

Antimonos ólomrácsok szilárdságnövelése

Dobránszky János–Precskó József

Bevezetés

A savas-ólom akkumulátorok gyártása során nagyon lényeges, hogy az öntött rácsok szilárdsága elérjen egy olyan értéket, amely a gyártási folyamat egyes szakaszaiban biztosítja, hogy a rácsok a mechanikai terhelések ellenére ne deformálódjanak. Csak olyan megoldások jöhetnek számításba, amelyek a kész akkumulátor elektromos, elektrokémiai és felhasználói tulajdonságait – s korántsem mellékesen: az árát – nem befolyásolják kedvezőtlenül.

A Perion Rt. és a BME együttműködésében olyan célt fogalmaztunk meg, hogy a savas-ólom akkumulátorok hagyományos Pb-Sb rácstüzetének szilárdságnövelési lehetőségeit feltárjuk. Az adott cél megvalósítására a szóbanforgó ötvözet (melynek kémiai összetétele súly%ban: Sb = 1,70, Se = 0,024, As = 0,110, Sn = 0,054, Cu = 0,010, Bi = 0,019 továbbá 2 ppm Cd, 5 ppm Ni és 10 ppm Zn) azon jellegzetességét használtuk ki, hogy kitűnően alkalmazható a kiváló keményedésen alapuló, klasszikusnak mondható szilárdságnövelési módszer, ugyanis az antimon oldhatósága az ólomban a 252°C-on lehetséges 3,5 súly% értékről a hőmérséklettel rohamosan csökken.

Az ólomrács szerepe az akkumulátorban

A kentlemezes ólomakkumulátorok rácsainak két alapvető funkciójáról kell beszélni. Az egyik az aktívanyag mechanikai megtartása, hordozása, a másik az áramvezetés.

Tartó-hordozó funkció

Az ólomvegyületekből álló aktívanyagot speciális célgépek segítségével kenik, préselik a rácsszalák közé. A kenéstechnikától függően különböző méretű ólomkeret övezi a rácsszalákat, ami megvezeti a kenőhengert és távtartóként meghatározza a rácsba kenhető aktívanyag térfogatát. Rendkívül fontosak az ólomrácsok szilárdsági jellemzői, mivel az akkumulátor működése során többféle mechanikai igénybevétellel kell számolni. Az egyik ilyen igénybevétel a rázás, amely végigkíséri a rácsokat „életük” során a gyártás közben végzett szereléstől és anyagmozgatástól a gépjárműben történő működésig. A rezgés csökkenthető ékeléssel, műanyag kiöntéssel, de teljes mértékben nem küszöbölhető ki. A másik igénybevétel az aktívanyag folyamatos térfogatváltozása, mely a működésre jellemző töltés-kisütés eredménye. E térfogatváltozások folyamatos hajlítói igénybevételt jelentenek a rácsszalákra (egy targonca cellarácsánál akár 1000 föléti ciklusszámmal is kalkulálhatunk). A harmadik igénybevétel csak a pozitív rácsokra jellemző, melyek esetében az akkumulátor működése folyamán, az üzemeltetési paraméterektől függően, a rács folyamatosan oxidálódik, változik a mérete, a térfogata. A méretnövekedés az előbb említett targonca cellánál az élettartam során több milliméter, amit a gyártók a póluscsonk kialakításánál vesznek figyelembe.

A mechanikai jellemzők javítására az általában 99,98% tisztaságú ólomot antimonnal (1,4–10%), arzénnal, szelénnel, ónnal (0,01–0,2%), illetve egy másik ötvöztési rendszer szerint kalciummal (0,02–0,2%), alumíniummal, ónnal (0,02–0,7%) ötvözik. Természetesen az ötvözők mennyiségének határt szab az akkumulátor egyik legfontosabb jellemzője, a vízfogyasztás, amely az ötvözőtartalommal fordítottan arányos.

Áramvezető funkció

Nem kisebb fontosságú az előbb ismertetettnél a rácsok áramvezető funkciója. Különösen a nagy áramerősségű terheléseknek alávetett konstrukciónál – a megfelelő aktívanyag-kihasználás érdekében – rendkívül fontos a megfelelő méretű és elrendezésű rácsszerkezet kialakítása. Itt is ki kell emelni a pozitív rácsokat, hiszen a kereszt-

metszet tervezésekor figyelembe kell venni a rácsszalák folyamatos oxidációját, és az élettartam utolsó szakaszában is biztosítani kell a megfelelő áramvezető keresztmetszetet.

A két itt említett rácsfunkció figyelembevételével, az akkumulátor méretétől és igénybevételétől függően, különböző méretű és konstrukciójú rácsokat alkalmaznak. Ezek megtervezésekor, mint már jeleztük, tekintettel kell lenni az akkumulátorok tömegének limitálására és a gazdaságossági tényezőkre is. A már említett két fő ötvöztési rendszerre visszautalva, a rácstüzetek kiválasztásánál a jellemző tendencia az Sb-tartalom csökkentése, illetve a kalcium antimon helyettesítő alkalmazása. Ezek a tendenciák helyezték előtérbe a rácsok szilárdságának öregítéssel történő növelését, ui. a csökkenő Sb-tartalom növeli a rácsok természetes keményedésének idejét, ami rontja a termelés rugalmasságát, növeli a raktározási igényt. Az alacsony hőmérséklet – téli tárolás – ugyancsak ezeket a hátrányos tényezőket erősíti.

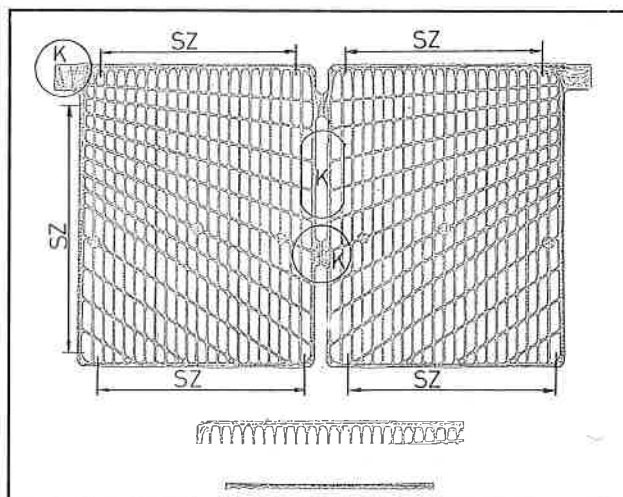
A vizsgálatok technikája

A témában közölt publikációk is alátámasztják, hogy az antimonos ötvöztetben a kiválókat képező zónák szubmikroszkópiusak, egyes ötvöztetben pedig, amennyiben az öntést nem mélyhűtés és alacsony hőmérsékletű tárolás követi, a kiválasztási folyamatok gyors előrehaladása csak azok kései szakaszának megfigyelését teszi lehetővé. Ez a körülmény is indokolta, hogy olyan vizsgálati technikát alkalmazzunk, amely egyszerű és megbízható módszert jelent a rácsok anyagában bekövetkező szilárdságnövekedés ellenőrzésére.

