

Lukács László¹ - Szalay András²

ROBBANTÁSTECHNIKA A HAZAI KATONAI SZAKFOLYÓIRATOKBAN 1945–1990

II. RÉSZ

Robbantásos fémmegmunkálás

Topics of blasting techniques in the national military journals 1945-1990

2nd part – Metal forming by explosives

<https://doi.org/10.30583/2020.4.194>

Absztrakt

A tanulmány a hazai katonai robbantástechnika fejlődésének 1945 és 1990 közötti korszakába nyújt betekintést, a vizsgált időszak szakfolyóirataiban a robbantásos fémmegmunkálás témakörével foglalkozó cikkek, tanulmányok rövid áttekintésével. A robbantásos hegesztés, portömörítés és fémalakítás új technikái, technológiái az 1950-es évektől kezdődően hatalmas fejlődést eredményeztek, többek között a nagysebességű repülésben és a rakétatechnikában, valamint a villamos-, a gép- és a vegyiparban. A tanulmány végén a terület mai helyzete is bemutatásra kerül.

Kulcsszavak: robbantásos fémalakítás, plattírozás, robbantásos portömörítés

Abstract

This study is an insight into the development of domestic military blasting techniques between 1945 and 1990. This assessment is based on

¹ Prof. Dr. Lukács László ny. mk. alezredes, CSc hadtudomány kandidátusa, nyugalmazott tanszékvezető egyetemi tanár, E-mail: lukacs.laszlo@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0001-8569-5013

² Szalay András okleveles villamosmérnök, az S-Metalltech 98 Anyagtechnológiai Kutató-fejlesztő Kft. ügyvezetője, orcid.org/0000-0001-6611-8368

the review of articles and essays about metal forming by explosives published during that period in special periodicals. From the 1950s, new techniques and technologies of welding, metal forming and dust compression using blasting initiated a huge advancement in several fields, including high speed aviation, rocket technologies, electrical-, mechanical- and chemical industries. At the end of the article, current situation is also shown.

Keywords: explosive metal forming, explosive welding (cladding), explosive compaction of powders

Bevezetés

A Katonai Logisztika 2020. évi 3. számában megjelent cikkben³ a hazai katonai szakfolyóiratokban 1945–1990 közötti időszakban megjelent, robbanóanyagokról és azok iniciálásáról (indításáról) szóló cikkek között tallóztunk. Jelen írás a cikksorozat második részeként az ugyanebben az időszakban megjelent, robbanóanyagokkal végrehajtható fémmegmunkálási eljárásokról szóló publikációkat mutatja be.

A kutatás elsősorban az időszak katonai folyóirataiban közölt írásokra irányult, de – a téma speciális jellegénél fogva – az időszak civil sajtótermékeiben (nem egyszer katonaszerző tollából) megjelent közleményekre is kitér.⁴ A tanulmány végén az adott kérdés mai helyzetéről is közlünk információkat.

A robbantásos fémalakítás elméleti alapjai⁵

A robbantástechnika, bár látszólag egy szűk területet jelent a műszaki tudományokon belül, mégis tovább bontható olyan szakterületekre, melyek mindegyike más és más felkészültséget igényel. Ha csak a bányászati robbantásokat nézzük, élesen különbözik egymástól a külszíni, és a földalatti bányaművelés. Teljesen külön szakterületet képvisel az építmények robbantásos bontása, a víz alatti robbantási

³ Lukács László: Robbantástechnika a hazai katonai szakfolyóiratokban 1945–1990. I. rész - Robbanóanyagok és iniciálásuk.

⁴ A feldolgozott cikkek megtalálhatók az Arcanum Digitális Tudománytárban; <https://adtplus.arcanum.hu/hu/>

⁵ Bővebben lásd [48. pp. 225–238.] és [41. pp. 163–205.].

munkák vagy a jégrobbantás. A geofizikai kutatások során éppúgy végeznek robbantásokat, mint pl. a kohászatban. Végezetül pedig létezik az ipari robbantástechnikának egy igen speciális, szűk területe: ez a robbantásos fémalakítás és -megmunkálás.

A szilárd testek mechanikájában feltételezzük, hogy a test egy tetszőleges pontjában ható erő egyidejűleg hozza mozgásba az adott térfogatú test minden elemét, és az erővel arányos gyorsulást eredményez. Másik oldalról, a rugalmasságtanban megengedett, hogy a külső erők és a szilárd testben keletkező belső feszültségek között egyensúlyi állapot alakuljon ki. A nagy sebességgel végbemenő folyamatban a lejátszódó jelenségek a testben létrejövő lökeshullámon keresztül jellemezhetőek.

A robbanás során létrejövő hatalmas nyomás csak néhány mikroszekundumig hat. A detonációsebességgel tovaterjedő (rövid idejű) nyomásimpulzus hatására a fémfelületen kialakuló feszültségek a sebesség nagyságától függően különböző módon terjedhetnek a céltárgy belseje felé.

Ha a detonációsebesség nem éri el a hangsebességet, akkor a felületen képlékeny alakváltozás jön létre, mely elnyeli a robbanás során a fémmel közölt energia egy részét. Ez a képlékeny alakváltozás csak bizonyos mélységig terjed a fém belseje felé, mértéke a detonációs termékek közvetlen hatásának helyétől távolodva gyorsan csökken. A detonáció során keletkező gázhalmazállapotú termékek nyomásának következtében kialakuló húzófeszültségek hulláma ebben az esetben viszonylag kis amplitúdójú, és rendszerint nem okozza sem a fém, sem a kialakuló kötés sérülését. Ezt használják ki a robbantásos fémalakítás és plattírozás (hegesztés) során. E műveletek folyamán igen lényeges még a fémfelületről visszaverődő, valamint a különböző közegek fázishatárán áthaladó feszültség-hullámok hatása, továbbá a hullámok találkozási effektusa is. A test szabad felületével párhuzamos frontú sík lökeshullám azonos amplitúdójú síkhullám formájában verődik vissza, de ellenétes feszültségű előjellel. A nyomóhullám ugyanakkor húzóhullám alakjában verődik vissza.⁶

A fémlemezok robbantásos alakítása a kor technológiai vívmányának tűnik, de egyes források arról tudósítanak, hogy több mint egy

⁶ A robbanási energia fémszerkezetekre gyakorolt alakító hatását részletesen tárgyalja [57].

évszázaddal ezelőtt már ismerték és alkalmazták a robbanás erejét fémek megmunkálására.

Állítólag 1878-ban, Manchesterben, bizonyos Daniel Adamson robbantással formált nagyszilárdságú kazánlemezeket. Később Kentben, Claude Johnson formázott robbantással nehezen megmunkálható fémeket. Ugyanezen forrás szerint ennek eredményeként jegyezték be Angliában az első robbantásos fémalakítási szabadalmat 1889. szeptember 23-án, fémcső robbantásos tágitása kerékpárváz gyártásakor témában (British Patent no. 21840). 1909. november 9-én az USA-ban jegyeztettek be szabadalmat síklemezek robbantásos alakításával kapcsolatban (US Patent no. 939,702).

Johnson találmányát az 1950-es évek elején adaptálta a Moore Company of America, és nagyméretű ventilátortárcsákat kezdett robbantással előállítani, ezzel 15%-os költségcsökkentést érve el a hagyományos, mechanikus gyártáshoz képest. [80. p. 3.]

A korai próbálkozások után a fenti törvényszerűségeket felismerve az 1930-as években gyorsultak fel a kísérletek a robbanóanyagok alkalmazására, különböző fémalakítási eljárások során. Ezek eredményeként a robbanóanyag robbanása során keletkező energia az 1950-es évek elején már ipari méretekben került felhasználásra lemezek és csövek alakítására.

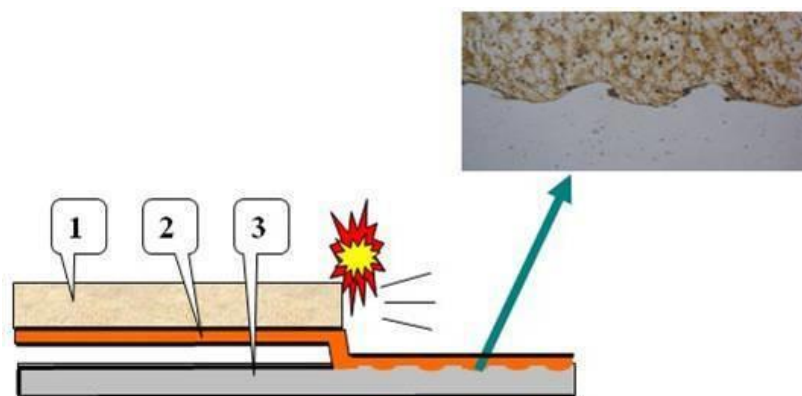
Alapvetően három fő területen találkozhatunk a robbantásos fémalakítással, fémmegmunkálással:

- fémlemezek plattírozása, hegesztése során;
- fémlemezek és fémcsövek képlékeny alakításakor;
- fém- és kerámiaporok tömörítésekor.

Robbantásos plattírozás

A robbantásos plattírozás olyan, fémek kötésére alkalmazható eljárás, amellyel a legkülönbözőbb paraméterekkel rendelkező fémlemezek, illetve -rudak és -csövek egymással szemben fekvő felületei között folyamatos, fémes kötés hozható létre.

Külön kiemelendő, hogy az eljárás során olyan fémeknél is létrehozható kötés, melyeknél más, pl. hideg- vagy megleghengerlési, -sajtolási módszerekkel ez nem valósítható meg (pl. alumínium-acél, alumínium-titán, alumínium-réz stb.).



1. számú ábra. A robbantásos plattírozás elvi vázlat⁷
1 – robbanóanyag; 2 – repülőlemez; 3 – alaplemez



2. számú ábra. Robbantással készített töbrétegű munkadarabok⁸

Fémlemezek és fémcsövek képlékeny alakítása

Az eljárás során az elkészített mintába (szerszámba) préselik bele robbantással a fémlemezt, illetve -csövet, mely ezáltal felveszi annak a formáját. A robbanási lökéshullám energiáját általában víz segítségével juttatják az alakítandó felületre. Mivel csak a formát kell elkészíteni, továbbá egy medencére és minimális robbanóanyagra van szükség, a módszer különösen gazdaságosan alkalmazható nagyméretű, ugyanakkor kis darabszámban szükséges munkadarabok, pl.

⁷ Forrás: S-Metalltech Kft.

⁸ Forrás: S-Metalltech Kft.

tartályfenekek elkészítésekor. A 3. számú ábrán hőcserélőbe készített, robbantással kialakított alkatrész és egy autóiparban használható bütykös tengely (középen) látható.

