

# Hipereutektikus Al-Si-(X) RS/PM ötvözetek mechanikai-technológiai tulajdonságai

Dr. Ziaja György,\* – Dr. Stefániay Vilmos\* – Dr. Henryk Dybiec\*\*

A dolgozat címében megnevezett anyag kémiai összetételét és különleges gyártási technológiáját részletesen megindokolta és ismertetette egy korábban, ugyanebben a folyóiratban megjelent dolgozat, amelynek témája a kérdéses anyagcsalád egy tagja folyási görbéjének kimérése, és a mért adatok alapján a folyásgörbék matematikai leírása volt [1]. Ennek ellenére szükségesnek látszik az *előzmények rövid összefoglalása*.

A korábbi Aluterv-FKI-ban, a nyolcvanas évek vége és 1995 között végrehajtott egyik anyagfejlesztési kutatásnak célja az alumíniumötvözetek hőtágulási együtthatójának jelentős csökkentése, a melegszilárdság és a kopásállóság növelése volt. Ehhez az eutektikusnál (kb. 12%) jóval nagyobb, 25-30% Si-ötvözés és egyéb, intermetallikus vegyületképző, pl.: Ni, Fe, Cu, Mg adagolása szükséges. A nagy likviduszszolidusz hőmérséklet-különbség miatt várható, hogy az ötvözet folyadékállapotból történő lehűlése során nagyon durva primer Si kiválás jelennek meg, amelyek jelenléte a mechanikai tulajdonságok erőteljes romlását okozzák. Ennek megakadályozására a folyadékállapotú ötvözetet apró cseppekre porlasztják (atomizálják), és a cseppeket a lehető legnagyobb sebességgel hűtik le (rapid solidification, RS). Az így kapott durva port a porkohászat (powder metallurgy, PM) technológiai módszereivel lehet konszolidálni. Az Aluterv-FKI javasolta technológia lényeges eleme az, hogy a port nem a szokásos PM eljárással (porsajtolás – szinterelés – készresajtolás) tömörítik. Ez helyett, meleg kisajtolással, egy lépésben azaz porsajtolás közben, nyomás alatti szintereléssel készülnek a kisajtoló rúd formájú előgyártmányok, melyek a gépgyártás-technológia ismert módszereivel dolgozhatók fel. Ezek rendszerint Al-Si-Ni ötvözetek, porozitásmentesek, 100% sűrűségűek. Szövetszerkezetük az RS/PM technológiának köszönhetően fémtanilag rendkívüli mértékben eltér az adott kémiai összetételnek megfelelő kvázi-egyensúlyi állapottól.[2]

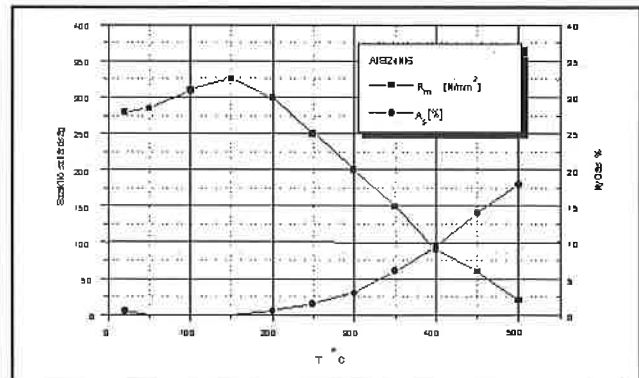
Az RS/PM eljárással készített anyagból NNS (Near Net Shaping) módszerekkel, pl.: zárt üregű, sorjamentes izotermikus süllyesztékes melegsajtólással viszonylag kisméretű, termomechanikai rendszerekben (pl. robbanómotor, kompresszor) alkalmazott alkatrészek gyártási technológiáját fejlesztjük, a BME Mechanikai Technológia és Anyagszerkezet-tani Tanszékén [3] [4]. Az alkatrészgyártási technológia- és szerkezet-tervezés kiváló eszköztára a vége-seleemes szimuláció, amely a már említett [1] dolgozat eredményei nélkül nem valósítható meg [5] [6].

A jelen dolgozat a címben megnevezett anyagok egyéb, mechanikai anyagszerveleti módszerekkel meghatározható, és a felhasználhatóság szempontjából nagyon fontos tulajdonságaival foglalkozik, nevezetesen az alakíthatósággal, a kopással és a fáradással. A vizsgálatok az Európa Unió által támogatott INCO-Copernicus CT 96-0750 „MicroAlu” projekt keretében készültek, német, holland, szlovák és lengyel kutatók közreműködésével.