Szakítóvizsgálat

A szakítóvizsgálattal a rácsanyagok szakítószilárdságát (R_m) és egyezményes folyáshatárát ($R_{p0,2}$) határoztuk meg, mint szilárdsági mérőszámokat. A vizsgálat céljára használt próbatesteket az 1. ábra szerint munkáltuk ki közvetlenül az öntött rácsból (SZ). Tehát nem külön formába öntött próbatesteket vizsgáltunk – ami egyébként szokásos gyakorlat volt mindaddig –, hanem a rácsokból, mint szerkezetekből vettük ki a próbatesteket, mégpedig olyan helyről, ami a rács egészének szilárdságát illetően eleve a leglényegesebb összetevő. A szakítószilárdság és az egyezményes folyáshatár meghatározásához az alábbi formulával számítottuk az S_0 effektív keresztmetszetet:

$$S_0 = \frac{D_N^2 \cdot \pi}{4}, (\text{mm}^2); \text{ és } D_N = \sqrt{\frac{4 \cdot M}{\rho \cdot \pi \cdot L_0}}, (\text{mm})$$

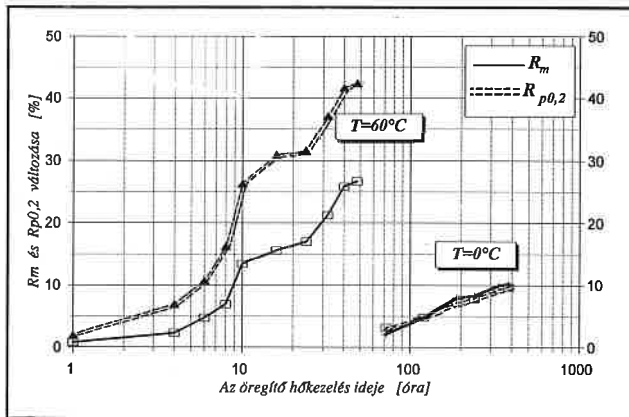


1. ábra. Mintavétel az öntött ólomrácsból

VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A képletekben D_n az „effektív átmérő”, M a próbatest tömege, ρ az ötvözet sűrűsége, L_0 pedig a próbatest hossza. A próbatestek hosszváltozásából a nyúlás is meghatározható, de jelen esetben számunkra ez érdektelen volt.

A rácsötvözet szakítószilárdsága az öntést követően 37,8 MPa, egyezményes folyáshatára 27,2 MPa értékű volt. Ennek a kiinduló szilárdságnak a változását vizsgáltuk különböző tárolási és mesterséges öregítési feltételek hatására, ílymódon modellezve a gyártási technológia adott körülményeit. A 2. ábra mutatja be a szilárdsági jellemzők változását két különböző hőmérsékleten végzett öregítés után.

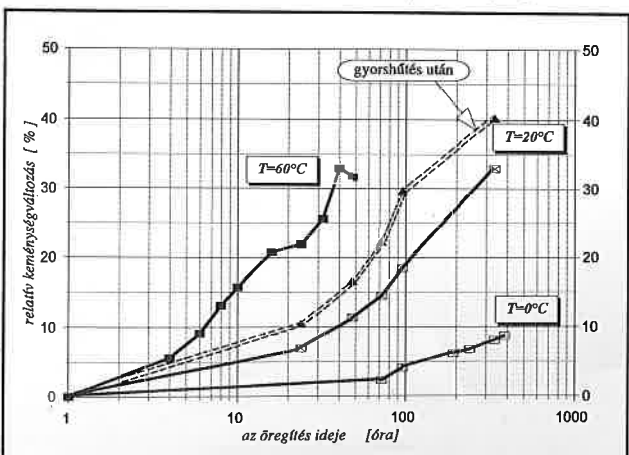


2. ábra. A szakítószilárdság (R_m) és az egyezményes folyáshatár ($R_{p0,2}$) százalékos változása az öregítő hőkezelés közben

A keménységmérés

A lágy ötvözetek keménységének méréséhez leginkább a Brinell-módszert alkalmazzák, így a témába vágó publikációk zöme is Brinell-keménység értékeket (HB) közöl. A vizsgálatokat 15,625 kp terheléssel, 2,5 mm átmérőjű golyóval, 15, illetve 30 s terhelési idővel végzik, általában 6–8 mm vastagságú próbatesteken.

A 0,8–1,5 mm vastagságú rácskereteken való mérésekhez mi a kisterhelésű Vickers-keménységmérést alkalmaztuk 500 g terheléssel ($HV_{0,5}$) 15 s terhelési idővel. A próbatesteket a méréshez az 1. ábra K jelű helyeiről vágtuk ki. Előkészítésük 800-as finomságú csiszoló-papíron nedves kézi csiszolással történt, polírozást nem alkalmaztunk. Az ötvözetből öntött rácsok átlagos keménysége közvetlenül az öntést követően: $HV_{0,5} = 11,9$ értékű volt. Ennek változását mutatjuk be a különböző öregítési feltételek hatására a 3. ábrán. Ezen az ábrán, az előzőleg bemutatottak mellett, látható a 20°C -on tárolt ötvözet keménységének változása is, mégpedig két különböző hűtési sebességgel kombinálva. Látható, hogy a levegőn lehűtött rács keményedése elmarad a vízben gyorsított rácsétól. A keménységnövekedés eltérésnek mértéke a 15%-ot is eléri, a $HV_{0,5}$ keménység értékének



3. ábra. A relatív keménységváltozás az öregítő hőkezelés közben

eltérése pedig 10–12%. Azt az egyéb kísérleti tapasztalatok alapján tesszük hozzá, hogy a legmagasabb hőmérsékletről vízben lehűtött rácson érhető el a legnagyobb keménységnövekedés.

