T. Siewert and M. P. Manahan, Sr., Eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1999., Symposium on Pendulum Impact Testing: A Century of Progress, May 19-20, 1999., Seattle, pp. 366-381.
- [27] Lenkeyné Bíró Gyöngyvér: A terhelési sebesség hatása növelt szilárdságú acél rideg-szívós átmeneti viselkedésére, MicroCAD'99, 1999. Február 23-25., Miskolc, Anyagtudományi szekció, pp. 111-116.
- [28] Gy. B. Lenkey, Z. Major: Applicability of electric emission technique for determining dynamic fracture toughness of polymeric materials, MicroCAD 2000., Miskolc, pp. 57-62.

## Az ütővizsgálat fejlődése egy PhD-hallgató szemével\*

Göblyös Béla\*\*

### Bevezetés

A szerkezetek, gépek üzemeltetése során a károsodásokat legtöbbször a váratlan meghibásodások okozzák. A legjelentősebb gazdasági hatású meghibásodás a törés. A szerkezet igénybevétele lehet statikus és dinamikus. Ez utóbbi a kritikusabb, mivel az anyagok töréssel szembeni ellenállása csökken a terhelési sebesség növekedésével.

A dinamikus terhelés hatásának vizsgálatára alkalmas ejtőművet 1857-ben Rodman használt először bemetszés nélküli próbatesteneken. A bemetszett próbatestek vizsgálatával először LeChatelier foglalkozott 1892-ben, ingás ütőművet pedig 1896-ban az amerikai Russel és munkatársai alkották meg [1].

Európában a francia G. Charpy javasolta a vizsgálatot az anyagok ütőmunkájának a meghatározására mégpedig a *Megjegyzések bemetszett fém próbatestek ütve hajlító vizsgálatához* című előadásában az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetének budapesti konferenciáján 1901-ben [2]. A dinamikus mechanikai jellemzők mérésére (egyszerűsége és gazdaságossága miatt) azóta is e módszer a leggyakrabban használatos.

### Hagyományos ütővizsgálat

A Charpy által javasolt vizsgálat akkori állapotában lehetőség volt az ütőmunka mérésére az inga ejtés előtti és ejtés utáni holtponthelyzetének összehasonlításával:

$$KV \text{ (vagy } KU) = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \quad (1)$$

\* tudományos vezető: dr. Tóth László egyetemi tanár, Bay Zoltán Logisztikai és Gyártástechnikai Intézet, Miskolci Egyetem.

\*\* Dunaferr Rt.

ahol,

KV – ütőmunka (J) a V bemetszésű próbatesten (2.a ábra),

KU – ütőmunka (J) az U bemetszésű próbatesten (1. és 2.b ábra),

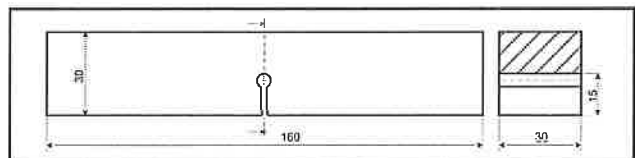
m – az inga redukált tömege (kg),

g – nehézségi gyorsulás  $\approx 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ,

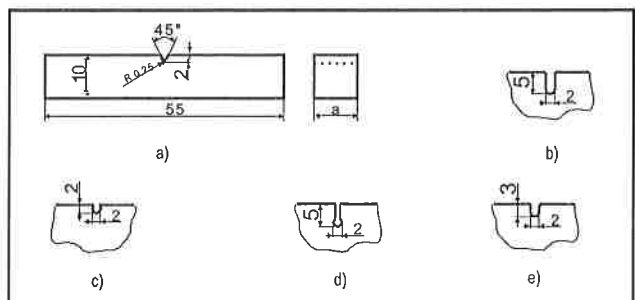
$h_1$  – az inga ejtés előtti helyzetének magassága (m),

$h_2$  – az inga ejtés utáni holtponthelyzetének magassága (m).

Mivel az inga magassága arányos a szögelfordulással, ezért a műszer skálája közvetlenül az ütőmunka értéket mutatja.