## Az alakíthatóság vizsgálata

A fémes anyagok alakváltozó képessége adott kémiai összetétel és szerkezeti állapot (pl. szemcseméret, hőkezelési állapot, karbideloszlás stb.) esetén a feszültségi állapot, a hőmérséklet és az alakváltozási sebesség, továbbá a terhelés történetének függvénye. Ennek ellenére

az alakváltozó képességet durván, de informatív módon jellemezheti a szakítóvizsgálattal meghatározott szakadási nyúlás vagy a kontrakció is. A 26% Si és 7% Ni tartalmú RS/PM ötvözet szakítószilárdságának és szakadási nyúlásának a hőmérsékletfüggését ábrázolja az 1. ábra.



1. ábra. A 24%Si, 6% Ni tartalmú RS/PM ötvözet mechanikai tulajdonságai a hőmérséklet függvényében

Az ábrából következik, hogy ez az anyag szobahőmérsékleten, a szokványos eljárásokkal nem alakítható. Az is látszik, hogy a melegszilárdsága viszont 250 °C-ig nagyon jó. Látható, hogy ennek az anyagnak a képlékeny alakítással történő alakadása csak 350–400 °C felett kísérhető meg a szokványos eljárásokkal. Mivel az alakíthatóság a szakadási nyúlásnál lényegesen összetettebb fogalom, ezért az 1. ábra információtartalma ennek a megítélésére semmiképpen nem elégséges.

Az alakíthatósági tulajdonságok korrekten, „egyenletben helyettesíthető” mennyiségekkel jellemzésére, illetve ezek ábrázolására kétféle diagramot használunk. A térfogat-alakítási eljárásoknál a Maier-Siebel-Kolmogorov (MSK)-féle határ-alakváltozás görbét, míg a lemezalakításnál és egyes síkfeszültségi állapotokkal jellemezhető térfogat-alakítási eljárásoknál a Keeler-Goodwin-féle alakítási határgörbét (Forming Limit Diagram, FLD). Ezeknek értelmezése, elméleti illetve fenomenológus leírása megtalálható a hazai szakirodalomban is [7] [8].

Az MSK típusú határgörbéket, mely a törés helyén mért  $\bar{\epsilon}_f$  összehasonlító alakváltozást ábrázolja a k feszültségi állapot mutató függvényeként, Darvas és Ziaja [7] szerint jó közelítéssel az alábbi egyenlettel lehet leírni:

$$\bar{\epsilon} = (C_1 + C_2 |v|) \exp\left[ (C_3 + C_4 |v|) k \right],$$

$$k = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3k_f}, \quad v = \frac{2\epsilon_2 - \epsilon_1 - \epsilon_3}{\epsilon_1 - \epsilon_3}$$

ahol  $\sigma_i$  a főfeszültségek,  $i$  a főnyúlások,  $k_f$  az aktuális folyáshatár (alakítási szilárdság) és  $C_i$  az anyagjellemzők és  $v$  Lode-paraméter.

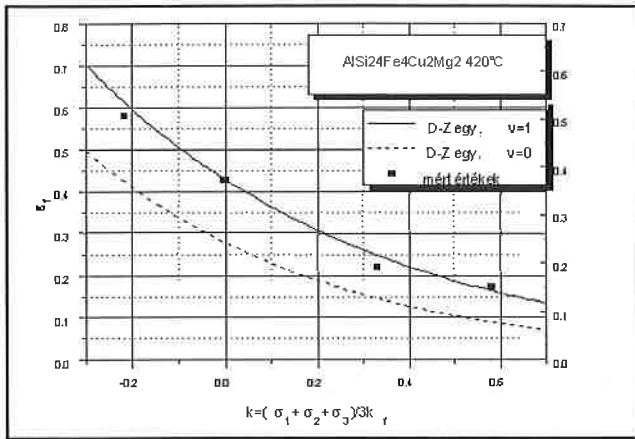
Egy vassal, rézzel és magnéziummal ötvözött Al-Si RS/PM anyag jellegzetes MSK határ-alakváltozási görbéjét mutatja 420 °C hőmérsékleten a 2. ábra.

Az ábra szerint a kérdéses anyag alakváltozó képessége gyenge, de a feszültségi állapotnak a háromtengelyű nyomás (hidrosztatikus nyomás) irányába változtatása jelentősen javíthatja a viszonyokat.