A Pb-Sb kétkötésű ötvözetben az α -szilárdoldat maximális Sb-tartalma 252°C -on 3,5 súly%, a hőmérséklet csökkenésével pedig rohamosan csökken az oldható Sb-tartalom (korlátol oldódás). 1,7% Sb-tartalomnál, tehát a vizsgált rácokban, kb. 200°C -on indul meg az antimon kiválása, amely lassú hűtés esetén a csaknem tisztán Sb-tartalmú β -szilárdoldat nagy méretű, makroszkópikus csomóinak egyensúlyi második fázisként történő kiválását jelenti. Ellenben, ha a lehűtés gyors, az egyensúlyi kiválás nem tud végbemenni, az α -szilárdoldat nagymértékben túltelítette válik, hiszen a szobahőmérsékleten egyensúlyi, néhány tizedszázalék Sb helyett 1,7%-ot tartalmaz. A keményedési folyamat ennek a nemegyensúlyi, metastabil állapotnak az újrendeződését jelenti, melynek során olyan atomcsoportok, zónák jönnek létre, amelyek nagyon finom, diszperz eloszlást mutatnak az ólom mátrixban. A kiválások mátrixszal alkotott határfelülete koherens, de a koherencia romolhat a kiválási zónák méretének növekedésével. A kiválások jelentősen akadályozzák a diszlokációknak a mozgását, ami a keménység növekedésében fejeződik ki (a diszlokációk mozgásához szükséges feszültség ugyanis jelentősen megnövekszik, ha azoknak a mátrixszal koherens határokat képező kiválásokon kell „átvágni” magukat). A kiválási folyamatok a metastabil állapotból természetes módon is végbemennek (természetes öregedés) – ezt tükrözik az előző ábrák is –, de hőkezeléssel jelentősen meggyorsíthatóak (mesterséges öregítés), lévén ezek is termikusan aktivált folyamatok.

Összegzés

Az olyan ólomötvözetekben, amelyeknek a kémiai összetétele olyan, hogy valamely ötvöző oldhatósága a hőmérséklettel csökken, sikeresen alkalmazható szilárdságnövelő módszer a kiválósos keményítés. A szakítóvizsgálatból meghatározott mechanikai tulajdonságok és a keménység relatív változását feltüntető 2. és 3. ábra világosan jelzi hogy a vizsgált antimonos ólomötvözet esetén 10–12 órás hőkezeléssel számottevő szilárdságnövekedés érhető el, különösen az egyezményes folyáshatár növekedése jelentős, ami igen kedvező a feldolgozás során, ugyanakkor kb. 40 órán túl a hőntartási idő növelésének már nincs igazán kedvező hatása, sőt a túlóregítés veszélye léphet fel. Tapasztalataink és az előzőekben ismertettek alapján leszögezhető, hogy a lágy anyagok mechanikai tulajdonságainak vizsgálatára általunk alkalmazott metodika eredményes, alkalmazható. A Vickers-keménységmérés alkalmazása és a szerkezetből kimunkált próbatesekkel végzett szakítóvizsgálat szükségtelemmé teszi a vizsgálati próbatestek külön történő legyártását, tehát közvetlenül a gyártmány mechanikai tulajdonságai határozhatók meg a vizsgálatokból.

Felhasznált irodalom

- Prohászka János: A közepes hőmérsékleten igénybevett fémes szerkezeti anyagok mechanikai tulajdonságainak várható fejlődése, Műszaki Tudomány 44, 1971.
- W. F. Gillian–D. M. Rice: Grid-Alloy Age-Hardening and its Effect On Battery Manufacturing Processes, Journal of Power Sources, No. 38. 1992.
- D. Berndt: Stationary Lead-Acid Batteries With Selenium Alloys, VARTA, Spezial report, 1/1980.
- Lendvai János: Kiválósos keményedés, Magyar Fizikai Folyóirat, XXIX. 3. 1981.
- Prohászka János–Répaši Gellért: A szerkezeti acélok szilárdságnövelésének mechanizmusai, A szilárdtestkutatás újabb eredményei, Akadémia Kiadó, Budapest, 1988.
- Binary Alloy Phase Diagrams, szerk.: T. B. Massalski, ASM International, 1990.

951 019 146/147



INSTRON

issue 1

rapport

The latest news in applied Instron technology

- Getting hip at 65
- The great shake of 1755
- Hanging by a thread
- Going with the grain in Japan

Instron active

Instron is playing an essential role in helping older citizens feel young again. Our 8511 Biomechanic testing systems are proving the resilience of the artificial



hips, knees, shoulders and ankles that many people of mature years now benefit from.

More than half a million hip joints and 200,000 knee joints are replaced each year, thanks to

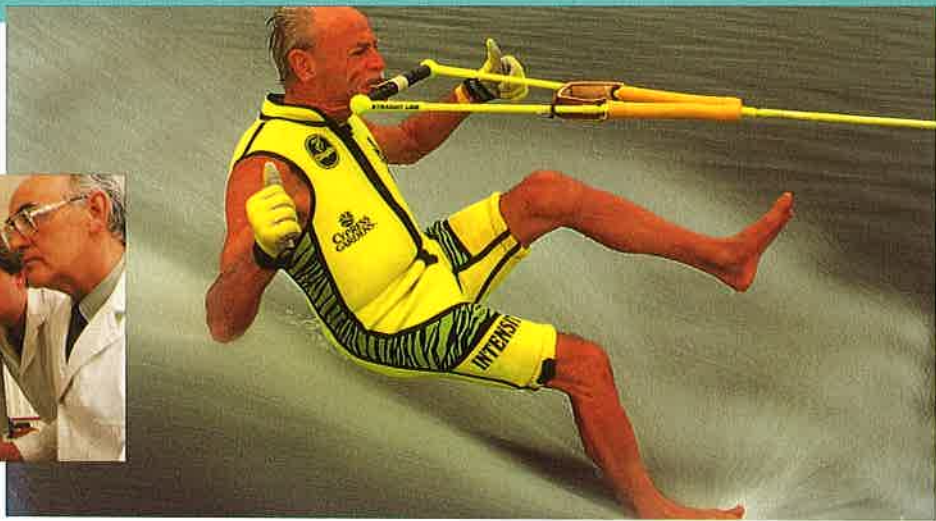
improvements in design by experts such as the AEA Biomedical Research Centre, and by the fatigue testing of prostheses carried out on Instron equipment.

At AEA, they are testing hip components using loading patterns

recorded from actual patients who have been fitted with artificial hips. The implants are tested by embedding the stem into a tube with cement and loading through the head of the implant, using the Instron system to reproduce the

precise loading patterns.

The aim is to double the typical life of these implants from 15 to 30 years, giving recipients of the artificial joints the welcome prospect of a much longer active, sporting life.



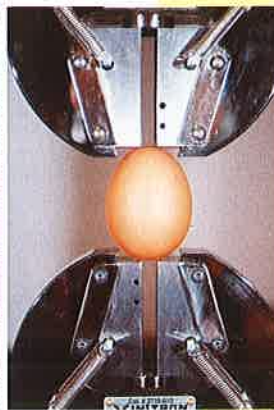
Satisfying the Sausage Standard

The Spanish know what makes a superior sausage. One of the key ingredients is an Instron 4301, specially imported to test meat products including lamb, cured ham and the "Longanizas" cured sausage which is so popular in Spain.

With Instron food-testing fixtures attached, the Facultad Veterinaria at the University of Zaragoza in Aragon can evaluate product quality and curing state of the product. Using Instron's Series IX V.5 software, they can measure and compare the all-important characteristics of puncture resistance, shear and compression strength for batch after batch of sausages.