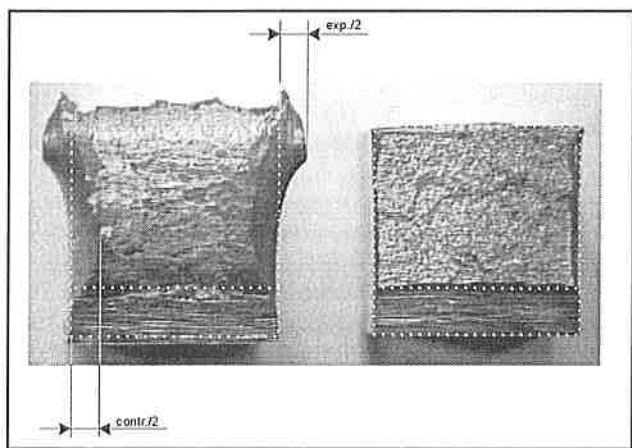
1. ábra. A Charpy által javasolt próbatest



2. ábra. A próbatest bemetszésének főbb típusai: a) Charpy-V, b) Charpy-U, c) Mesnager, d) Charpy-kulcslyuk és e) DVM

Mínél szívósabb az anyag, az ütőmunka annál nagyobb értékű (azaz  $h_2$  annál kisebb), egyre kisebb ütőmunkához az anyag egyre ridegebb állapota tartozik (azaz egyre nagyobb  $h_2$ ).

A rideg és szívós állapot azonban más módon is elhatárolható egymástól. A töretfelületen a rideg töret aránya arányos az anyag rideg állapotával. A keresztirányú expanzió esetleg kontrakció mértékéből a ridegedés szintén meghatározható (3. ábra). Ezt az eljárást először Gross és Stout javasolta 1958-ban [3]. Amennyiben  $e$  paraméterekre határértéket írunk elő (adott értékű ütőmunka: 27 J vagy 40 J; a ridegen tört felület aránya: 50%; keresztirányú expanzió:  $b = 0,4$  mm) az anyag átmeneti hőmérséklete meghatározható.



3. ábra. A keresztirányú expanzió (exp.) illetve kontrakció (contr.) meghatározása

A vizsgálat (már az akkori állapotában is) lehetővé tette a feszültségállapot, a hőmérséklet valamint az ütési sebesség hatásának elemzését. A feszültségállapot befolyását különböző bemetszésű próbatestek ütésével lehet vizsgálni. A különböző hőmérsékleteket valamilyen fűtő- vagy hűtőközeg segítségével lehet biztosítani (kemence, szárazjég, folyékony nitrogén stb.). A különböző ütési sebességet pedig a (2) összefüggésnek megfelelően az inga ejtési magasságával állíthatjuk be a kívánt értékre. Hasonlóan az (1)-hez, itt is az inga magasságánál egyszerűbb az inga elfordulását meghatározni.

$$v = \sqrt{g \cdot h_1} \quad (2)$$

Ahol  $v$ : az ütési sebesség (m.s<sup>-1</sup>),  $g$ : a nehézségi gyorsulás  $\approx 9,81$  (m.s<sup>-2</sup>),  $h_1$ : az inga ejtés előtti helyzetének magassága (m).

### Műszerezett ütővizsgálat

A későbbiek során a vizsgálat úgy fejlődött tovább, hogy a gazdaságosság megőrzése mellett célul tűzte ki az anyag rideg-szívós állapotának mélyebb megismerését is.

Az első műszerezett ütővizsgálatról szóló közleményt 1925-ben publikálja F. Körber és H. Arnold Düsseldorfban a Kaiser Wilhelm Institut für Eisenforschung kiadványában [4], azonban csak 1946-ban készítenek el az első műszerezett ütőművet [6].

Az 1970-es évek kezdetétől megjelennek a témához kapcsolódó különböző szabványok, előírások:

- 1970: ASTM STP: Impact Testing of Materials (Anyagok ütővizsgálata),
- 1977-80: ASTM E 24.03 szabványajánlás a műszerezett ütővizsgálatról,
- 1986: DVM Merkblatt a műszerezett ütővizsgálatról,



4. ábra. Az első „műszerezett” ütővizsgálatról szóló közlemény

- 1991-93: az ESIS TC5 Sub-committe kidolgozza a fémek anyagok műszerezett Charpy-V ütővizsgálatáról szóló szabványajánlást,
- 1992: az ESIS TC5 Sub-committe kidolgozza az előreprezített próbatestek műszerezett ütővizsgálatáról szóló szabványajánlást,
- 1996: ISO szabványjavaslat a műszerezett ütővizsgálatról.
- 2001: a kisméretű Charpy-próbatestek műszerezett ütővizsgálata (ESIS javaslat)

Az évszámokat tekintve látható, hogy a Charpy által javasolt ütővizsgálat az egy évszázados történelme során (1901-2001) nagy változáson ment keresztül [5, 6, 7]. A mért jeleket eleinte memória oszcilloszkóp, napjainkban pedig számítógép jeleníti meg és rögzíti.