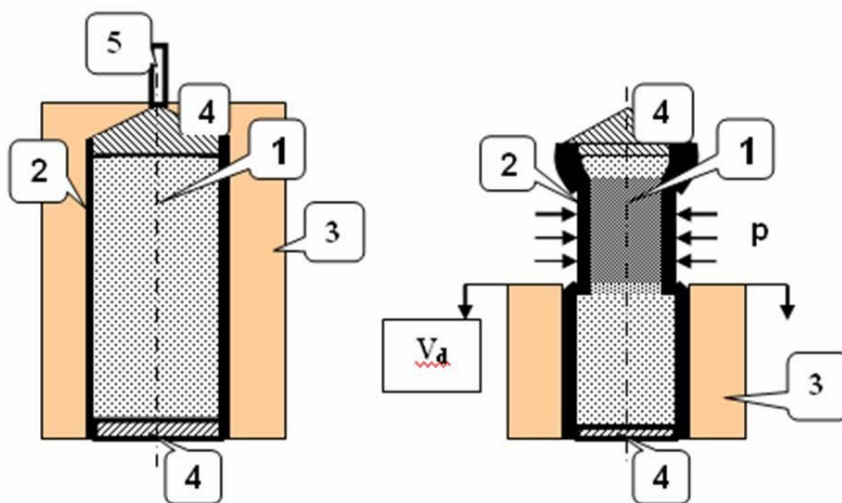


3. számú ábra. Fémcső alakítása robbantással⁹

Fém- és kerámiaporok tömörítése

Speciális anyagok előállításakor, pl. szupravezető-gyártásnál került előtérbe a fém- és kerámiaporok robbantásos tömörítésének lehetősége (4. számú ábra). Az eljárás lényege, hogy egy plasztikusan alakítható fémcsőbe (tartályba) helyezik a kívánt fajtájú kerámia- vagy fémport. A csövet kívülről por alakú robbanóanyaggal veszik körbe oly módon, hogy a kívánt robbanóanyag-vastagságnak megfelelő belső átmérőjű csövet helyeznek a munkadarab köré (ez lehet pl. prespán vagy egyéb műanyag, hiszen a folyamat szempontjából nincs jelentősége, viszont nem célszerű, hogy a robbanáskor komolyabb repeszhatás alakuljon ki miatta). Ezt a robbanóanyagot egy időben iniciálva a teljes hengerpalást területén (pl. egy körbetekert robbanózsínórral), a kialakuló „húzógyűrű” beszűkíti a tartályt, összepréselve (tömörítve) a benne lévő port. Az így kialakuló új anyag szilárdságára jellemző, hogy esztergálható, húzható.

⁹ Forrás: S-Metalltech Kft.



4. számú ábra. A kerámiapor robbantásos tömörítésének elvi vázlata¹⁰

1 – tömörítendő por; 2 – fémcső (tartály); 3 – robbanóanyag;
4 – végzáró; 5 – gyutacs; V_d – a robbantással kialakított „húzógyűrű”
haladási sebessége

A robbantásos fémmegmunkálás fejlődése a II. világháború után

A robbantásos fémmegmunkálással kapcsolatos újabb kutatások a II. világháborút követően kezdődtek el a világ számos országában, amikor a technikai fejlődés új igényeket állított a szakemberek elé. A repülőgép- és hajógyártás egyes munkadarabjainak, valamint az egyéb területeken jelentkező, pl. nagyméretű tartályok gyors és nagy-pontosságú, lehetőleg egy munkafázisban történő előállítására a korábbi fémmegmunkálási eljárásokkal egyre kevésbé volt sikeresen végrehajtható. Nem elhanyagolható szempontként kellett figyelembe venni a gyártás gazdaságosságát sem, mely egyre újabb lehetőségek, módszerek keresését követelte meg az üzemektől és a kutatóintézetektől. Ez azt jelentette, hogy minél kevesebb részegységből, minél kevesebb hegesztési munkával és az ezt követő, elengedhetetlenül szükséges felület megmunkálási feladattal sikerült egy adott formát elkészíteni, az annál kevesebb időt és élő munkát követelt, ez által pedig annál olcsóbban volt előállítható.

¹⁰ Forrás: S-Metalltech Kft.

A repülő- és járműiparban előtérbe került az ideális felület és forma kialakítási igénye is, mely révén csökkenthető a légellenállás, így gazdaságosabban üzemeltethető a jármű. Könnyen belátható, hogy ehhez is a lehető legkevesebb részegységből célszerű kialakítani a munkadarabot.

A vegyipar egyre nagyobb méretű, akár több méter átmérőjű tartályokat igényelt, melyek kialakításánál megint csak nem volt célszerű, pl. a tartályfenekek több cikkből, hegesztéssel történő előállítás, a fent jelölt hosszú és gazdaságtalan utómunkálatokkal.

A megoldást természetesen a fémlemezok préseléssel történő kialakítása jelentette volna (mélyhúzási technológia), csak hogy ilyen méretek és az alapanyagként a piacon megjelenő új nagyszilárdságú fémek tulajdonságai miatt az abban az időben rendelkezésre álló berendezések alkalmatlannak bizonyultak erre a feladatra. Az 50-es években megjelenő új 150–200 kg/mm² szilárdságú rozsdamentes acélok, nem is beszélve a króm-acélokról és a titán ötvözetekről, a sok jó mellett rendelkeztek azon kellemetlen tulajdonsággal is, hogy a korábban alkalmazott módszerekkel nem, vagy csak nehezen voltak megmunkálhatóak. Az új ötvözetek egy részénél a hagyományos, melegmegmunkálás során káros, az anyagminőséget rontó változások következtek be az anyag szerkezetében, így csak a normál hőmérsékleten történő megmunkálás jöhetett szóba. De hogy lehet hideg körülmények között plasztikus, nagy pontosságú alakváltoztatásra kényszeríteni egy egyébként is nagy szilárdsági mutatókkal rendelkező fémeket?

Az orosz **Pihtovnyikov és Zavjalova** az **1964-ben** megjelent könyvükben szembesítettek azzal a problémával, melyet a nagyszilárdságú fémlemez présgépben történő képlékeny alakítása jelent [55. p. 7.]. Azt írták, hogy nincs olyan berendezés, mely lehetővé tenné olyan hatalmas nyomás létrehozását, mely a lemez teljes vastagságában biztosítaná a plasztikus zóna létrehozását.

Példaként említik, hogy akár csak néhány milliméter vastagságú, nagyszilárdságú lemez fenti követelmények szerinti préseléses megmunkálásához is hatalmas méretű gyártóberendezésre lenne szükség: egy 2,5x2,5 m-es, 120 kg/mm² szilárdságú acéllemezt 50 000 t nyomóerővel rendelkező présgéppel lehetne megmunkálni, mely mintegy 15 000 t önsúllyal rendelkezne. Egy ilyen hatalmas berendezés előállítás, üzemeltetése és üzemeltetése viszont hatalmas anyagi és munkaerő-ráfordítást igényelne.

A jelzett problémák megoldása érdekében folytatott vizsgálatok során megállapítást nyert az is, hogy az ipari igényeknek vannak olyan sajátos területei, pl. a repülőgép- vagy a hajógyártás [76], ahol viszonylag kis darabszámú, viszont nagyméretű, egy darabból préselt alkatrész elkészítésére van igény. Ezekhez viszont nem lehetett gazdaságos présgépes technológiát rendelni, így más utat kellett találni.

1948–1949-ben a Harkovi Repüléstudományi Intézet hajtott végre kísérleteket ilyen jellegű alkatrészek robbantással történő kialakítására [55. p. 9.]. Kezdetben a présgépeknél alkalmazott formákat használták fel arra, hogy a lemezeket a kívánt formára alakítsák brizáns robbanóanyagok alkalmazásával. Közvetítő közegként először a levegőt, majd később vizet alkalmaztak. A módszer nagy előnyének tűnt a présgépes alakításához képest annak olcsósága és rugalmassága (akár beton vagy műgyanta formába robbantva, különösebb technikai feltételek nélkül, kis szériában is gazdaságosan gyárthatók voltak nagypontosságú, megfelelő felületi simaságú, viszonylag bonyolult alkatrészek).

Ugyanakkor a kutatók vizsgálták azt is, hogy a nagyszilárdságú, hideg fémlemezre ható extrém rövid időtartamú, nagyon magas robbanási nyomás hogyan hat a fémmre: nem csökkennek-e ennek hatására a fém plasztikus tulajdonságai, egyáltalán nem megy-e tönkre maga a robbantandó lemez, nem változik-e meg a fém kristályszerkezete, nem keletkeznek-e benne káros mikró repedések.

A nemzetközi ipari és tudományos intézetek széleskörű kutatásokat végeztek e kérdések tisztázására. Az **Amerikai Egyesült Államokban 1956-tól** kezdődő kutatások végkövetkeztetése szerint a robbanási energia különösen hatékonyak bizonyult a nagyszilárdságú, de még a kis plaszticitással rendelkező fémek alakítására is. A robbanási nyomás hatására a fémlemez egyenletesen deformálódva, a présgépes alakításakor a sarkoknál időnként előforduló törések nélkül felvette a forma alakját, felületi minősége (simasága) pedig a forma felületi minőségét. [27] [28]

A robbantásos fémalakítással kapcsolatos fejlesztésekbe sorban kapcsolódtak be **más államok kutatói** is, pl. Angliában [7] [8] [9], Csehszlovákiában [6] [63], Dániában [4] [17], Franciaországban [56], Japánban [68], Lengyelországban [37] [49], a Német Demokratikus Köztársaságban [26] [51], a Német Szövetségi Köztársaságban [58] [60], Svédországban [18] [22] és a Szovjetunióban [30] [36].

A robbantásos fémmegmunkálással kapcsolatos hazai szakcikkek

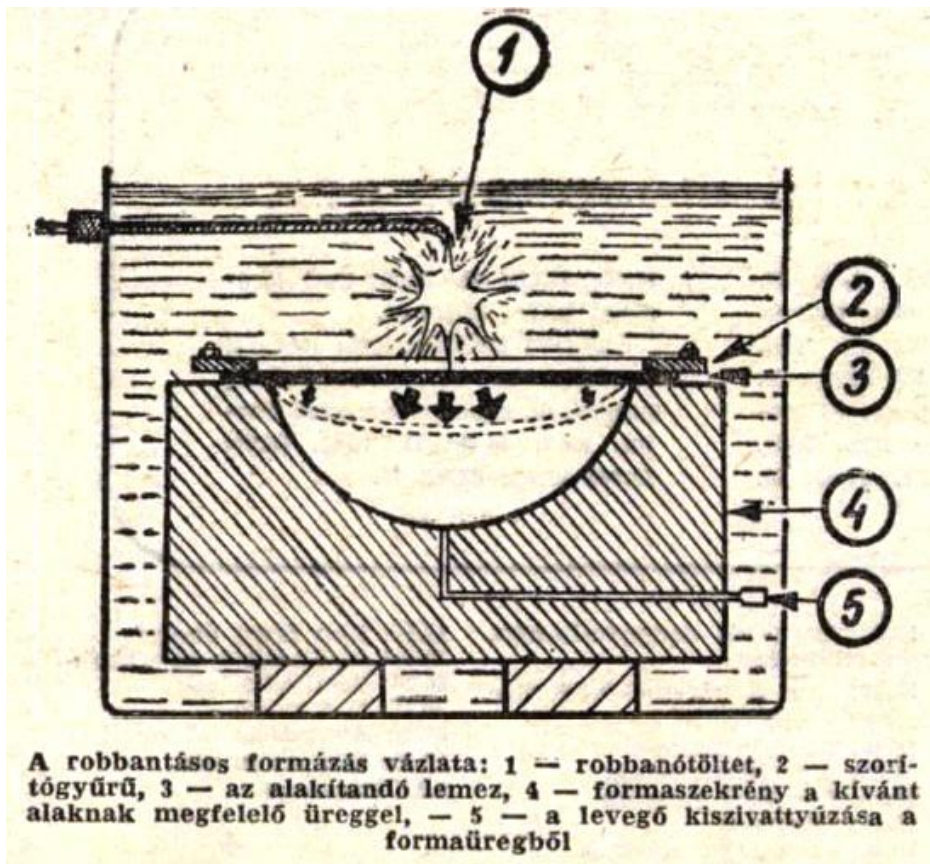
1961-ben a *Műszaki Élet* folyóiratban jelent meg egy interjú **Gillemot László** professzorral, a Képlékeny alakítás technológiája címmel. Ebben a fémlemezekből robbantással előállítható nagyméretű munkadarabok gyártástechnológiájának előnyeiről (nem kell nagyméretű sajtoló berendezés, rideg fémek alakítására is alkalmas) és hátrányairól (nagymennyiségű sorozatgyártásra nem alkalmas) beszélt a tudós. [21]