Longanizas, like Salami, are air-cured products which take time to reach their best and are quite hard when fully cured. The puncture resistance is used to tell whether the process is complete, if the resistance falls as the probe progresses, the centre of the sausage is soft and not fully cured. A good sausage is one that shows steady resistance throughout.

WHAT BREAKS NEW GROUND, BUT WON'T SMASH AN EGG?



Take one egg, place gently in a receptacle and suddenly release a heavy load above it at full speed. A recipe for a smashed egg? Not with the Instron 5500 series.

Without the aid of any form of magic trickery, the ground-breaking 5500 can handle any object with the gentlest of touches. Called Specimen Protect, the feature has benefits in applications such as ceramics testing, in which the slightest overload can ruin a specimen before the test has even begun. Specimen Protect detects an increase in load fast enough to ensure that the egg doesn't even crack. Specimen Protect is just one of the many

new features which have been incorporated into the 5500 Series as a result of a global survey which Instron carried out whilst developing the product. The others are detailed in a new brochure – ask your local Instron representative for details.



Read Any Good Books Lately?

So it may not top this summer's best-selling book lists, but there's a new book out now that people in many industries will find they just can't put down.

Packed with more than 1,000 of the latest and most popular accessory products from the Instron range, the "Instron Direct" catalogue is a 120-page production and is available to all decision makers and buyers throughout Europe, the Middle East and India.

Amongst the transducers, temperature cabinets, grips, software, plotters and furnaces are new releases such as our Video Extensometer, which measures strain and extension without making contact with the test specimen and without the errors inherent in line-scan laser-based systems. For the full story, put yourself on the mailing list by calling 0494 464646.



WHAT'S THE COST OF QUALITY?

It's probably less than you think, if you're considering Instron's latest innovation.

The new Instron 4411 Testing System has been developed to bring new levels of quality to the largest possible market by selling at a competitive price that ensures the best value for money.



Despite its bargain price, the 4411 delivers impressive and useful performance. With its 5kN load capacity, it's ideal for rigid plastics, composites and light metal tests. A maximum speed of 500mm/min means you can test all sorts of elastomers and it has a load weighing accuracy of 0.5%, all in all it's capable and versatile. It can also be linked directly to your computer and our hugely successful Series IX software package can be used for setting up and reporting materials



tests in tension, compression, flexure, peel, tear and friction. The cost of quality doesn't need to be high with the new 4411 - it's lots of testing for your money.

Instron make good, for wood testing



How to test 5 metre long, 40 cm diameter columns of Japanese Cedar was the task set by Japan's Kyoto University Wood Science Laboratory (above), a task taken up by Instron Ltd and Instron Japan as a joint venture.

The Japanese cedar poles are used as telegraph poles and in civil engineering projects and had to be accommodated in the 1MN servohydraulic system so they could be tested in compression at loads of up to 600kN, within the confines of the laboratory (below right).

The system, which is 9 metres wide and 5 metres high is sunk into the ground to allow easy access to the working area and incorporates a base which weighs approximately 10 tons. The machine was built in the High Wycombe, U.K., factory and the base was fabricated locally in Japan. An important factor in clinching the order was the requirement that the machine should be ready for the opening of the new Wood Science Laboratory building in April 1994.

To meet the deadline, the base design was sent to the Japanese manufacturer while work commenced in High Wycombe on the frame and control system.

Finally the frame and electronics, which comprised an Instron 8500 Series servohydraulic controller, were air-freighted to Kyoto where all the elements were assembled on-site. The installation was completed on time and to the client's satisfaction.

The four-point flexure fixture provided with the system, designed by Instron Japan, is immense - accommodating tests with a lower span of 8 metres and upper span of 3 metres, the laboratory are using this in the testing of fibreboard materials at loads of up to 300 kN.



'A tiger has been released in the Instron 8502,' says Vidar Granerød, Materials Testing Manager of Norway's Jotun Polymer, Europe's leading supplier of gelcoat and polyester resins. The 8502 has opened up a completely new world of materials testing for Jotun Polymer whose products are sold throughout the world. With its totally digital design and multiprocessing capability the Instron 8502 is not subject to the limitations imposed by analogue and hybrid systems, and virtually any test requirement can be met, including Jotun's tension, compression, torsion and long term fatigue tests. "Our investment in Instron's latest technology will strengthen our competence and knowledge, particularly with respect to advanced composite materials", says Mr Granerød.



BRIDGING THE SAFETY GAP



You'll find it in the Second Severn Crossing (one of Europe's biggest construction projects, providing an alternative link between England and Wales) and in countless other new concrete-based building structures around the world. We're talking about wire rope, one of the foundations of new building technology.



Yet is wire rope being stretched beyond its capabilities? Diameters of 250mm and loads of 4000 tonnes are now the norm, but it is the strength to weight ratio of these ropes that is becoming the limitation, and the race is now on to find alternative materials.

Instron is taking the strain with a variety of systems capable of testing both multistrand and reinforcing ropes, all available with a new

design of grip that can be used for both tensile quality assurance and high cyclic fatigue testing, and overcomes the risk of slippage or damage which is the major difficulty experienced in testing these ropes.

Instron have recently supplied two systems for testing wire ropes based on 8500 Series Servohydraulic systems to perform to two standards developed for wire rope testing - ASTM A416 and EN 138-79. They had to be capable of testing cables up to 15.7mm in diameter and 1.5 metres in length (to ensure that a representative number of twists in the wire are included in the rope), consequently the machines are 40 to 50% taller than standard models. To work with these systems Instron designed a new long travel extensometer with a gauge length of 500mm specifically for the purpose.

Taking wire rope of such strength to its limits is a demanding and potentially risky process. Instron has minimised the risk and made safety for bridges and modern structures more scientifically refined and reliable.

Generating more G's

Astounding forces are at work in the Formula One Grand Prix world. Not just the army of technicians, mechanics and pit crew, but the lateral, longitudinal and vertical forces that are generated by cars reaching speeds of around 200mph.



Recent tragic events at the San Marino Grand Prix and Imola have stimulated the drive for greater safety and controllable performance. Now Instron is making a major contribution by taking another potential risk out of the equation.

Testing for optimum suspension set-ups and making allowance for the 4g to 5g exerted on high-speed corners is a demanding business. Using a driver and hiring a circuit is unreliable (a driver can't be expected to complete every lap exactly the same) and expensive. There are also potentially catastrophic consequences should the component being tested fail.

That's why top-running teams such as McLaren now use Instron 8500 series simulation testing equipment, effectively bringing the test track into the laboratory. Now a minimum amount of work on the test track recording data is all that's needed, Instron's SPiDAR-2 software

then takes this data and produces drive signals for the rig which closely mimic the original test track effects, thus giving engineers the precise information they need to construct and test prototypes comprehensively and secretly.