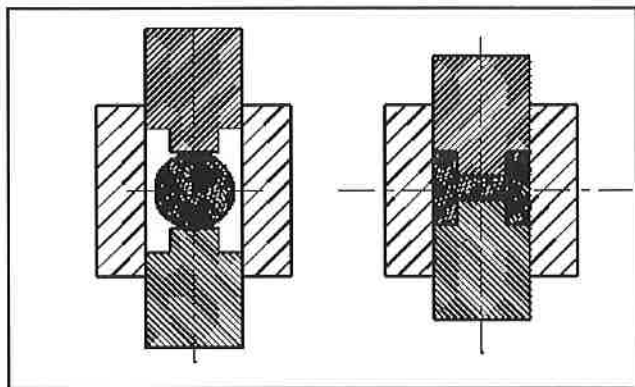
A szóba jöhető technológiák közül a zárt üregű, sorja nélküli süllyesztékes kovácsolás esetén, az üreg megtöltésekor rendkívül nagy lehet a hidrosztatikus nyomáskomponens (gömbtenzor). Az üreg töltésének kezdeti szakaszában viszont a munkadarab szabad felszínén a gömbtenzor jóval kisebb, és a felrepedés esélye nagy (3. ábra).

\* Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai Technológia és Anyagszerkezet-tani Tanszék,

\*\*Bányász-Kohász Akadémia, Krakko

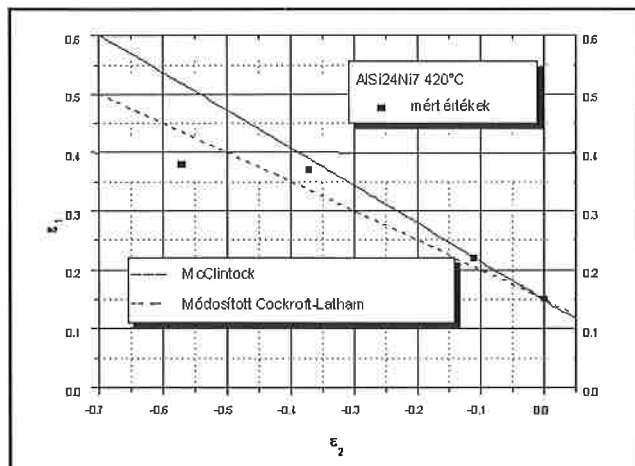


2. ábra. 4%Fe, 2%Cu, 2%Mg, 24%Si tartalmú RS/PM ötvözet határ-alakváltozás diagramja és ennek megközelítése a Darvas-Ziaja-egyenlettel



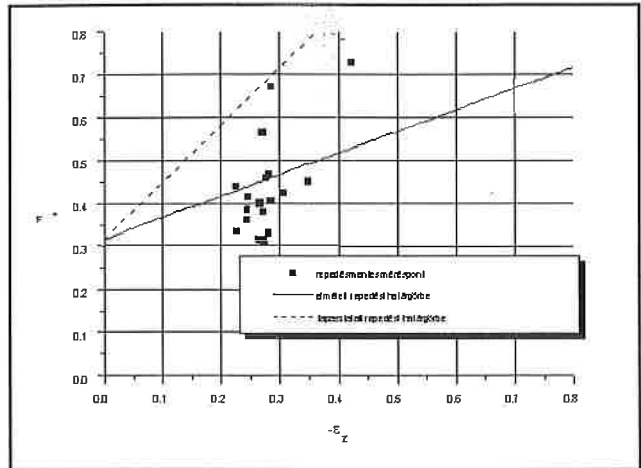
3. ábra. A zárt üreg töltésekor a szabad felszín felrepedhet

Az alakíthatóságot ezért a zömítési határgörbék meghatározásával célszerű jellemezni. A már idézett [7] dolgozatban leírt módszerekkel mért, és a [8] dolgozatban összefoglalt módszerekkel számított jellegzetes határgörbe látható a 4. ábrán.



4. ábra. 24%Si, 7%Ni RS/PM ötvözet számított és mért repedési határgörbéi a felületen mért fonyúlások síkjában ábrázolva.

A 4. ábra szerint a sajtolás közben a munkadarabok felületének felrepedése már nagyon kis alakváltozásoknál bekövetkezhet. Az [1] dolgozatban bemutatott folyási görbék szerint viszont az anyag tulajdonságai erősen hőmérséklet- és deformációsebesség-függőek, oly annyira, hogy egyes paraméter kombinációk esetén a szuperképlékeny állapot sincs kizárva.