Ugyanebben az időszakban, **Ligeti György** tollából jelent meg különböző folyóiratokban három cikk a robbantásos fémalakításról. **1961-ben** a *Repülés* című lapban közölt munkájában a robbantásos fémalakításnak a repülőgép-gyártástechnológiában történő alkalmazhatóságáról írt. Érdekes az amerikai Ryan Aeronautical Co. kísérleti tapasztalatának bemutatása, melyet a DC-8-as repülőgép orrkúpjának robbantással történő kialakításakor szereztek. A hagyományos eljárás 131 dolláros költségével szemben a robbantásos módszer csak 15 dollárba került, és a sajtolószerszám előállítási ideje is kedvezőbb volt: a korábbi 12 nap helyett csak 16 óra. A cikk végén arra is kitér, hogy „a repülés- és rakétatechnika fejlődése nagy szilárdságú, hőálló ötvözetek felhasználását követeli meg. Nem ritkaság ma már a titánötvözet vagy a berillium sem. Az említett fémek és ötvözeik mélyhúzással nem alakíthatók, kovácsolásuk igen gyakran úgynevezett meleg repedéseket okoz, forgácsolással történő megmunkálásuk pedig két ok miatt nem jöhet számításba: egyrészt a nagy szilárdságú anyagok megmunkálásánál a szerszámok hamar tönkremennek, másrészt a forgácsoló eljárással nincs mindig lehetőség a kívánt alak létrehozására. A repülő- és rakétagyártás további fejlődése szempontjából [...] létfontosságú a robbantásos fémalakítás bevezetése.” A cikkben fényképekkel is szemléltette az eljárást és annak végtermékét. [40]

Ugyancsak **1961-ben**, a *Lobogóban*¹¹ közölt írást **Ligeti** a témában, egy érdekes bevezetővel. „A második világháborúban figyelték meg, hogy az aknasérült hajók burkolólemezei – melyek más, hagyományos módszerrel igen nehezen formálhatók – az aknarobbanás következtében egészen különleges alakban deformálódtak. Az ötvenes évek során a rakétatechnika különleges követelményei ismét felhívták a figyelmet a robbanóanyagok használhatóságára a haditechnikai gyártás-

¹¹ A Magyar Honvédelmi Sportszövetség 1959–1979 között megjelent hetilapja.

ban.” Ezt követően a következő ábrán szemléltette a robbantásos lemezformázás módszerét. [38. p.4.]



5. számú ábra. A robbantásos formázás vázlatja [38. p. 4.]

A robbanási nyomáshullámok 5–8 ezer m/s sebességgel terjednek a vízben, és a kívánt formára préselik a munkadarabot. Újdonságként említi, hogy a korábbi dinamit- vagy troiltöltetek helyett a nitropenta töltetű Cordtex robbanózsín¹² alkalmazása kezdett elterjedni, mely pontosan adagolható volt, vízálló töltékként tökéletesen megfelelt erre a célra.

Ligeti harmadik, a témába vágó cikke **1962-ben** a *Műszaki Életben* jelent meg. Ebben a robbanóanyagok két újabb felhasználási lehetőségéről is ír. Az egyik a robbantásos portömörítés, ahol pl. kobalt-, titán- és grafitkeverékeket tömörítettek robbantással. A másik a robbantásos hegesztés (plattírozás), ahol „a munkadarabok összehege-

¹² Az amerikai Orica Inc. kétféle töltetmeggel gyártja a robbanózsínét. A Cordtex 18 – 5,3 g/fm, a Cordtex XTL – 10,0 g/fm robbanóanyagot tartalmaz.

dése a nagysebességű nyomáshullám következtében igen rövid időre kialakuló képlékeny anyagállapot eredményeként jön létre”. [39. p. 5.] Érdekes, hogy kétféle, külföldön elterjedt módszerről ír. Az egyik a ma is alkalmazotthoz hasonló Davenport módszer, ahol az alaplemezre egy ún. „repülő lemezt” robbantanak rá. A Pearson módszernél mindkét lemezre helyeztek robbanóanyagot (lásd a 6. sz. ábrát). Az írás szerint, eredményesen alkalmazták a robbantásos plattírozást acél-alumínium, cink-alumínium és nikkel-titán bimetálok létrehozására.



6. számú ábra. Robbantásos hegesztés [39. p. 5.]

1965-ben találkozunk először katonai folyóiratban fémalakító robbantással foglalkozó cikkel. **Nagy Lajos mk. alezredes** a *Honvédségi Szemlében* jelentetett meg egy tanulmányt a témában. A korábbi szakcikkekhez képest újdonság az anyagban, hogy a technológia jobb megértése céljából először bemutatja a hagyományos mélyhúzásos módszer lényegét, mintegy szembeállítva az új eljárással. A bevezetésben egy technika-történeti érdekességről is említést tesz: „az ötvenes években egy svéd robbanóanyaggyár laboratóriumának kollektívája jubileumi ajándékként finoman cizellált tálát készített el. Az ezüsttál egy ismert műkincs hajszálpontos mása volt. [...] az eredeti tál gipszmintája alapján acélöntvényből elkészítették a tál pontos negatívját. Ezután a domborműre ezüstlemez helyeztek és az egészet vízzel telt medencébe süllyesztették, majd a vízben egy töltetet robbantottak fel. A keletkezett nyomás az ezüstlemez az acélöntvény mintájára rá-

sajtolta, és a nagy nyomás a dombormű legapróbb részleteit is átmá-solta a lemezre”. [53. p. 88.] A szerző megemlíti, hogy a robbantásos fémalakításhoz viszonylag kis mennyiségű tölteteket alkalmaznak, ezek az eddigi kísérletek során „115 g – 4,5 kg határok között mozog-tak”. [53. p. 90.] A végső konklúziója szerint: „A robbantásos fémalakít-ás nagy méretű, bonyolult, a közeljövőben kis sorozatszámokban ké-szülő munkadarabok megmunkálására alkalmas”. [53. p. 93.]

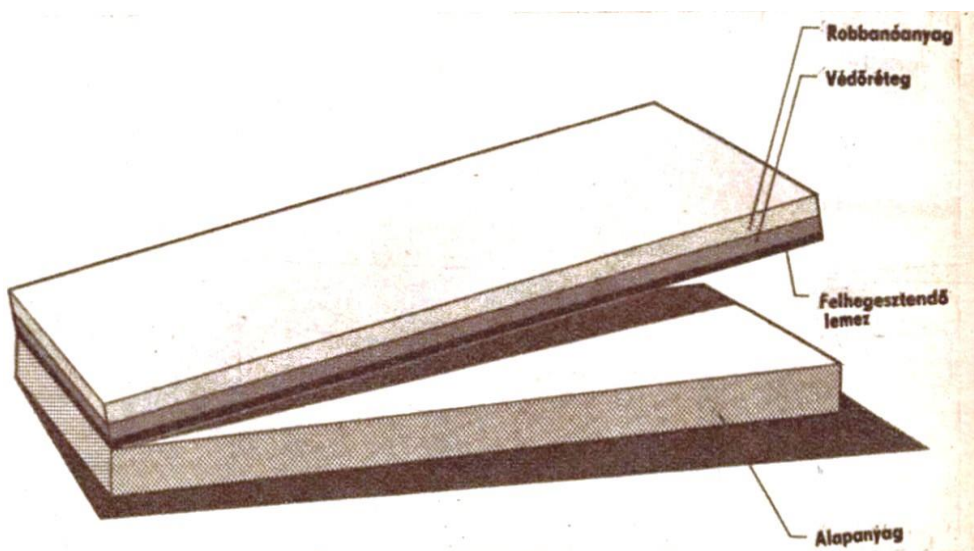
Nagy Lajos, Bereczky István őrnaggyal közösen jegyez egy ugyancsak **1965-ben**, az *Élet és Tudomány* folyóiratban megjelent cik-ket, ***Fémlemezek formálása robbantással*** címmel. A korábbiakhoz képest új információként jelenik meg, hogy „az új módon megmunkál-ható munkadaraboknak jóformán nincsen mérethatáruk. Készítenek 15–18 méteres átmérőjű, közvetlenül a talajon nyugvó alakító formákat is. Ezúttal maga a forma egyben a víztartály is. Ekkora munkadarabnak présgéppel való megmunkálása elképzelhetetlen”.

Ugyancsak a módszer előnyeként említik, hogy a „kialakítás után a fém visszarugózása (rugalmassága) szinte szóra sem érdemes értékre csökken, és a tőrés – az előírt értéktől való eltérés – csaknem minden esetben kisebb (pl. 0,02-0,05 mm), mint a hagyományos eljárásban. Robbantással titánalapú ötvözeteket is sikerült a lehető legcsekélyebb visszarugózással és a lemez elvékonyodása nélkül alakítani”. [54. p. 642.]

1965-ben a *Lobogó* folyóiratban megjelent ***Fémalakítás robban-tással*** c. cikk a korábban közöltekhez képest nem tartalmaz újdonsá-got. [31. p. 7.] Az ugyanebben az évben megjelenő *Univerzum*¹³ vi-szont érdekes cikket közöl (szerző nélkül) ***Acél és titán összehegesz-tése*** címmel. E szerint az esseni Krupp Művekben kidolgoztak egy el-járást a két fém robbantással történő egyesítésére. A robbanás során keletkező, kb. 50 000 atmoszféra nyomás és 3000 °C hőmérséklet mellett a két fém tökéletesen összeheged az anyagszerkezet változat-lansága mellett. A két anyag közötti szakítószilárdság a kísérletek sze-rint 20–35 kg/mm² volt.