Az oszcilloszkóp által mutatott erő-idő, erő-próbatest behajlás diagramokat le kellett fényképezni, ami egyrészt időigényes volt, másrészt sok tényezőtől függött a kapott kép minősége (megvilágítás, filmérzékenység stb.). Az utóbbi évtizedekben a számítástechnika és az elektronika rohamos fejlődése lehetővé tette a jelek mind pontosabb és mind megbízhatóbb regisztrálását. A mért értékek tárolhatók, megjeleníthetők, valamint további számításokat is végezhetünk rajtuk vagy a mérésadatgyűjtő vagy valamilyen más egyéb szoftver (táblázatkezelők) segítségével. Az így tárolt mérési adatok egymással összevethetők és diagramon is szemléltethetők. A szoftver (és használója) rugalmasságán múlik, hogy a diagramon mely jellemzőt mely jellemző függvényében ábrázol. Elterjedtebbek az erő-idő, illetve erő-behajlás diagramok. Azonban lehetőség van az energia, a sebesség, a gyorsulás (lassulás) számítására is a következők szerint:

A kalapács sebessége  $v(t)$  a  $t$  időpillanatban (s) a következő összefüggéssel határozható meg:

$$v(t) = v_0 - \frac{1}{m} \int_{t=0}^t F(t) dt \quad (3)$$

ahol,  $m$  – a kalapács redukált tömege (kg),  
 $F(t)$  – a mért erő időbeni változása (N),  
 $v_0$  – a kalapács sebessége az ütés pillanatában (m.s<sup>-1</sup>).

A  $v_0$  sebesség az inga kiinduló szöghelyzetéből és az inga redukált hosszából meghatározható.

A kalapács gyorsulása (illetve lassulása)  $a(t)$  a  $t$  (s) idő függvényében:

$$a(t) = -\frac{1}{m} \cdot F(t) \quad (4)$$

Abban az esetben, ha a próbatest és az ütőkos érintkezésénél fellépő képlékeny alakváltozástól (benyomódástól) eltekintünk a próbatest behajlása a sebességfüggvény ismeretében a következőképpen határozható meg:

$$f(t) = \int_{t=0}^t v(t) dt \quad (5)$$

ahol,  $f(t)$  – a próbatest behajlása (m) a  $t$  időpillanatban,  
 $v(t)$  – a próbatest sebessége (m.s<sup>-1</sup>) a  $t$  időpillanatban.

Az energia időbeni változása:

$$E(t) = E_0 - F(t) \cdot f(t) \quad (6)$$

ahol,  $E(t)$  – az energia  $t$  időpillanatbeli értéke (J),  
 $E_0$  – az inga maximális ütőenergiája (J).

A törési munkának a repedés keletkezésére fordított része:

$$W_i = \int_{f=0}^{f_{F,max}} F(f) df \quad (7)$$

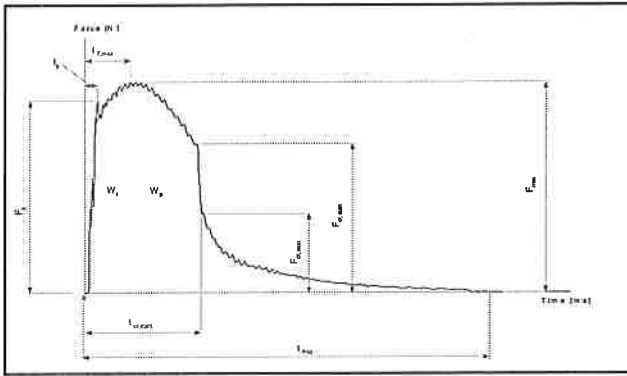
A törési munkának a repedés terjesztésére fordított része pedig az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$W_p = \int_{f_{F,max}}^{f_{F,frac}} F(f) df \quad (8)$$

ahol,  $f_{F,max}$  – a maximális erőhöz tartozó behajlás (mm),  
 $f_{F,frac}$  – a teljes töréshez tartozó behajlás (mm),  
 $F(f)$  – az erő-behajlás függvény  $f$  pontbeli értéke.