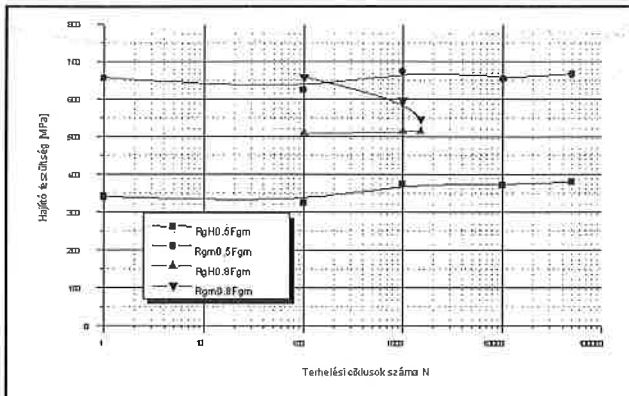
5. ábra. AISi26Ni6 RS/PM ötvözet repedési határgörbe 450 °C

Ennek alapján a 3. ábra szerinti technológiai folyamat sebességviszonyait megváltoztatva, kissé megnövelt hőmérsékleten, izotermikus szerszámban (vagyis a nyomószerszám hőmérséklete megegyezett a próbatest hőmérsékletével) az 5. ábra szerinti repedési határgörbét kaptuk. A görbe pontjai különböző deformáció-történetek eredményei, melyeket különböző magasság-átmérő viszonyú nyomó próbatestekkel határoztunk meg, változtatva a súrlódási viszonyokat a teljes tapadás és a hidrodinamikus kenés között. A kiinduló poranyag jellemző szemcsemérete 50 μm volt. A síkalakváltozást reprezentáló ε₂=0 és ε₁=0,32 tőrést jelentő pontot a [8] dolgozatban rúdanyagokra javasolt bemetszett próbatest szakításával mértük meg azonos hőmérsékleten és deformáció sebességgel [9]. Az elméleti határgörbét a Chen, Oh és Kobayashi [10] szerint korrigált Cockcroft-Latham-elmélettel számítottuk ki. Amint az ábra mutatja, a kísérlet során a nyomó próbatestek az ábrázolt alakváltozásokig nem repedtek. Az jól bevált elméleti modell ez esetben nem tudja követni az egyenlőre nem pontosan ismert alakváltozási mechanizmusokat, melynek során feltételezhető a nem-egyensúlyi állapotú szerkezet változása, és ennek kölcsönhatásai.

### A fáradási tulajdonságok vizsgálata

Az alumíniumalapú ötvözeteknél általában hiányzik a Wöhler-görbe töréspontja, ezért célszerűbb adott feszültség szinten meghatározott élettartamról beszélni a kifáradási határ helyett. Jelen esetben is a kifáradási határ meghatározása helyett az ismételt igénybevétellel szembeni ellenállás becsülését végezték el a Krakkói Bányász-Kohász Akadémia által javasolt módszerrel [11]. A módszer lényege a következő:

10x10 mm² keresztmetszetű, hasáb alakú, 47 mm hosszú próbatesten 40 mm alátámasztási közszel statikusan hárompontos hajlítóvizsgálatot végeznek, és megállapítják a töréshez szükséges F<sub>gm</sub> erőt. Ennek az erőnek az 50 illetve 80%-ával, mint terhelési amplitúdóval (0–0,5 F<sub>gm</sub> és 0–0,8 F<sub>gm</sub>) hasonló hárompontos elrendezésben különböző próbatesteket különböző terhelési ciklusszámig fárasztanak. E közben mérik az erő-lehajlás görbét, melyből elválasztható a lehajlás rugalmas és képlékeny összetevője. Az előre megadott ciklusszám elérése után a próbatesten statikus hajlítóvizsgálatot végeznek, és az erő-lehajlás görbéből meghatározzák az R<sub>GH</sub> hajlító folyáshatárt és az R<sub>gm</sub> hajlítószilárdságot. Mivel a vizsgált anyag a szobahőmérsékleten elég rideg, nagyon kis maradó alakváltozást szenved, ezért a keresztmetszeti tényezőt egyszerűen K= a<sup>3</sup>/6 –al veszik figyelembe, ahol a a próbatest négyzetkeresztmetszetének élhossza. Az ilyen módon meghatározott hajlító folyáshatárokat és -szilárdságokat az 50 μm jellemző porszemcse méretű Al26Ni6 RS/PM ötvözetre a terhelési ciklusok függvényében a 6. ábra mutatja. Minden pont az ábrában 2-3 mérés átlaga.