„A vállalat már megkezdte a robbantással plattírozott lemezek folya-matos gyártását, és egyéb, másként össze nem hegeszthető fémek robbantásos hegesztésével is kísérleteznek”. [3. p. 89.]

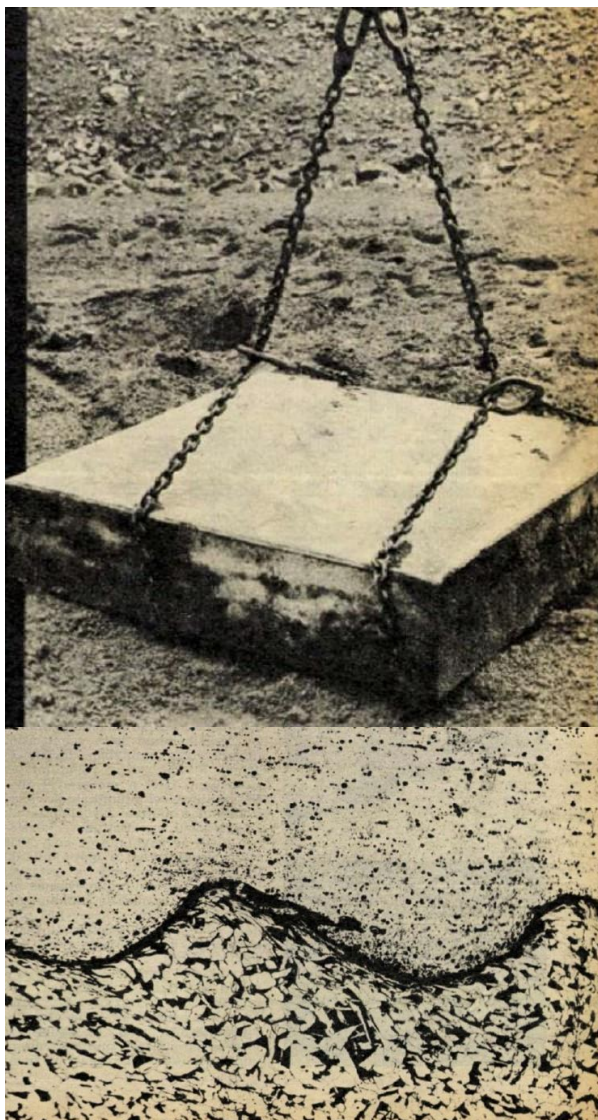
¹³ A Kossuth Könyvkiadó havonta megjelent folyóirata 1957–1987 között.



7. számú ábra. Acél- és titánlemezek robbantásos hegesztése
[3. p. 89.]

Ugyancsak a robbantásos hegesztés a témája a *Delta*¹⁴ c. folyóiratban **1971-ben** megjelent cikknek, melyben az amerikai Du Pont cég által kifejlesztett Kalomet-eljárás brit gyártásban történő alkalmazásáról olvashatunk. [25] Az Imperial Chemical Industries (ICI) a vegyi és petrokémiai iparban alkalmazható bimetálokat állított elő úgy, hogy olcsó (pl. rozsdamentes acél) alaplemezekre robbantott rá titán- vagy tantálcsovetű bevonatokat. Ez által a speciális, szélsőséges vegyi anyagoknak is ellenálló nyomásálló tartályok előállításának költsége a felére csökkent. A robbantással hegesztett fémlapokat csövek és egyéb vegyipari berendezések előállítása során is használták, mivel azok „tetszés szerint hegeszthetők, forgácsolhatók, fúrhatók és formázhatók a felhasználás célja szerint, miközben a kötés szilárdsága változatlan marad.” Példaként az acél-titán lemezt említi, melynek a „kísérletek szerinti szakítószilárdsága legalább 140 kg/cm², de a lemez kétszer ekkora igénybevételnek is ellenállhat.” A cikk szerint „ezzel a módszerrel legfeljebb 1,5 mm vastag fémlapok „vasalhatók” rá az alaplemeze. Általában minél nagyobb a bevonásra váró felület, annál vékonyabb fémlapokat használhatnak bevonatként, s egyetlen robbantással kilenc négyzetméteres felületű lapok is összehegeszthetők”. [25. p. 29.] Az ICI telephelyén évente tízezer négyzetméter anyagot készítettek elő így ipari felhasználásra. A gyártási technológiát és a robbantás következtében a két anyag között létrejövő kötés mikroszkopikus felvételét is bemutatja a cikk.

¹⁴ 1967 és 1987 között havonta megjelent tudományos-technikai folyóirat.

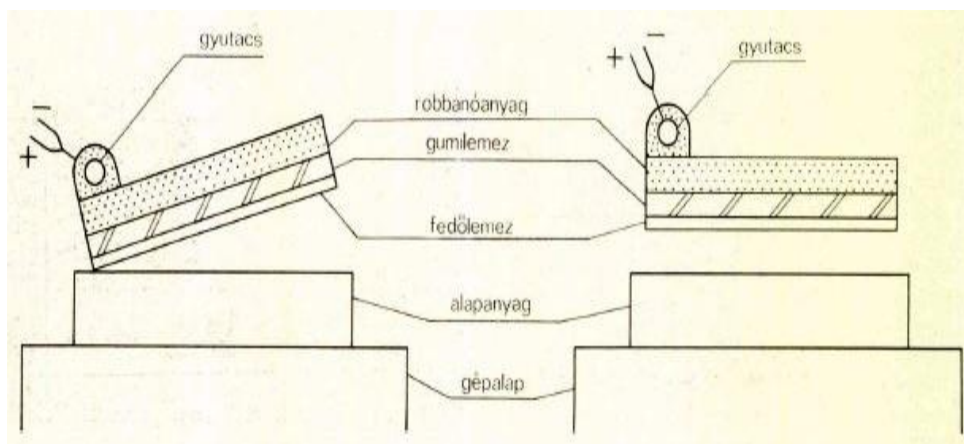


8. számú ábra. Robbantással hegesztett munkadarab és a kötés mikroszkopikus felvétele (a két „hullámhegy” közötti távolság a valóságban 0,07 mm) [25. p. 29.]

A *Haditechnika* 1972/2. számában jelent meg **Hatos Géza** tanulmánya **Újabb eredmények az alakítástechnikában** címmel. [23.] A cikk második felében olvashatunk az új nagysebességű alakítási módszerekről. Ezek közül a robbantásos fémalakítás kapcsán azt írja „Az utóbbi két évben különösen a víz alatti robbantásos technológia fejlődött nagyot [...] az eljárás már kilépett a laboratóriumi keretek közül, és egyes gyártó vállalatok újabban kereskedelmi jellegű alumínium, titán és rozsdamentes acél anyagú tartályok előállítására is

alkalmazzák. A legnagyobb így készült tartály külső átmérője 3700 mm, falvastagsága pedig 26 mm.” A gyártás biztonságossága érdekében az NSZK-ban Hertel és Ruppin egyetemi tanárok egy automata szelep beépítésével elérték, hogy a robbanás után 1 milliomod másodperccel a füstgázok és a víz egy része eltávozzon, ezáltal a berendezés már üzemi körülmények között is alkalmazhatóvá vált (egyébként csak szabad téren lehetett robbantani). „A módszer hasznosításával már terveztek egy olyan gépet, amelynek munkafelülete 250x350 mm (tehát ilyen méretű síklemezből lehet kiindulni az alakítás előtt), és mindössze 10 g-nyi robbanótöltettel 7,5 MN sajtolóerőt szolgáltat. A hírek szerint rövidesen forgalomba hoznak a gépjárműipar számára az előbb említett gép továbbfejlesztésével egy olyan típust, amely 250 g robbanótöltettel 0,2 GN sajtolóerőt fejt ki, és 2,5 m² kiinduló felületű lemezek alakítására lesz alkalmas. Ennek az új, biztonsági robbantásos sajtolásnak nagy lehetőségei vannak a gépjármű-, a repülőgép- és rakétaiparban, úgyszintén a tartálygyártásban és a finommechanikai iparban. Talán az új technológia katonai fontosságát nem kell különösebben hangsúlyozni.” [23. p. 52.]

A következőkben a robbantásos hegesztés (plattírozás) technológiájával kapcsolatban érdekes megoldásról ír a szerző. E szerint a felső (repülő) lemez és a munkavégző robbanóanyag rétege közé egy gumilemezt helyeznek (lásd a 9. sz. ábrát). „A szokásos körülmények között a lemezfelület minden négyzetméterére 5 kg robbanótöltetet kell számításba venni. A detonációs front sebessége nem haladja meg a 3000 m/s értéket. Az ábrán baloldalt bemutatott elrendezést rövid, kisebb felületű fedőlemezekhez, a jobboldalt vázolt megoldást pedig hosszú, nagy felületű fedőlemezekhez alkalmazzák.”



9. számú ábra. Robbantásos hegesztés elrendezési vázlata
[23. p. 52. 8. ábra.]

Érdekességként említjük meg, hogy nem csak műszaki folyóiratokban, hanem „civil” napilapokban is foglalkoztak a nagysebességű fémmegmunkálás kérdésével. Így a *Hajdú Bihari Napló* **1975. június 28-i** számában olvasható egy cikk **Fémalakító eljárások** címmel. Ebben az elektromágneses, elektrohidraulikus és pneumomechanikus fémalakítási eljárás mellett összefoglalják a robbanóanyaggal végzett fémalakítás és plattírozás módszereit is. A fémlemezok robbantásos alakításánál arról tudósít, hogy „ezzel a módszerrel nagyméretű lemezalkatrészek alakítása végezhető el. A lemezvastagság elérheti a 6–10 millimétert, az átmérő pedig a 15–18 métert is. Ekkora munkadarabok présgéppel való megmunkálása elképzelhetetlen”. Végezetül megemlíti, hogy a „robbantásos technológiát alkalmazzák még csővégeknek csőfalba való besajtolására is.” [20. p. 4]

1976-ban a *Műszaki Élet* 13. számában, a robbanóanyag egy különleges felhasználásáról olvashatunk: a gyémántkészítésről. A nagynyomásos „robbantásos eljárás lényege, hogy a grafit vagy az amorf szén gyémánttá való átalakításához szükséges rendkívül nagy nyomásokat és hőmérsékleteket egy töltet felrobbantásával idézik elő. A kiinduló anyagot (ez grafit és fémpor keveréke, amelyet nagymértékben tömörítve, acélhengerben helyeznek el) néhány milliomod másodperc alatt több százezer atmoszféra nyomásnak tesznek ki és 1000 °C fölé hevítik. A robbanás hatására kisméretű gyémántkristályok (átmérőjük 100 angström) aggregátumai keletkeznek. E polikristályos gyémántszemcsék átmérője is 0,1 mm alatt van, és [...] elsősorban a csiszoló és polírozó iparban használják fel őket”. [1. p. 19] Tehát koronázási ékszereket nem tudunk sajnos robbantással előállítani, de az ipari gyémántok alkalmazása mára már széleskörűen elterjedt.