A műszerezett ütővizsgálat során kapott erő-idő diagram kiértékelését mutatja az 5. ábra.

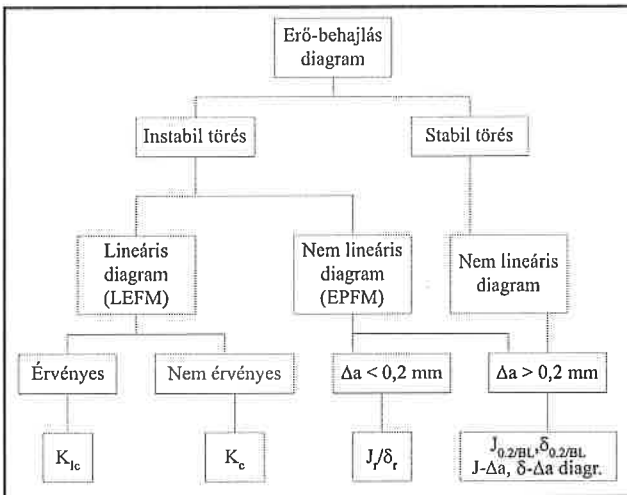
A bemetszett próbatestek vizsgálatán felül lehetőség van bemetszett



5. ábra. Erő-idő diagram, amelyből a következő jellemzők határozhatók meg:

- $F_y, t_y, f_y$ : Rugalmassági határhoz tartozó erő, idő és behajlás
- $F_{max}, t_{Fmax}, t_{Fmax}$ : A maximális erő és a hozzátartozó idő és behajlás
- $F_{cr, start}, t_{Fcr, start}, t_{Fcr, start}$ : Az instabil repedésterjedés kezdetéhez tartozó erő, idő és behajlás
- $F_{cr, stop}$ : Az instabil repedésterjedés végéhez tartozó erő
- $t_{frac}$ : A teljes törésig eltelt idő
- $F_{drop}$ : Erőcsökkenés a repedésterjedés folyamán (=  $F_{cr, start} - F_{cr, stop}$ )
- $f_{frac}$ : A teljes töréshez tartozó behajlás
- $W$ : A törési munka (=  $W_i + W_p$ )
- $W_i$ : A törési munka repedés keletkezésére fordított része
- $W_p$ : A törési munka repedés terjesztésére fordított része

előrepszett próbatetek vizsgálatára is, amellyel különböző dinamikus törésmechanikai jellemzőket határozhatunk meg. A próbatetek törési viselkedésétől függően különböző mennyiségek határozhatók meg [6]. Ezeket foglalja össze a 6. ábra.



6. ábra. Meghatározható törésmechanikai jellemzők

LEFM = Linear Elastic Fracture Mechanics (Lineárisan rugalmas törésmechanika)  
 EPFM = Elastic Plastic Fracture Mechanics (Képlékeny törésmechanika)

$K_{Ic}$  – Törési szívósság;  $K_c$  – Feltételezett törési szívósság.

$J_I$  és  $\delta_t$  – A repedés megindulásához tartozó J integrál és repedéskinyílás.

$J_{0,2/BL}$  és  $\delta_{0,2/BL}$  – A 0,2 mm-es repedésnövekedéshez tartozó J integrál és repedéskinyílás;  $\Delta a$  – Repedés növekedésének mértéke