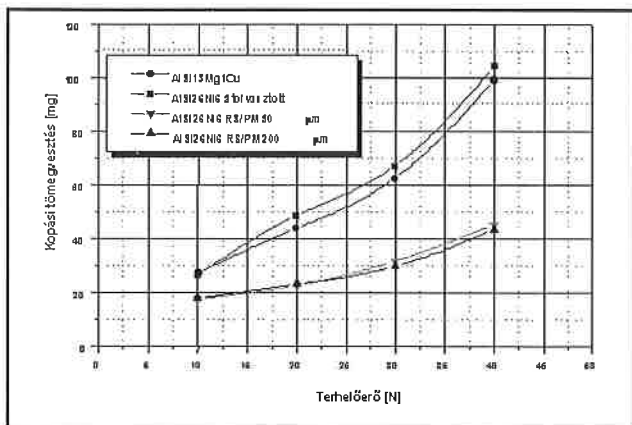


6. ábra. A terhelési ciklusok számának hatása az AISi26Ni RS/PM anyag hajlítással meghatározott folyáshatára és hajlítoszilárdságára

Az ábrából látszik, hogy a statikus hajlítoszilárdság felével, mint amplitúdóval végzett fárasztás hatására sem a folyáshatár, sem a hajlítoszilárdság nem változik 55 000 ciklusig. A 80%-os terhelés hatására viszont egyrészt gyorsan csökkent a hajlítoszilárdság, másrészt 1000–1600 ciklusnál a próbatestek eltörték, nyilván a fáradási repedések következményeként. Mindezekből arra lehet következtetni, hogy az anyag fáradási határa biztosan kisebb a statikus hajlítoszilárdság 80%-ánál, de feltehetően nagyobb a statikus hajlítoszilárdság felénél.

### A kopási tulajdonságok vizsgálata

A kopási tulajdonságokat nyilvánvalóan a jól ismert és hasonló anyagokkal történő összehasonlításával célszerű elvégezni. Összehasonlítás céljára alkalmas egy nagy Si-tartalmú szabványos, önthető Al-ötvözet, továbbá a kérdéses hipereutektikus RS/PM anyagoknak egy egyensúlyi állapotú változata. Ez az RS/PM anyag megolvastásával, alakra öntésével és lassú hűtésével állítható elő. Az összehasonlító



7. ábra. AISi26Ni6 RS/PM anyag kopási tulajdonságai

kopásvizsgálathoz kimunkált Ø15,9 mm próbatesteket többek között vizsgárral nedvesített acél tárcsán, 0,67 m/s relatív sebességgel 500 m kopási út megtételéig koptatták Krakkóban [12]. A próbatesteket speciális pneumatikus berendezés a beállított erővel nyomta a forgó tárcsára. A kopási tömegvesztéseket analitikai mérleggel, 1 mg pontossággal mérték a próbatest terhelésének függvényében. A mérés eredményét a 7. ábra mutatja. Minden méréspont legalább 3 mérés átlaga.

A kopásvizsgálat egyértelműen bizonyítja, hogy az RS/PM anyag, különösen a nagyobb terheléseknél 100-250%-al kopásállóbb a hagyományos öntészeti Al-ötvözetnél és a vizsgált anyag egyensúlyi állapotú változatától.

### Összefoglalás

A gyorsítással atomizált és speciális porkohászati technikával előállított hipereutektikus, 24-27% Si- és 6-7% Ni-tartalmú, kis hőtágulási együtthatójú anyagok 450 °C-on viszonylag kis deformációsebesség esetén kiválóan alakíthatók. Szobahőmérsékleten igen jó fáradási tulajdonságaik vannak, a fáradási határuk közelítőleg a statikus hajlítoszilárdság fele. Ezeknek az egyensúlyi állapottól nagyon távol álló szerkezetű anyagoknak a kopásállósága lényegesen jobb az egyensúlyi állapotú anyagénál és a szabványos öntészeti ötvözetnél.