Az autóipar a robbantásos fémalakítás gyakorlati életben történő hasznosítása terén jelentkezett újdonsággal, ahogy erről a *Delta* **1977/2.** száma tudósít, **Autótengelyek gyártása robbantással** című közleményében. Az akkor széles körben használt IFA W 50 típusú tehergépkocsik hátsó tengelyét gyártotta a német ludwigsfeldei üzem ezzel az eljárással. A cikk szerint: „Az öntés, a hegesztés és a forgácsoló megmunkálás feleslegessé válása révén 30 perccel, az anyagfelhasználásban pedig 10 kilogrammal csökkenthették egy-egy tengely gyártásának idejét és anyagszükségletét”. [5. p. 7.] A három szabadalommal is védett eljárásról eredetileg az Automobilwerke adott ki egy közleményt 1977-ben. [26]

Kevesebb figyelmet kapott, de legalább olyan jelentőségű, mint a fémalakítás és a hegesztés, a robbantásos portömörítés. **1978-ban** az

Élet és Tudományban jelent meg egy rövid közlemény a *Frankfurter Allgemeine Zeitung* alapján **A jövő anyagai: az üvegfémek** címmel. A cikk szerint „az üvegfémek nagyon szilárd, a korrózióknak és a sugárzásoknak ellenálló újszerű anyagok. Hagyományos eljárással nehezen ötvözhető, legalább három fémnek a teljes ötvözetei. Megdermedt, az üveghez hasonló – amorf, nem kristályos halmazállapotú olvadékok, innen a nevük”.

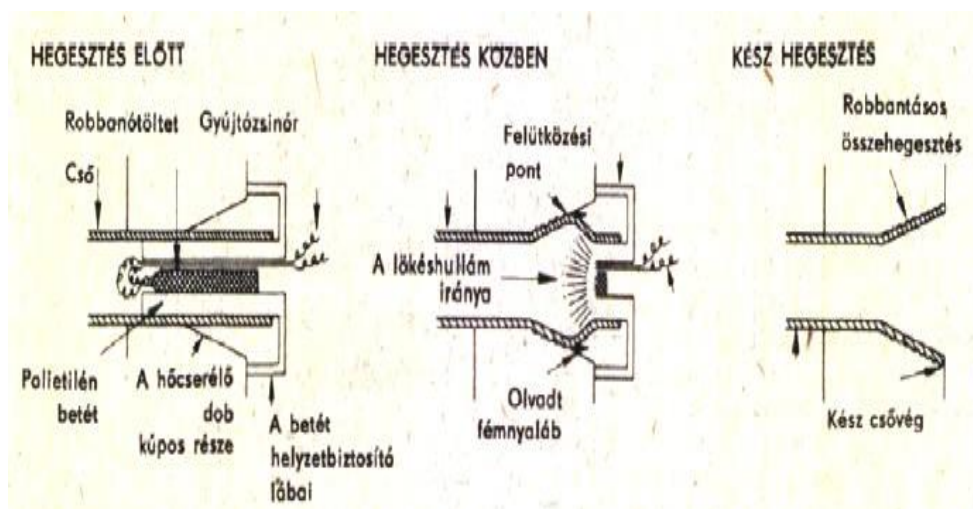
Az amerikai Lawrence Livermore Laboratóriumában kikísérletezett eljárás segítségével „legalább három fémnek a porából (pl. nikkelből, vasból és borból, illetve rézből, palládiumból és szilíciumból)” gyártottak robbantással különleges tulajdonságú homogén, tömör testeket. Az eljárás lényege, hogy az igen rövid idejű nagy nyomás alatt a részecskéknél nincs idejük arra, hogy elkülönüljenek és szabályos kristályos állapotba menjenek át.

Az eljárással korábban azért nem foglalkoztak, mert azt hitték: „a végtermék túlságosan rideg ahhoz, hogy ellent tudjon állni a robbanás nyomásának.” A kísérletek eredményeként kialakított eljárás során viszont a por teljes mértékben tömörödött, nem olvadt meg és nem roncsolódott. [2. p. 1373.]

Az **1980-as években** – érdekes módon – a *Népszabadságban* jelent meg két cikk a vizsgált témában.

A már idézett **Hatos Géza** az **1982. január 12-én** megjelent lapszám Tudomány és Technika rovatában közölt cikket **Robbantásos fémalakítás** címmel. A korábban már ismertetettekhez képest a robbantásos hegesztés kapcsán arról ír, hogy „ma kizárólag ezzel a módszerrel hegesztik össze például a katonai repülőgépek szárnyaihoz a titánötvözetű részeket az alumíniumötvözetűekkel. Ily módon nagy szilárdságnövekedést és anyagmegtakarítást érhetnek el a drága titánötvözetekből, s mindezt igen gyors technológiával”. Másik érdekesség a cikkben az angol Ympact-eljárás bemutatása, melyet hőcserélők 12,7...80,9 mm belső átmérőjű csővégeinek tökéletes, szivárgásmentes zárásához fejlesztettek ki”. A titánötvözetből készült cső és a rozsdamentes acél hőcserélő dob robbantásos kötéséről lásd a 10. sz. ábrát.

A cikk végén olvashatunk a robbantásos fémalakításban abban az időben kutató hazai intézményekről: a Gépipari Technológiai Intézet-ről, a Villamosipari Kutató Intézet-ről és a Vasipari Kutató Intézet-ről. [24. p. 10.]



10.számú ábra. Ympact-eljárás hőcserélők csöveinek zárására [24. p. 10. 2. ábra]

A *Népszabadság* másik cikkét **Szluka Emil** jegyezte az **1984. szeptember 13-i** számban ***Az anyagformálás új technikája*** címmel. A közlemény egy riport V. M. Kugyinov szovjet akadémikussal, az új fémipari technológiák kifejlesztésének kezdeményezőjével. A tudós elmondta, hogy a robbanóanyagok alkalmazásával történő újfajta anyag-előállítási és megmunkálási alapgondolat még a Lavrentyev akadémikus¹⁵ által vezetett egyik novoszibirszki kutatóintézetben merült fel 1960-as években. A kutatás arra irányult, hogyan lehetne a robbanási energiát fémek gyors alakítására, népgazdasági méretekben hasznosítani. A tényleges kutatást azután Kijevben, a Paton akadémikusról elnevezett hegesztéstechnikai intézetben kezdték el. A kifejlesztett technológiákkal „ma már évente több ezer tonna bimetált állítanak elő és több millió alkatrészt hegesztenek robbantással” nyilatkozta Kugyinov. [75. p. 6.]

Bár nem cikkről van szó, de mindenképpen meg kell említeni az **1983-ban** megjelent ***Robbantástechnikai kézikönyvet***. A 2.6. A robbantásnak az anyagra kifejtett fizikai-kémiai hatásai tárgyú alfejezetében foglalkozik röviden a robbantásos portömörítés, felületkeményítés, hegesztés és alakítás kérdéseivel. [10. p. 54–57.]

¹⁵ A szovjet tudós nevével még találkozni fogunk a cikksorozatnak egy későbbi, a robbanás irányított hatásával foglalkozó részében. Ő dolgozta ki a fémbélesek kumulatív töltetek hidrodinamikai elméletét, melyben a bélés anyagát összenyomhatatlan folyadéknak tekintette, ezáltal a hidrodinamikai törvények alapján végezhette el a méretezést.

A robbantásos fémmegmunkálás hazai kutatási eredményei 1990 előtt

Mint arról fentebb írtunk, Hatos Géza 1982-es cikkében [24] három hazai intézményt említett érintettként a robbantásos fémmegmunkálás témájában: a Vasipari Kutató Intézetet, a Gépipari Technológiai Intézetet és a Villamosipari Kutató Intézetet.

A **Vasipari Kutató Intézetet (VKI) 1949-ben** alapították. Első vezetője **Gillemot László** professzor volt, aki a Műszaki Élet fent bemutatott, 1961-es cikkében nyilatkozott a robbantásos félalakításról is [21]. A VKI-ben ezzel kapcsolatban folyó tényleges kutatómunkáról nem állnak rendelkezésemre információk. Gillemot 1969-ben – Ziaja Györggyel társszerzőségben jegyzett – **Fémek képlékeny alakítása** című egyetemi jegyzetében¹⁶ viszont foglalkozott a témával a **Robbantásos lemezalakítás** című fejezetben. A VKI – egyéb „kortársaihoz” hasonlóan – 1990 után bezárta kapuit.

A **Gépipari Technológiai Intézetet (GTI) 1951-ben** alapították a gépgyártás-technológiai kutatás-fejlesztés és a gépgyártás műszaki szervezésére szolgáló kutatóbázisként. A GTI **1965-ben** kezdett el **robbantásos alakítási technológiák** fejlesztésével foglalkozni **Czeglédi Istvánné (Galina)**, a Képlékenyalakítási Technológiák Kutatási Főosztály tudományos főmunkatársának vezetésével. [11–15] Arra is nagy hangsúlyt fektettek, hogy a kutatások ne csak elméleti területen folyjanak, hanem vizsgálják az eljárás gyakorlati hasznosságát az ipar számára és a kísérleti eredményeket rövid úton alkalmassá tegyék ipari bevezetésre. Kidolgozták a robbantásos lemezformázáshoz szükséges „matricák” (alakító szerszámok) tervezésének alapelveit, ezen belül a szakirodalomban addig nem ismert konstrukciós megoldású, több rétegből összeállított robbantó matricát. Ez a szerszámkonstrukció lehetővé tette:

- egy szerszámban különböző mélységű, azonos átmérőjű mélyhúzott darabok gyártását a szerszámot felépítő lapok számának változtatásával;
- azonos átmérőjű és mélységű, de különböző anyagvastagságú lemezek alakítását a „húzórádiust” magában foglaló réteg cseréjével;

¹⁶ A BME Gépészmérnöki Karán kiadott jegyzet utánnomásaival is találkozhatunk az antikváriumokban (1977; 1987; 1991.).

- a robbantás során a matricában keletkező helyi meghibásodások megszüntetését egyes rétegek cseréjével.

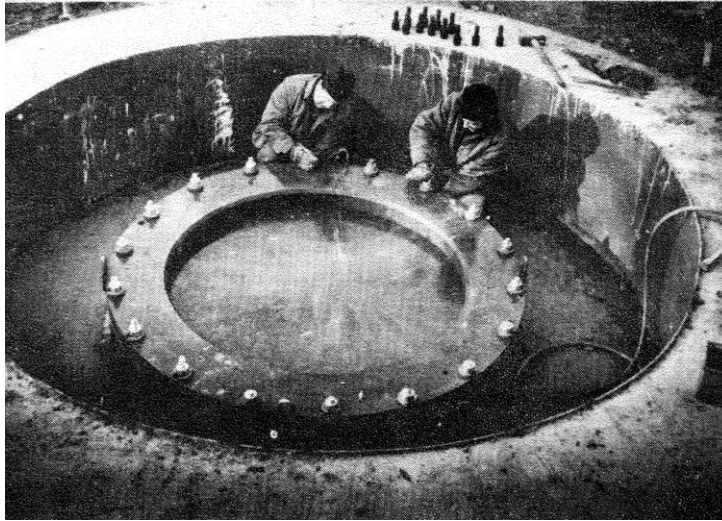
Az öntöttvas, gömbgrafitos öntöttvas és kovácsolt tömbből készített matricák mellett készítettek és alkalmaztak vasbeton matricákat is. A tapasztalatok az bizonyították, hogy a vasbeton matrica bizonyos esetekben a robbantott termékek sorozatgyártására is alkalmas volt. Ez azt eredményezte, hogy azonos körülmények között a vasbeton matrica előállítási költsége lényegesen alacsonyabb volt, mint az acélból készülté, és a súlyarány is kedvezőbb volt: kb. 1:2,5. A vasbeton matricás technológiánál (a gyártandó munkadarabtól függően) a matrica munkadarabbal érintkező felületét műanyag réteggel vagy acélbetéttel látták el.