Two main types of Instron installation provide this valuable data. The four-post ride simulator reproduces the track surface for lap after theoretical lap. A corner rig allows each wheel's reaction to be analysed separately, measuring its response to all the loads imposed on it.



In their quest for minimum weight, maximum performance and durability, it's likely that more F1 teams will make our expertise a central part of their testing programmes. In a world where every team is looking for the edge, we can help them find a safer margin.

THE BIKING JACKET'S TOUGHEST TRIAL



BMW's biker gear is as well-made as their bikes. That's the message their ad agency wanted to get across - and they relied on Instron to do it.

The idea was to prove the strength of the BMW suit's Kevlar panels and specially developed Schoeller K-300 fibre, by suspending a BMW bike from it. Not unnaturally the concept had to be tested first which is when Instron stepped in with a 5583 system to check the jacket and an extra-height

4505 to try out the trousers.

Using our Instron Merlin software, the jacket was put through a tensile test and easily withstood 281kg (the weight of the bike used in the ad). In fact, it survived loads equal to the weight of BMW's heaviest bike, although it lost a stitch or two in the process.



SCALING DOWN A 'QUAKE

The behaviour of a major earthquake is understandably difficult to predict. Now a significant step forward has been taken in Lisbon, Portugal, itself devastated by a catastrophic 'quake in recent history.

On All Saint's Day in 1755, "a strange and frightful noise underground" (as one survivor described it) presaged the first of three shocks that were to claim around 100,000 lives in what was then one of Europe's busiest ports.

Eighty-five per cent of Lisbon's stone houses were destroyed; the chandeliers rattled at Fahlun in Sweden, 2980 km away.

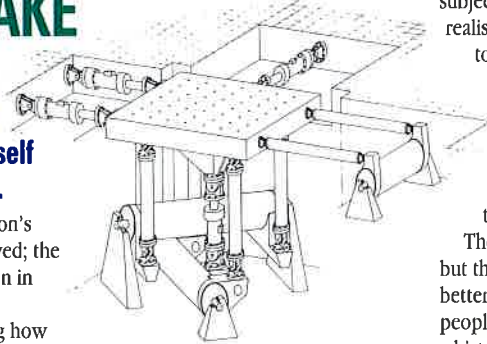
Until now, understanding how buildings behave in a 'quake of this magnitude has been restricted by

the lack of suitable testing facilities. Reproducing accurate results demands a rig big enough to accommodate a large scale model; necessary because scaled down building materials don't perform as they do in real life.

At the laboratorio Nacional de Engenharia Civil (LNEC) in Lisbon, Portugal, they're using

Instron equipment to build one of the largest 3-axis shake tables in Europe. LNEC's Instron system overcomes one of the greatest difficulties encountered in earthquake simulation: achieving accurate reproduction of the short, violent motion in the vertical and both horizontal axes. With a payload of 30 tonnes, this table can subject large scale models to realistic shocks from minor tremors to the most violent earthquakes, measuring their reactions with accelerometers and other transducers.

The acid test is whether the building survives its ordeal. The model may end up as rubble, but the real buildings will have a better chance of standing firm and people in cities such as Lisbon, with a history of earthquakes, will sleep more safely in their beds.



Earthquake testing rig at LNEC Lisbon



Rawlplug is one of the construction industry's best known names in wall fixings and bolts. They've recently taken steps to cement their esteemed status by turning to Instron's technology to test the pull-out strength of their wall-bolts.

Rawlplug are using their 250kN capacity single-actuator rig, which includes an 8500 Series servohydraulic controller, to determine the relationship between the load that it takes to forcibly pull the Rawlbolt out, and the amount by which it moves. They are particularly interested in what

happens in the first stages of movement - less than 0.1mm. By examining a test plot of pull-out distance against load, important phenomena can be evaluated and parameters such as energy expended in extracting the fixture can be calculated.

The test is set up using Instron Series IX software, then an increasing tensile load is applied until pull-out occurs. It is not unusual for the concrete test block to fail before the fixture does! Rawlplug also carry out pull-out tests on pre-cracked concrete samples which are simultaneously subjected to cyclic loads.

This must be reassuring news for Rawlplug and all the companies who rely on their products to uphold their own reputations.

ENJOY THAT MAGIC CARPET RIDE

When Ford launched their new Anglia model in the early fifties, they advertised it as "the car with the magic carpet ride". We might scoff at the claim now, but that's because modern cars have made such great advances in ride comfort and refinement, and the biggest improvements of all have been in reducing NVH - Noise, Vibration and Harshness.

The Ford Motor Company Limited is getting ever closer to genuinely achieving those magic carpet qualities, by undertaking a massive NVH research programme. A large part of the programme is concerned with the quality and durability of their engine mountings. Mountings are becoming ever more sophisticated to improve car occupants' comfort and that means more accurate and comprehensive testing is needed to prove a design's viability.

Ford are one of the first customers for RS Plus, Instron's new

MS Windows-based software for test rig control. Used in conjunction with SPIDAR-2 simulation software, it reproduces the characteristics of Ford's prototypes as they're driven over their tortuous test tracks. Combined with an Instron test rig that uses nine servo-hydraulic actuators to shake the engine on its mountings and apply acceleration and braking loadings, the whole life cycle of a car can be tested in a fraction of the time it would normally take.



Saving time isn't the only RS Plus point for Ford. The system lets them pick up on any piece of data, at any time, for detailed analysis, or run unattended tests - overnight, for example. Any sequence of driving conditions can be simulated, with instant access to the results.

Instron's RS Plus software makes testing straightforward, yet remarkably sophisticated, precisely the image that Ford is striving for in their new cars.

EUROPE

Belgium, Netherlands and Denmark
Edgem Tel: (03) 454-9304 Fax: (03) 434-1244
France
Guyancourt/Paris Tel: 1-3057-2353 Fax: 1-3064-6711
Germany, Austria and Switzerland
Offenbach/Main Tel: 0621 6907-280 Fax: 0621 6907-165
Italy
Milano Tel: (02) 380 00 003 Fax: (02) 308 09 88
Spain and Portugal
Barcelona Tel: (93) 330-8858 Fax: (93) 490-4712
Sweden, Norway and Finland
Stockholm Tel: (08) 640 22 78 Fax: (08) 640 46 02
United Kingdom
High Wycombe Tel: (0494) 464646 Fax: (0194) 456123