### Irodalomjegyzék

- [1] Krállics Gy., Ziaja Gy.: Anyagvizsgálók Lapja 1998/4 p.101-104
- [2] Stefániay, V.I., Ziaja, G., Reé, A.: Properties of Al-Si-(X) RS/PM Aluminium Alloys. GÉPÉSZET 98. Proc.First Conf.on Mechanical Engineering. Vol 1. p.242-246 Springer Verlag Budapest, Barcelona, Berlin etc. 1998
- [3] Németh Á., Ziaja Gy., Stefániay V.: Al-alloy connecting rods with properties by combined metallurgy and deformation processes. GÉPÉSZET 98. Proc.First Conf.on Mechanical Engineering. Vol 2. p.505-509 Springer Verlag Budapest, Barcelona, Berlin etc. 1998
- [4] Ziaja Gy., Stefániay V., Németh Á.: Formability and Forming of Hypereutectic RS/PM, Al-Si-Ni Alloys. Advanced Technology of Plasticity Vol III. Proc. 6th.ICTP, Sept 19-24 1999 p.1613-1618.Springer Verlag Berlin etc. 1999...
- [5] Malgyn, D., Krállics, Gy., Ziaja, Gy.: Virtual manufacturing of sheet and bulk forming. Proc.First Conf. on Mechanical Engineering. Vol 2. p. 472-476. Springer Verlag Budapest, Barcelona, Berlin etc. 1998
- [6] Krallics Gy., Ziaja Gy., Malgyn D.: FE Simulation of connecting rods manufacturing. Proc. IASTED Int.Conf. on Modelling and Simulation. May 13-16 1998 Pittsburgh p. 288-292
- [7] Ziaja Gy., Darvas Z.: BKL Kohászat 123.évf. 1990. 5. sz. p. 209-214
- [8] Ziaja Gy.: Anyagvizsgálók Lapja 1996/6 p.73-80
- [9] Nyeste Zs.: Diplomaterv BME MTAT 1999
- [10] Chen, C.C., Oh, S.I., Kobayashi, S.: Journ. Eng. Ind. 101 (1979) p.35-44
- [11] Korbel, A., Bochniak, W., Dybiec, H., Chromcewicz, A., Ziomek, M.: Progress Report Jun. 1998-Nov. 1998. Formability Modelling of Aluminium Base PM Alloys. Inco-Copernicus Project No. CT 96-0750 MicroAlu Univ. Mining and Metallurgy, Dept. Structure and Mechanics of Solids. Krakow, Poland
- [12] Korbel, A., Bochniak, W., Dybiec, H., Niemiec, K., Chromcewicz, A., Ziomek, M.: Progress Report Nov.1997-Jun. 1998. Inco-Copernicus Project No. CT 96-0750 MicroAlu Univ. Mining and Metallurgy, Dept. Structure and Mechanics of Solids. Krakow, Poland

## Az ezredforduló anyagai és technológiai

„Napjaink anyagtudományán alapul a jövő nemzedékeinek életminősége” – ez a motó olvasható a II. anyagtudományi, anyagvizsgálói és anyaginformaticai konferencia és kiállítás programfűzetében. A konferenciát ezúttal Balatonfüreden október 10–13 között a Hotel Füredben rendezték meg a szakmai tudományos egyesületek közreműködésével és számos szakcég támogatásával, azaz széles körű hazai szakmai összefogással és kisszámú (20 fő), de ismert külföldi kutatóhelyekről érkezett szakértő részvételével. A mintegy 180 fő hazai résztvevő munkahely szerinti megoszlása híven tükrözi azt a változást, amely a rendszerváltást követően az anyagtudomány kutató-fejlesztő műhelyeiben következett be. Nevezetesen: az ipari kutatóintézetek megszűnésével az alap- és alkalmazott kutatás súlypontja a tudományegyetemek, a műsza-

ki egyetemek és főiskolák tanszéki közösségeire, az átszerveződött MTA kutatóintézetekre valamint a Bay Zoltán Alapítvány két intézetére (a miskolci Baylogi és a budapesti Bayati) tevődött át (a résztvevők 2/3-a), a fejlesztésekben pedig – együttműködő partnerek bevonásával – a privatizáció után megerősödő néhány vas- és fémkohászati illetve műanyaggyártó cég szakosodott részlegei az érdekeltek (a résztvevők 1/3-a, ennek 2/3-a a szervezésben jelentős szerepet vállalt Dunaferr Rt.-től). A kiállítás viszont mind a résztvevő cégek száma, mind a kínálat tekintetében még messze elmaradt a hajdan volt, de céljaiban hasonló és szellemi előzményként felidézett kohászati anyagvizsgáló napok (KAN) rendezvénysorozatától.

Folytatás a 140. oldalon