A robbantással előállított alkatrészek közül akkor Magyarországon tartályfenékekre volt a legnagyobb igény. Az Intézet kidolgozta az MSZ 1455 és MSZ 332 szabványok szerinti edényfenék-kialakítási technológiát az $\varnothing 315 - \varnothing 1600$ mm mérettartományban. Ezek a gyártmányok az Állami Energetikai és Energia-biztonságtechnikai Felügyelet engedélye alapján nyomás alatti berendezésekbe is beépíthetőek voltak. Az Intézet peremartoni robbantótelepén két robbantómedencével ($\varnothing 6$ m és $\varnothing 2,5$ m), továbbá a technológiai folyamathoz szükséges létesítményekkel és felszerelésekkel rendelkezett. Képes volt ötvözetlen acél, korrózióálló acél, alumínium és plattírozott lemezből (ötvözetlen és korrózióálló acél kombinációban) készítenő tartályfenékek vállalati igényeknek megfelelő sorozatgyártásra. Az előállított alkatrészek méret- és alakhűek voltak, kiváló felületi minőséggel.

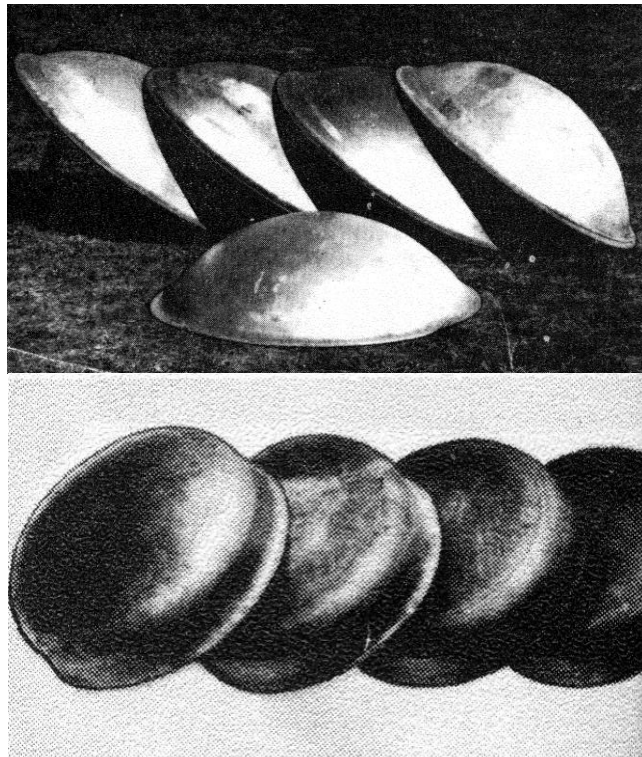


11. számú ábra. GTI tartályfenék robbantó matrica¹⁷

¹⁷ GTI gyártmányismertető prospektusa.



12. számú ábra. GTI robbantó medence és a munkadarab előkészítése¹⁸

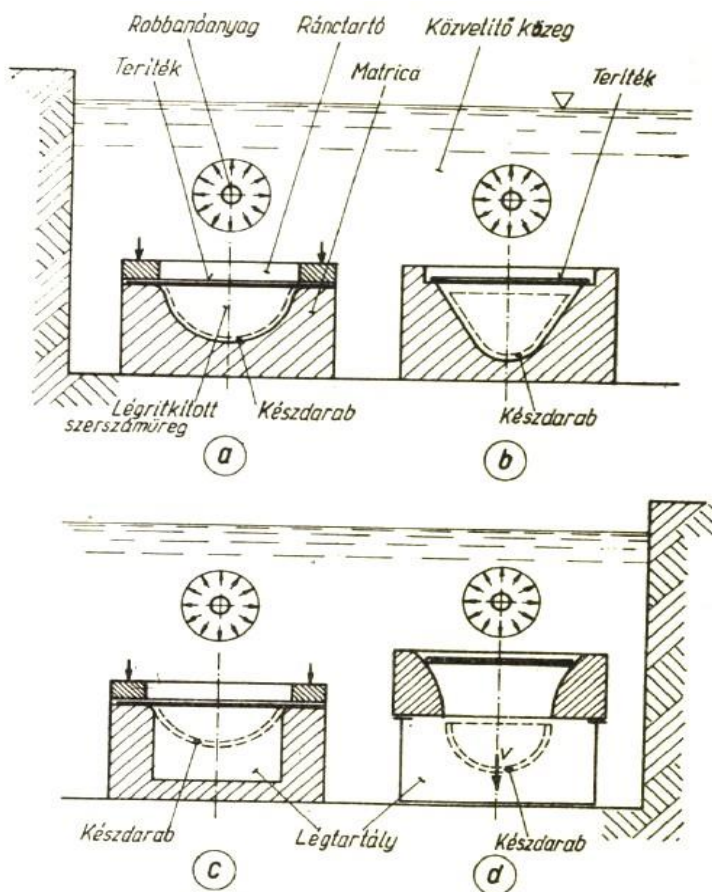


13. számú ábra. GTI robbantott tartályfenekek¹⁹

¹⁸ Uo.

¹⁹ Uo.

Ugyancsak az **1970-es és 1980-as években** foglalkozott a robbantós fémalakítás kérdéseivel **Susánszky Zoltán**, a **BME Közlekedésmérnöki Kar, Mechanika Tanszékének** oktatója. A *Haditechnikai Szemle* 1969. évi 3. számában megjelent **Az energiairányítás fémek robbantó alakításakor** című cikkében a robbanási lökéshullámok energiájával történő fémalakítás robbanásfizikájával foglalkozik. [64] A 14. számú ábrán a robbantó mélyhúzás lehetséges változatait mutatja be, úgymint: a – hagyományos sajtolószerszám matricájának és ránc tartójának felhasználásával; b – csak matricával; c – ránc tartós szabaddalakítással; d – átlövéssel végzett alakítás.

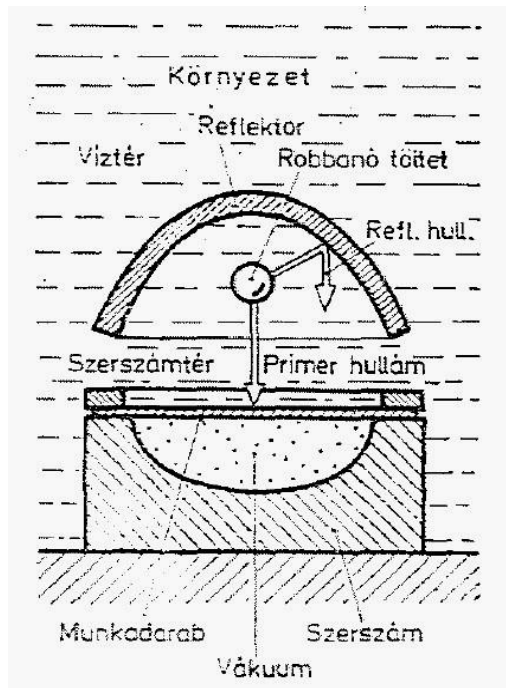


14. számú ábra. Robbantó mélyhúzás lehetséges változatai
[64. p. 98. 1. ábra]

A *Természet Világa* 1971. évi 10. számában **Robbanóanyagok alakítják a fémeket** címmel közölt cikkében [66] a GTI-nél bemutatott fémalakítási eljárások gyakorlati alkalmazásának részleteiről, valamint a víz alatti lökéshullámokkal kapcsolatos egyetemi kutatásai (terjedési

formáik és nyomásváltozásuk) eredményeiről olvashatunk. A kísérletekhez a Mechanika Tanszéken kifejlesztésre került egy nagy érzékenységű piezoelektromos indikátor is, mellyel rögzíteni tudták a kialakuló nyomásprofilokat.

Susánszky Zoltán a *doktori értekezését* is ebből a témából védte meg **1973-ban** a Budapesti Műszaki Egyetemen **A robbantó mélyhúzás energiaközlési folyamatának műszeres vizsgálata** címmel. További kutatásai a **robbantó mélyhúzás alakító impulzusának reflektorok segítségével történő formálására** irányultak. Ennek okát a *Periodica Polytechnica, Transportation Engineering, 1983 (vol 11.)* kiadványban megjelent cikke előszavában így összegezte: „A robbanóanyagok energiáját fémalakításra felhasználó eljárások alapvető problémája a technológia alacsony mechanikai határfoka és a detonációs lökéshullámok környezetkárosító hatása. E kedvezőtlen jellemzők javítására az utóbbi években – néhány kutatóhely munkájának eredményeként is – egyre inkább elterjedt a detonációs alakító impulzus reflektorokkal történő irányítása. A megfelelő formájú és szilárdságú tükör egyrészt az eddig szétsugárzott energiahányadost is a munkadarabra irányítja, másrészt ezáltal a környezet dinamikus terhelését csökkenti.” [67. p. 61.] Az eljárás elvi vázlatát a 15. sz. ábrán látható.



15. számú ábra. Robbantásos fémalakítás reflektor alkalmazásával [67. p. 63. 2. ábra]

A bemutatott példák után azok alkalmazását a mai ipari gyakorlatban hiába keressük. A Gépipari Technológiai Intézet is felszámolásra került 1990 után.

A **Villamosipari Kutatói Intézetet (VKI) 1949-ben** alapították. A Ganz Villamossági Gyárból kivált Kutató és Kísérleti Osztályból először létrehozták a Villamosipari Központi Kutató Laboratóriumot (VKKL), amelyből később megalakult a VKI. Feladata az erősáramú gyártóipar fejlesztésével kapcsolatos legfontosabb kérdések tudományos kidolgozása és a megoldott feladatok gyakorlati megvalósításának elősegítése volt. Az intézet e feladatkörében távlati, elvi jellegű kutatásokat folytatott, közvetlen ipari érdekű alkalmazott, fejlesztő, adaptációs és reprodukáló kutatómunkát végzett, továbbá szükség szerint tervezési, kutatóintézeti szolgáltatási és kísérleti gyártó jellegű tevékenységet is ellátott; gondoskodott továbbá a kutatási eredmények ipari hasznosításáról. Az intézet ezen túlmenően feladatának tekintette más iparágak elektrotechnikai és elektronikai problémáinak a megoldását is. 1968-ban a VKI ipari kutatóintézeti státuszt kapott. Ettől kezdve az intézet kutatási kapacitásának már csak egy részét kötötték le a központi finanszírozású témák; a fennmaradó hányadot közvetlen ipari kutatási-fejlesztési megbízásokkal kellett feltölteni. [78. p. 3.]