USA

California
Los Angeles Tel: (310) 596-5771 Fax: (310) 430-0792
San Francisco Tel: (408) 732-0432 Fax: (408) 732-4239
Delaware
Wilmington Tel: (302) 478-2800 Fax: (302) 478-2804
District of Columbia
Washington Tel: (703) 860-2272 Fax: (703) 860-2591
Georgia
Atlanta Tel: (404) 457-4318 Fax: (404) 457-8859
Illinois
Chicago Tel: (708) 825-6611 Fax: (708) 823-7597
Massachusetts
Boston Tel: (617) 828-2500 Fax: (617) 575-5753
Michigan
Detroit Tel: (313) 522-3080 Fax: (313) 522-6242
Minnesota
Minneapolis Tel: (612) 831-6654 Fax: (612) 831-6689

New York

New York Tel: (201) 379-7676 Fax: (201) 379-5257

Ohio

Akron Tel: (216) 920-1463 Fax: (216) 920-0974
Dayton Tel: (513) 299-0796 Fax: (513) 299-7142

Texas

Dallas Tel: (214) 520-9200 Fax: (214) 520-0310
Houston Tel: (713) 449-9502 Fax: (713) 449-6512

Washington

Seattle Tel: (206) 251-0292 Fax: (206) 251-9502

CANADA

Toronto Tel: (905) 333-9123 Fax: (905) 639-8583

SOUTH AMERICA

Argentina
Buenos Aires Tel: 1-552-5130 (COASIN) Fax: 1-111-427

Brazil

Sao Paulo Tel: 11-284-4885 Fax: 11-284-9626

ASIA

China
Beijing Tel: 1-849-8103/8102 Fax: 1-849-8103

Japan

Tokyo Tel: 044-853-8520 Fax: 044-861-0411
Osaka Tel: 06-389-0306 Fax: 06-337-2390
Nagoya Tel: 052-201-4511 Fax: 052-201-4542

Korea

Seoul Tel: 2-552-2311/2312/2313 Fax: 2-555-9180

Singapore

Tel: 774-3188 Fax: 774-1837

Taiwan

Hsinchu Tel: 3-722-1557/156 Fax: 35-723-746

AUSTRALIA

Victoria Tel: 3-720-3477/3478 Fax: 3-720-3728
New South Wales Tel: 2-878-6248 Fax: 2-878-6241

© Copyright Instron 1994



Dinamikus mechanikai anyagvizsgálatok mérés-technikai problémái

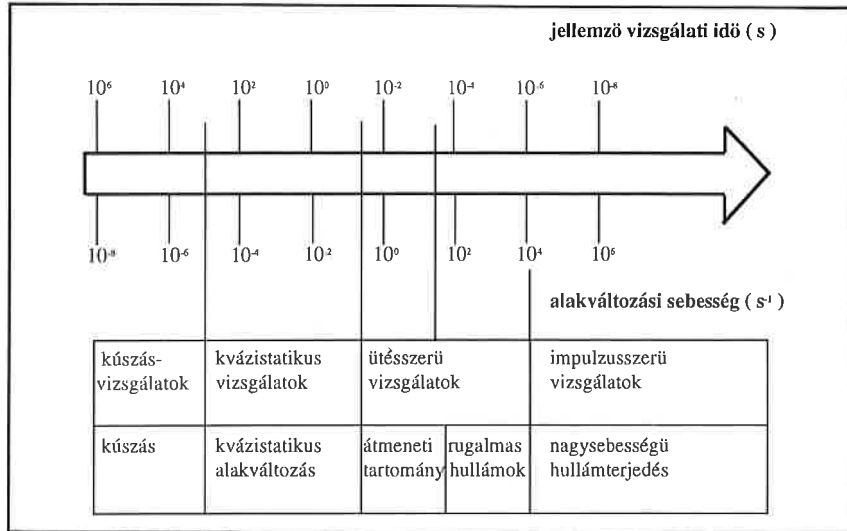
Major Zoltán

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 információtartalmát. Ezzel egyidejűleg jelentkeztek olyan mérés- és vizsgálattechnikai problémák, amelyekkel korábban nem találkozott az anyagvizsgáló. Ha a mechanikai anyagvizsgálatok felosztását tekintjük, hosszúidejű 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 védősíksak 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 vizsgálattechnikára 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 anyagi 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, $E = 1 - 750 \text{ J}$; $v = 3 - 5.5 \text{ m/s}$,
 - ejtősúlyos berendezés, $E = 10 - 1500 \text{ J}$; $v = 1 - 20 \text{ m/s}$,
 - szervohidraulikus anyagvizsgáló gép, $F_{\text{max}} = 250 \text{ kN}$; $v = 0.01 - 20 \text{ m/s}$,
 - 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 hárompontos hajlítópróbával (K_{Ic} , J_{Ic} ASTM E24, ESIS),
 - ütve(dinamikus)szakító vizsgálat (ESIS, ASTM D1822).

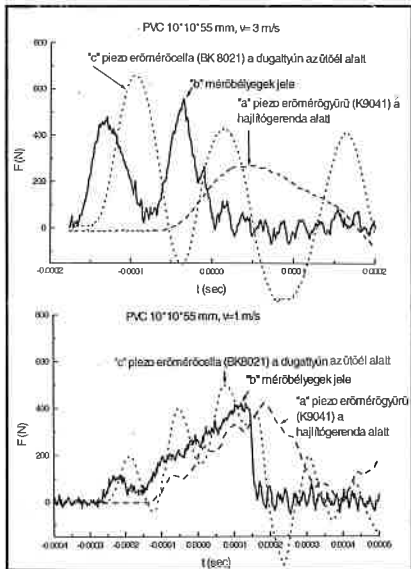
A hagyományos ütővizsgálatok információtartalma műszerezéssel jelentősen növelhető, illetve egyes vizsgálatokat már műszerezéssel együtt fejlesztettek ki. A műszerezéshez kapcsolódnak a bevezetőben már említett mérés-technikai problémák. A műszerezés célja alapvetően az alakváltozási törési folyamat 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 gyorsulásérzékelők, 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

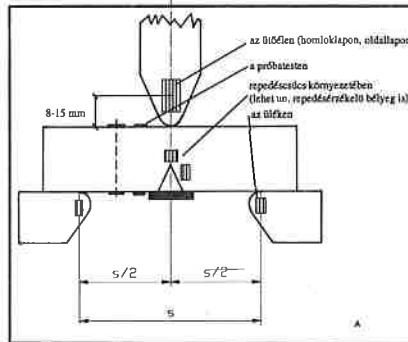
bármilyen célszerűen és átgondoltan is megtervezve, elkészítve jelentősen rontja ezeket az értékeket. Egy beépített piezo-erőmérőcella sajátfrekvenciája 8–12 kHz között mozog és 20 kHz fölé nem vihető. A sajátfrekvencia meghatározza azt, hogy milyen gyors jelet milyen mértékű lengésekkel tudunk mérni. 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, próbatetest, ütőél) 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 titánötveztből készült ütőélel ragasztott 350Ω-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 esetében egy gyengén alulcillapított jelet kapunk, ahol az első csúcs az inerciaerőt mutatja, a