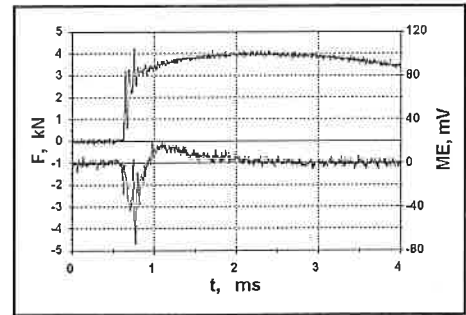
### A továbblépés lehetőségei

Az anyagvizsgálatok fejlődési célja a minél több jellemző minél pontosabb mérése, ezért a műszerezett ütővizsgálat fejlődése is ezen a két úton halad. A minél pontosabb mérést az elektronika és a számítástechnikai rohamos fejlődése teszi lehetővé. Ezzel szemben a minél több jellemző meghatározására való törekvést, az újabb vizsgálati technikák kialakítását az anyagban a vizsgálat során lezajló folyamatok pontosabb

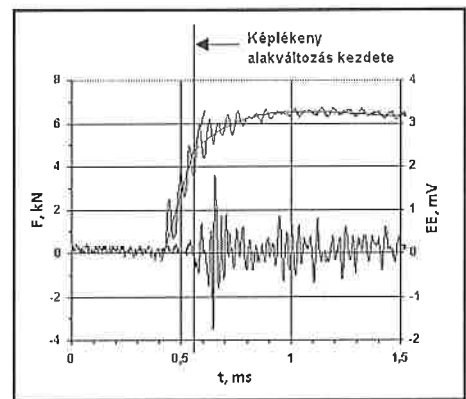
megismerése segíti. Ennek csak egy része a technikai fejlődés, a másik részét a fejlesztők tudása jelenti.

Ezen újabb technikák egyike a mágneses emissziós, illetve elektromos emissziós kiegészítő jelek regisztrálásán alapszik. Ekkor a vizsgálat során az erő-idő diagramon kívül még a mágneses emisszió illetve az elektromos emisszió változását is rögzítik.

A mágneses emisszió mérésével (7. ábra) lehetőség nyílik rideg anyagoknál az instabil repedésterjedés kezdetének pontos mérésére, mert a repedés megindulásakor nagy mágneses jel jelenik meg a diagramon. Ezt a változást a próbatestből kilépő mágneses erővonalak okozzák. Szívós anyagoknál sok esetben a mágneses emissziós jel integrál értékének – ami arányos a mágneses térerősséggel – változásából lehet következtetni a stabil repedésterjedés kezdetére [7]. Az elektro-emissziós vizsgálat során a jelek megjelenése a fémek esetében a képlékeny alakváltozás kezdetéhez köthető (8. ábra), míg bizonyos műanyagok esetén az instabil repedésterjedés kezdetéhez. Azonban a vizsgálat fizikai háttere még nem teljesen tisztázott, ezen a téren további kutatások szükségesek.



7. ábra. Erő és mágneses emisszió diagram



8. ábra. Erő és elektro-emisszió diagram

### Összefoglalás

E rövid áttekintésből is látható, hogy az anyagvizsgálatok terén is jelentős változásokat hozott az eltelt évszázad. Az elektronika (és ezen belül főleg a számítástechnika) rohamos fejlődésével lehetővé válik a fizikai folyamatok mind pontosabb megismerése, mely minden kutatásnak alapvető célja.

### Irodalom

- [1] S. B. Russel: Experiments with a New Machine for Testing Materials by Impact, ASCE Transactions, 1898., No. 826, p. 237-272.
- [2] M. G. Charpy: Note sur l'essai des métaux à la flexion par choc de barreaux entaillés, Société anonyme d'imprimerie de Pest, Budapest, 1901
- [3] J. H. Gross, R. D. Stout: Welding Journal, 1958/4., p. 151-155.
- [4] Körber, F. und H. A. v. Storp (1925): Über den Kraftverlauf bei der Schlagprüfung. Mitt. KWI f. Eisenforschung Düsseldorf 7, 81 - 97
- [5] Romvári P., Tóth L.: Az ütőhajlító vizsgálat információtartalma, Gép. 1975/7. p.245-252.
- [6] Lenkeyné Biró Gyöngyvér: Ütővizsgálat információtartalma – hagyományos, műszerezett, Gép, IL. évfolyam, 1997. 7-8. szám, p. 55-64.
- [7] Gy. B. Lenkeyné, S. Winkler: On the applicability of the magnetic emission technique for the determination of ductile crack initiation in impact tests, 7<sup>th</sup> Int. Conf. on Mechanical Behaviour of Materials, ICM 7, The Hague, The Netherlands.