A VKI-n belül működött egy **munkacsoport**, melyben **Szalay András**, **Puskás József** és **Bérczes Imre** a robbantástechnikai eljárások villamosipari alkalmazási lehetőségeinek kutatásával, fejlesztésével foglalkozott.²⁰

Az első terület az elektromos csatlakozóelemeknél felmerülő korróziós jelenségek vizsgálata, megoldási lehetőségeinek megoldása volt. A szakirodalomból ismert, hogy bizonyos fémek, összeépítésük esetén, nedvesség hatására galvánelemként működnek, és közöttük korrózió léphet fel. Ez a kontaktkorrózió elkerülhető megfelelő anyagpáros választásával vagy (ha ez nem lehetséges) olyan konstrukciós kialakítással, amely esetében a két különböző fém közé nem kerülhet elektrolit. Ilyen lehetőség a plattírozott lemezek alkalmazása, melyek egymással kohéziós kapcsolatban vannak. A **robbantásos plattírozással** olyan anyagpárosítások is létrehozhatóak, melyek más technológiával (hideg- és meleghegyszerelés, préselés stb.) nem kivitelezhetőek (bővebben lásd az 1. sz. ábránál). A robbantott, plattírozott munkadarabnál olyan szilárd kötés jön létre, hogy azt tovább lehet hengerelni a kívánt vastagságra. A hagyományos (szakirodalomban

²⁰ Összefoglaló tanulmányt lásd [19].

található) fémkombinációkhoz képest a VKI-ben új, kísérleti bimetálokat is létrehoztak: pl. acél/ezüst, sárgaréz, réz, alumínium; ezüst/réz, alpakka; alumínium/réz. [70. p. 173.] A robbanással létesített felületi kötés szilárdságát mutatta, hogy az ezüst-réz és az ezüst-alpakka, 22 mm vastagságú plattírozott tömbjeit 0,4 mm összvastagságú lemezekké hengerelték, majd ezekből 6x8 mm felületű érintkezőlapkákat (alátéteket) készítettek. A nemesfém-alapfém vastagságarány 1:10, illetve 1:9 volt, amely a hengerlés során gyakorlatilag nem változott.



16. számú ábra. Alumínium-réz plattírozott bimetál lemez és a belőle hengerlés után, sajtolással készült alátétek²¹

Az elektrotechnika igényeinek kielégítése céljából kezdtek el foglalkozni a VKI-ben a **robbantásos portömörítéssel**. Az első ilyen fejlesztésük eredményeként **nikkel (Ni) tartalmú ezüst (Ag) érintkezőanyagokat** készítettek ezzel a technológiával. Az egyébként csak porkohászati eljárással előállítható anyag berendezés- és anyagigénye nagyon költséges volt. „A porok sajtolását $(0,5-8,0)10^8$ Pa fajlagos nyomással, 50–10.000 t-s préseken végzik, a hőkezelési műveletekhez nagy kapacitású, 500–2 000 °C hőmérséklet-tartományban működő védőgázos kemencéket alkalmaznak. E technológiák fajlagos villamosenergia-igénye kb. 2000 kWh/t.” [71. p. 182–183.] Tekintve, hogy abban az időben hazánkban az AgNi összetételű érintkezőanyagok éves felhasználása kb. 1000 kg volt, kidolgozták az erősáramú ipar számos területén alkalmazott Ag-Ni 10 érintkezőanyag előállításának sokkal olcsóbb, robbantásos portömörítéssel technológiáját. Egy művelettel 10–50 kg porkeveréket tudtak előállítani (90% ezüst és 10%

²¹ Forrás: S-Metalltech Kft.

nikkelpor felhasználásával). Az így nyert homogén szerkezetű, mintegy 80 mm átmérőjű AgNi rúd átmérőjét hidraulikus présen végzett melegsajtolással 10 mm-re csökkentették, majd hagyományos huzal-redukáló soron nyerték el a kívánt, 1,5 mm átmérőjű, huzal formájú végterméket.

Az eljárást eredményesen alkalmazták **reaktortechnikai szigetelő átvezető** készítésénél is. A reaktoron belül elhelyezett mérőberendezéseknél felhasznált szerelvényekkel szemben támasztott komplex követelményrendszernek megfelelő fém-kerámia kompozíciójú szerelvény előállítása az alábbi követelményeket támasztotta: hőállóság (min. 350 °C), nyomásállóság (min. 125 bar), villamos szigetelőképeség (min. 2000 MΩ), gammasugárzás-állóság.



17. számú ábra. Reaktortechnikai szigetelő átvezető anyag gyártási folyamata²²

²² Forrás: S-Metalltech Kft.

A feladatot tengelyszimmetrikus robbantásos portömörítéssel végezték: a fémcsövet – ami a por alakú magnézium-oxid (MgO) tartályaként szolgált – robbanóanyaggal vették körül, és ennek iniciálásával 108–1011 Pa csúcsnyomású nyomáshullámot hoztak létre. Ez a nyomáshullám V_d detonációs sebességgel haladó „húzógyűrűként” mozogva a henger tengelyével párhuzamosan (lásd a 4. sz. ábrán), a hengeres tartály anyagát képlékenyen alakította és beszűkítette, ezáltal a benne levő port tömörítette. A végterméket, az AgNi rúdnál bemutatott módon kapták meg (18. sz. ábra).



18. számú ábra. A robbantott munkadarabból előállított végtermékek²³

A **robbantásos fémalakításon** belül főleg a **csőalakítással** foglalkoztak. Hangtompító csőidomokat, csavarszivattyú-alkatrészeket, hőcserélő csöveket, sőt gépjármű bütykös tengelyt is készítettek csőből, robbantásos eljárással (lásd a 4. sz. ábrát).

Arról, hogy a kutató által kifejlesztett újdonságok miként hasznosultak abban az időben, a **Népszabadság 1980. január 1-i, A kutatóintézetektől a gyárákig. Miért hosszú az út?** című cikkében olvashatunk. [77. p. 8.] Ebben többek között **Lukács József**, a VKI igazgatója számolt be arról, hogy kidolgozták a meleg elektrodinamikus fémalakítás technológiáját arra gondolva, hogy „az iparvállalatok kapva kapnak rajta”. De nem így lett, pedig csaknem félszáz vállalat képviselőjének bemutatót is tartottak bizonyítva, hogy az alkalmazott kovácsolással és esztergálással szemben a másodperc tört része alatt kialakítható a robbanóanyag vagy az elektromágneses energia felhasználásával a kívánt bonyolult forma. „Az eljárás termelékeny és körülbelül 30 százalékos anyagmegtakarítást ad”. **Tamás Mihály** újságíró ezután számos

²³ Forrás: S-Metalltech Kft.

céget megkeresett ez ügyben az Egyesült Villamos Gépgyártól az Ikaruson keresztül az Ipari Szerelvény és Gépgyárig és a Magyar Vagon- és Gépgyárig. A kifogások különbözőek voltak, a végeredmény egy: nem kell.

A VKI **1994-ben** megszűnt, de szakembereit 12 gazdasági társaságba mentette tovább. Ennek egyike volt a bemutatott, robbantástechnikával foglalkozó szakemberek közül **Szalay András** és **Bérczes Imre** részvételével megalakított **Metalltech Kft.**

A hazai robbantásos fémmegmunkálás helyzete 1990 után

A Metalltech Kft.-ből **1998-ban** alapították meg az **S-Metalltech 98 Kft.**-t. Az alapítás célja az volt, hogy a tagok villamosmérnöki, gépészmérnöki és robbanástechikai képzettségére alapozva összekötő láncszemet képezzen az egyetemek, kutatóintézmények és az ipar között. A jelenleg négy villamosmérnökkel és két technikussal dolgozó társaság egyrészt az egyetemek és iparvállalatok K+F műhelyeként működik, másrészt a villamosipar, autógyártás és reaktorteknika területén alkalmazott különleges anyagok gyártóbázisát alkotja hazai és külföldi kooperációs partnerek széles körével együttműködve. A társaság bevételei elsősorban a folyamatosan vizsgált anyag-, ill. alkatrészigények kielégítéséből, továbbá hazai és külföldi kutatási programok keretében végzett kutatási és fejlesztési munkákból származnak.

A cég fő tevékenységei:

- Anyagtechnológiai kutatás-fejlesztés végzése és mintaanyagok készítése, elsősorban a HERF (High Energy Rate Forming) technológiákra, azaz a robbantásos plattírozásra és portömörítésre, valamint az elektromágneses fémalakításra és portömörítésre alapozva.
- Gyártástechnológiai kutatás-fejlesztés végzése a fenti technológiákra alapozva.
- Demonstrációs eszközök tervezése és gyártása oktatási és kutatási célokra.
- Technológiai oktatási és képzési tevékenységek, elsősorban a robbantásos és elektrodinamikus technológiák területén, a partner hazai és külföldi egyetemekkel együttműködve.

- Többrétegű fémanyagok gyártása saját know-how alapján. Példa: réz-alumínium és réz-acél bimetalok erősáramú villamos csatlakozószerelvényekhez, illetve acél-rézötvözet termo-bimetalok általános alkalmazásokra.²⁴

A **honlapjukon** található több mint 110 publikációjuk átfogó képet nyújt szakmai tevékenységükről.²⁵

Személyesen az 1980-as évek közepétől, még a VKI-ben végzett tevékenységük során voltam, vagyok kapcsolatban a Szalay András vezette kutató-fejlesztő csoporttal. A **Nemzetvédelmi Egyetem (ZMNE) Katonai Műszaki Tanszékén** már az S-Metalltech Kutató-fejlesztő Kft. égisze alatt kutattuk a fémalakító robbantás és a plattírozás katonai területen történő alkalmazhatóságát. **2002 júniusában a ZMNE** egy „Robbantásos fémalakítási, plattírozási és portömörítési eljárások kutatása, különös tekintettel a katonai robbantástechnikába történő adaptálás lehetőségeire” tárgyú **kutatás-fejlesztési megállapodást** is kötött a céggel. Az együttműködés során a **Bolyai János Katonai Műszaki Kar** dékánjának egyetértésével egy, az Egyetem ócsai bázisán felépítendő robbantókamra és anyagelőkészítő műhely építését és közös működtetését is tervbe vettük, de az intézmény átalakítása miatt ennek megvalósítására már nem kerülhetett sor. Az S-Metalltech Kft. egyébként megfelelő tudással és gyakorlattal rendelkezett e téren. Korábban még a VKI Istenhegyi úton lévő telephelyén létesítettek ilyen robbantókamrát, majd 2003-ban megtervezték és kialakították az Athéni Műszaki Egyetem HERF laboratóriumait.²⁶

Az Óbudai Egyetem (ÓE) és a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem (majd jogutódként a Nemzeti Közzolgálati Egyetem) által elnyert **TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások** című **kétéves projekt** keretében (2012–2013) az általam szervezett és vezetett **Nagy energiasebességű alakítások – Robbantásos fémmegmunkálás** elnevezésű kiemelt kutatási területen (KKT) belüli kutatómunka személyi alapját is az S-Metalltech-ben dolgozó szakemberek alkották.