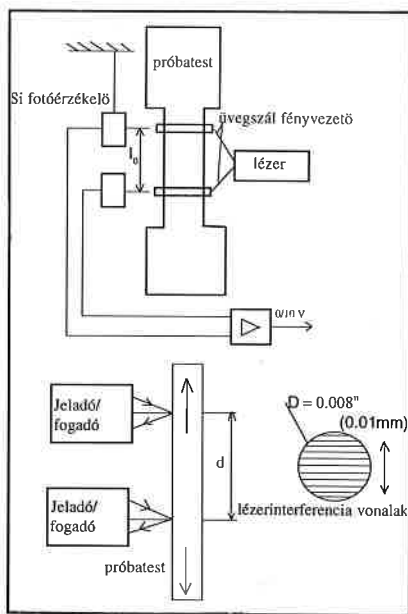
harmadik jel pedig egy gyakorlatilag csillapítatlan lengés, amiből az anyag viselkedése egyáltalán nem hámozható ki. A vizsgált próbatestet PA6 típusú műanyag volt.



3. ábra

Üt- és alakváltozás-mérés

Az egyes berendezéseknél, vizsgálati elrendezéseknél más-más technikát alkalmazhatunk. Az ingás ütőműveknél és az ejtősúlyos berendezéseknél érintkezés nélkül, szervo-hidraulikus berendezéseknél a dugattyúba beépített LVDT (induktív ütődő) 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 szakítóvizsgálatoknál a nyúlást a próbatesten elhelyezett mérőeszközzel célszerű mérni. A hagyományos felcsippenhető nyúlásmérők nem alkalmazhatók, (nagy tömeg, kis merevség). Rugalmas tartományban a próbatesten 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, lézert doppler), akkor figyelembe kell venni az egyes típusok sebesség (50 kHz), mérestartomány (1–100 mm) és felbontási korlátait (0.02–1 μm), 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 sávzélességgel [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.

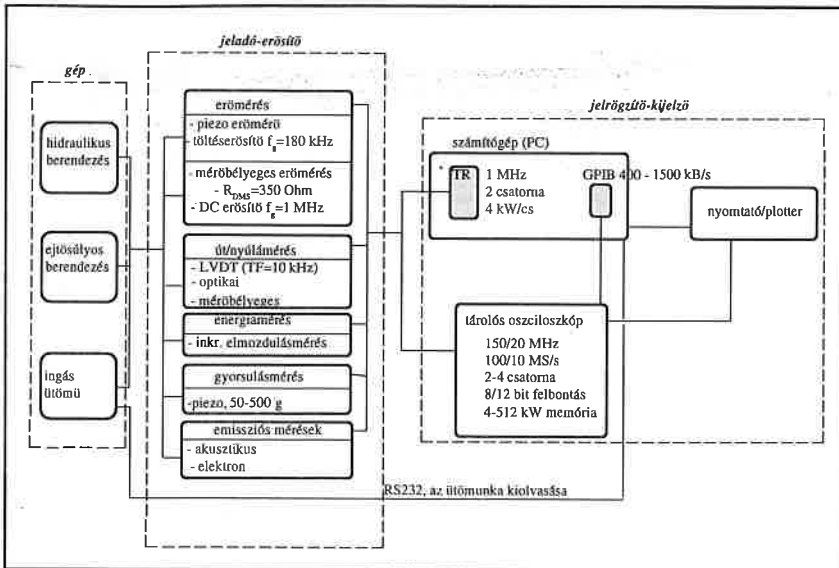
$$B_{tot} = \left(\sum_{j=1}^n \frac{1}{B_j} \right)^{-1/2} \quad (1)$$

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

A jeladó

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

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 próbatestet 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? Kisebb L_0 esetén a jelfelfutás gyorsabb, de ekkor kedvezőtlenebbek a melegedési 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 (keményebbnek mint a vizsgált anyag), valamint megfelelően kopásállóknak kell lenni. Műanyagok vizsgálata esetén sikerrel alkalmazhatunk Ti ötvözetből vagy Aralditból készített ütőélt is. Ha az ütőél (erőmérőcella) érzékenyebb, akkor kisebb erősítési értékekkel dolgozhatunk és így javítani tudjuk a jel/zaj viszonyt, valamint, mivel az erősítők sávszélessége függ az erősítéstől, kedvezőbb frekvenciaátvitellel számolhatunk.

A kábelek

A kábelek villamos tulajdonságai is hatással vannak a rendszer sebességére. Általánosan elmondható: célszerű minél rövidebb kábellel összekötni a jeladót és az erősítőt. Ha feltételezünk egy 500 pF kapacitású kábelt, akkor a $\tau = 88$ ns az egyik ágban, tehát a hídban összesen $t = 2\tau$, ebből a $t_a = 2.2t$ összefüggéssel adódik, hogy a jelfelfutási idő 0.4 μ s/m, 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) erősítőt használunk. Itt a méréstartomány, az érzékenység beállítható. Az erősítők sávszélessége 100–200 kHz között változik. A mérőbélványokhoz egyenáramú (DC) erősítőket használhatunk. Itt a sávszélesség max. az 1 MHz értéket is elérheti (a legtöbb gyári műszerezett ütőmű ilyen paraméterű erősítőkkal 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 μ s jelfelfutási idővel számolhatunk.

A jelrögzítők

Az erősítők kimenetén egy analóg jelet tudunk regisztrálni. A jelrögzítő eszköznek digitalizálni, 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 sávszélesség (MHz), a mintavételi sebesség (MS/s), az egy csatornán letárolható 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
Független 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"

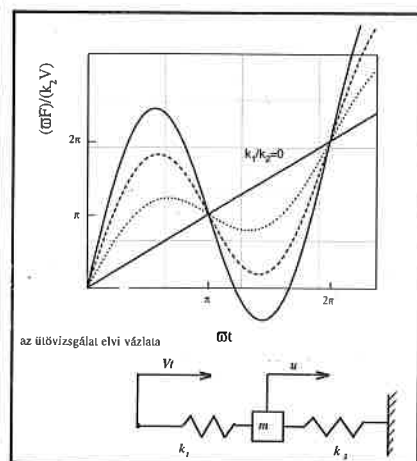
A tranziens rekorderek vagy külön műszer formában vagy PC-be beépíthető kártya alakban szerezhetők be. A jellemzők hasonlóak, mint a DSO-k esetén, itt azonban az adatok tárolásához és megjelenítéséhez szükség van a számítógépre. Az [8] munkában egy olyan magyar fejlesztésű és gyártású TR kártya adatai találhatóak, mai több műszerezett ütőműben is jól működik. A TR-ek jól használhatók 1–2 csatorna esetén egy állandó telepített (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 akkornak kell lenni, mint a jelben előforduló legnagyobb frekvencia. A gyakorlati tapasztalat szerint a jelrögzítő mintavételi frekvenciája legalább 5–10-szerese legyen az erősítő sávszélességének. A DSO-k esetében ez soros RS232 vagy GPIB vonalon keresztül történik. Kereskedelmi forgalomban levő, 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, viszkózusan 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 lengésideő az alábbi összefüggéssel számítható:

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

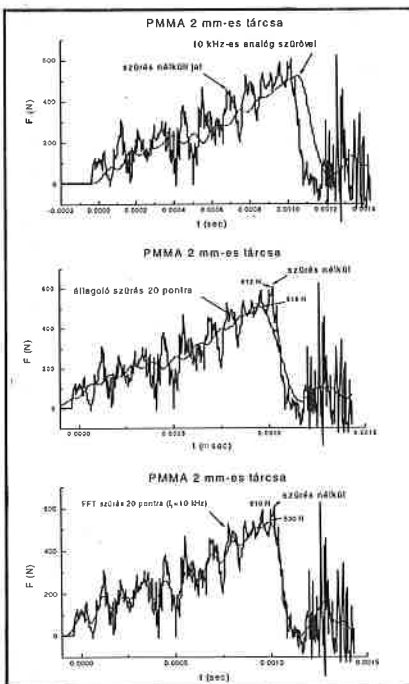
ahol S a támaszköz, c_0 a hangsebesség, W , B a próba geometriai méretei, c_s compliance. Acél esetén az értéke 30–33 μ s.

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

Csillapítás, szűrés

Mit tehetünk annak érdekében, hogy az anyagjelre szuperonáldott 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, gumi/poliuretán réteg, vagy pl. szakítóbefogók esetén Ti-Al ötvözet. Acélagyagoknál nem javasolt csillapítóanyag alkalmazása.

A mért jelek szűrésére analóg, vagy digitális szűrőket alkalmazhatunk. Az analóg szűrők többnyire az erősítőbe vannak építve. Ezek alkalmazását azonban a szabványok, szabványajánlások nem javasolják. A digitális szűrés egy számítógépi program segítségével könnyen elvégezhetjük. A szűrés lehet valamilyen algoritmus szerinti átlagolás, vagy közvetlen frekvenciaszűrés. A 7. ábra három típusra mutat 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 mérőbolyeges cellákat minden esetben kalibrálnunk kell. Ezt statikusan egy szervohidraulikus gépen egy ismert jellemzőjű erőmérőcellával összehasonlítva tehetjük meg, vagy az ütőműbe beépítetten hasonló módon. A dinamikus kalibrálás történhet az ütőmű energiamérőjével 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_{d1} (N/V)	C_{d2} (N/V)	C_{d3} (N/V)
C_s (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 jelre. Belső jel az analóg jel felütése, 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, ütősszerű vizsgálatoknál talán még egy picivel körültekintőbben kell eljárni.

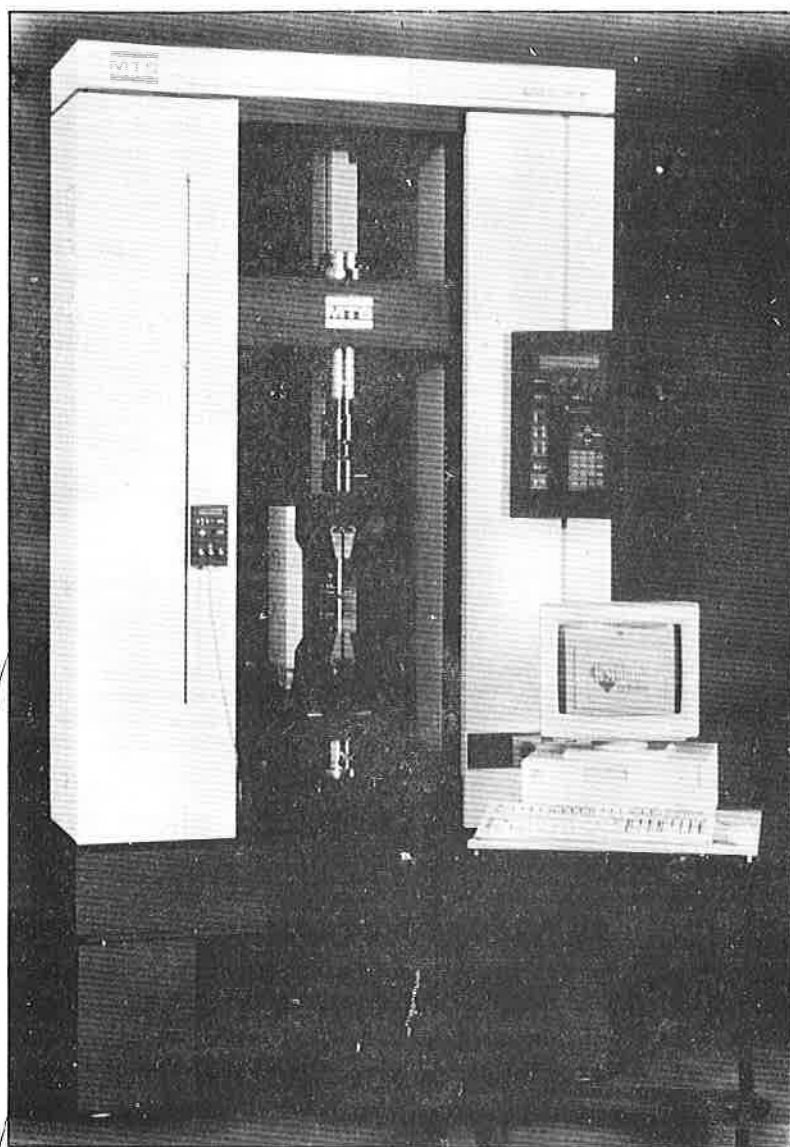
Irodalom

- [1] R. Bardnheim: 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 Pre-cracked 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_{Ic} , ESIS TCS, Fh-IWM, Freiburg 1992.
- [8] Lenkeyné Bíró Gy., Major Z., Tóth L.: Műszerezett ütőmű 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.

951 021 026

MTS SYSTEMS GMBH

Hohentwielsteig 3.
14163 Berlin Zehlendorf
Tel.: 30 810020 Fax: 30 81002-100



Az MTS cég a világszerte ismert elektrohidraulikus anyagvizsgáló berendezései mellett, a leglátványosabb igényeket kielégítő

ELEKTROMECHANIKUS

vizsgálóberendezésekkel bővítette gyártmányválasztékát.

Kérje gyártmányismertetőnket!

Képviselőt és szerviz:

MTA-MMSZ Kft.
1119 Budapest, Etele út 59-61.
Tel.: 1869-589 Fax: 1611-021