A kutatás célkitűzéseiként az alábbiakat jelöltük meg: Korunk villamosipara, az autógyártás, a reaktortechnika, az orvosi műszer- és eszközgyártás feladat-specifikus többkomponenses különleges anyagokat igényel. Az ilyen korszerű, előre meghatározott tulajdonságokkal

²⁴ <http://smet.hu/hu/nyitokep/> alapján (2020.11.24.)

²⁵ <http://smet.hu/hu/2019/12/11/891/> (2020.11.24.)

²⁶ <http://smet.hu/hu/2019/11/05/2003/> (2020. 11. 26.)

rendelkező társított anyagok készítésénél az anyagrészecskék egyesítését, kötését nagy sebességű, nagy energiájú lökéshullámok segítségével lehet megoldani. A projekten belül, a fent jelölt feladaton túl lépve, szélesebb körben kívántuk vizsgálni a robbantásos fémmegmunkálás/-alakítás polgári és katonai felhasználhatóságának területeit.

A külföldi konferenciákon, egyéb rendezvényeken egyrészt közzétettük elért kutatási eredményeinket, másrészt kapcsolatokat építünk a szakterület nemzetközi szakértőivel.

A kétéves kutatás tervezett részfeladatai az alábbiak szerint valósultak meg:

- Új technológia kidolgozása acélsodrony kötelek robbantásos kötésére ($\emptyset 6$, $\emptyset 8$, $\emptyset 10$, $\emptyset 12$ mm) – technológiai leírás; [47]
- Kiviteli tervdokumentáció elkészítése robbantástechnikai kutatófejlesztő laboratórium kialakítására;
- 2 db egyetemi oktatási anyag kidolgozása gépészmérnök-hallgatók számára: Nagy energiájú fémmegmunkálás-tantárgy megalkotása és az azonos című jegyzet [41] elkészítése;²⁷
- „A robbantásos fémalakítás/-megmunkálás hazai és nemzetközi alkalmazásának kutatása az NKE Központi Könyvtár, Mueller Othmár robbantástechnikai külön-gyűjteményében” c. kutatási adatbázis DVD-n;
- Az NKE csatlakozási szerződést kötött a görög Mamalis professzor által – többek között robbantásos fémmegmunkálás és portömörítés témában – szervezett nemzetközi Scientific and Business Cooperation Agreement-hez. A Cluster alapító tagjai, résztvevői:
 - Georgia Institute of Technology, School of Materials Science and Engineering, Atlanta, Georgia, USA (Professor and Associate Chair Naresh Thadhani);
 - Nordmetall GmbH, Adorf, Germany (Prof. Dr.-ing, Dr.h.c. Lot-har W. Meyer, director);
 - Shock Wave and Condensed Matter Research Center, Kumamoto University, Japan (Professor Ichiro Akai, director);

²⁷ A tantárgy oktatásra került az ÓE BGBMK gépészmérnök-hallgatói részére a 2013/2014. tanév 2. félévében.

- Projekt Center for Nanotechnology and Advanced Engineering (PC-NAE), a joint initiative of the Greek National Center for Scientific Research „Demokritos” and Russian Research Center „Kurchatov Institute”, Athen, Görögország (Academician Prof. Dr.-ing, Dr.h.c. Prof.h.c. Athanasios G. Mamalis, Project Scientific Director).

A kutatásban 5 minősített és 5 nem minősített hazai oktató, kutató és 4 egyéb szakértő (köztük 3 BSc hallgató) vett részt. Az ÓE BGBMK-ról a munkába bevont három gépészmérnök-hallgató (Kovács Tünde docens vezetésével) a tervek szerint a szakterület ifjú szakember-utánpótlását jelentette volna.

A kutatást 6 külföldi szaktekintély (német, cseh, amerikai és görög) **támogatta:**

- Pavel **Manas** (PhD), University of Defence, Faculty of Military Technology/Department of Engineer Technologies, Czech Republic, Brno;
- Bernhard **Rieger**, Bernhard Rieger Sprengtechnik, Németország – többek között a Fraunhofer Institute for Chemical Technology ICT (Pfinztal), továbbá a Verband für Waffentechnik und –geschichte e.V. (Düsseldorf) és az Orica Germany GmbH (Troisdorf) szaktanácsadója, kutatója;
- Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Lothar W. **Meyer**, director, Nordmetall GmbH. Adorf, Germany;
- Dr. –Ing. Norman **Herzig**, managing director, Nordmetall GmbH. Adorf, Germany;
- Prof. Dr. Karl P. **Staudhammer** – Los Alamos National Laboratory, USA;
- Academician Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. Prof.h.c. Athanasios G. **Mamalis**, National Center Scientific Research „Demokritos”, Athén, Görögország.

A kutatócsoport tagjai 4 hazai és külföldi konferencián 35 előadást tartottak [29; 32; 34; 50; 61; 72], 33 folyóiratcikket írtak²⁸ [33; 35; 44–46; 62; 73; 74; 79]; öt tanulmányt, továbbá 3 TDK dolgozatot és 3 BSc. szakdolgozatot készítettek.

²⁸ Magyar, angol és szlovák nyelven.

Összefoglalva: a KKT a kétéves kutatás szakmai tervében foglaltakat jelentősen túlteljesítve, a munkáját sikeresen befejezte. A projekt folyamán kiépített hazai és nemzetközi szakmai kapcsolatok révén, a témával kapcsolatos újabb eredmények megismerése a program továbbfejlesztésének lehetőségét is magában hordta.

A kutatás nem csak elméleti síkon zajlott. A **tényleges robbantási kísérletek** (plattírozás, csőalakítás) mintadarabjait az akkor már NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, **BUEHLER metallográfiai laboratóriumában** hozták létre, a robbantott munkadarabokból vizsgálati metszetek készítésével, azok mikroszkópos vizsgálatával, rögzítésével, kiértékelésével.

Bár a rendelkezésre álló költségkeret nagy ipari kísérletek végzését nem tette lehetővé, de egy konkrét, a gyakorlati életbe is átültethető „termék” született, **a robbantással készíthető drótkötélhurok.**²⁹

A mindennapok gyakorlatában a különböző technikai eszközöknél alkalmazott acélsodronykötelek végén valamilyen rögzítőeszköz kerül elhelyezésre. Ennek a rögzítésnek kellő erősségűnek kell lennie ahhoz, hogy kibírja azt a húzó/rántó terhelést, melynek a munkavégzés során a kötelet kiteszik, vagyis közelítően azonosnak kell lennie a kötélszakítószilárdságával. Az esetek döntő többségében ehhez egy hurkot kell képezni a kötélben, melyre a legegyszerűbb, ugyanakkor a legkevésbé biztonságos megoldás a csavaros rögzítők alkalmazása. Ennél sokkal biztosabb megoldást kínál a hurkok szabványban rögzített módszerrel, préselési technológiával történő kialakítása, melynél a kétrét hajtott drótkötélre egy ovális, szabványos alumínium zárógyűrű kerül, melyet egy szerszám segítségével, préseléssel rögzítenek. A gond akkor jelentkezik, amikor a munkavégzés során szakadás történik (pl. erdőgazdasági és villamosipari cégeknél, bányaüzemekben, a katasztrófavédelmi feladatok végzése során), és a közelben nincs olyan üzem, ahol a javítás elvégezhető lenne. Ráadásul a szállítás idővesztését jelent, hiszen a munkagép addig nem dolgozik. Egy civil cég esetében ez csak pénzügyi veszteséget jelent, de a katonai gyakorlatban egyszerűen elképzelhetetlen az, hogy például egy folyóátkelés azért hiúsuljon meg, mert a pontonoknál alkalmazott rögzítő drótkötél elszakadt.

A fenti fémalakítási technológiák, módszerek tanulmányozása során vetődött fel az acélsodronykötélre hurok robbantásának lehetősége.

²⁹ Bővebben lásd [48. pp. 239–249.]

Elgondolásunk szerint a kötélből kialakított hurokra egy fémcsövet húzva, majd azt a cső hengerpalástja mentén, a portömörítésnél bemutatott módon (lásd. 4. sz. ábra) megrobbantva a cső rásajtolódik a hurkot alkotó kötelekre, megfelelő szilárdságú kötést biztosítva. A fémcsőnél elsődleges szempontként az anyagának képlékeny alakíthatóságát tekintettük. Számításaink szerint a cső anyagát a robbanás lökéshullámának be kellett préselnie a drótkötél pászmái közé. Ezért választásunk a kereskedelmi forgalomban beszerezhető Al 99,9 anyagú alumíniumcsőre esett.

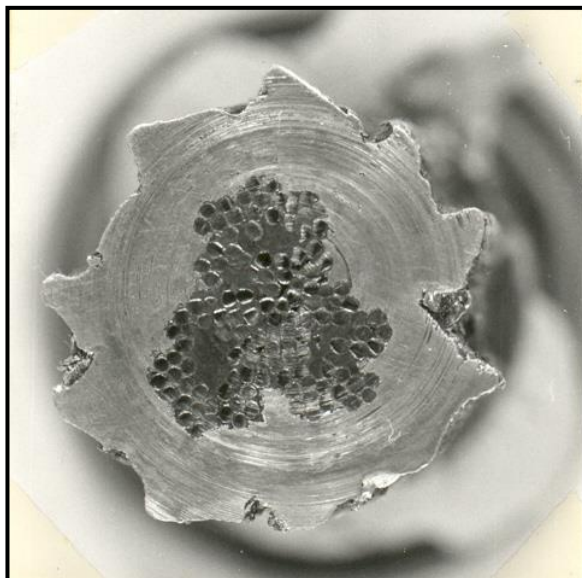
A robbanóanyag kiválasztásánál több szempontot is figyelembe kellett vennünk:

- A kereskedelmi forgalomban beszerezhető, az ipari és a katonai robbantástechnikában széleskörűen elterjedt robbanóanyag legyen, hiszen elsődlegesnek tekintettük azt, hogy ne kelljen külön, speciális robbanóanyagot beszerezni, mert ezáltal éppen a módszer gyors, a sérülés helyén történő azonnali alkalmazhatósága veszett volna el.
- Könnyen felszerelhető legyen a csőre.
- Pontosan meghatározható, könnyen adagolható legyen a szükséges töltetmennyiség.
- Időjárástól függetlenül alkalmazható legyen a robbanóanyag, akár nedves körülmények között is.
- Gyutacs indítható robbanóanyag legyen.
- Alkalmazása ne igényeljen speciális felkészültséget a felhasználótól, hiszen a technológia lényege az azonnali, a rendelkezésre álló anyagokkal a helyszínen könnyen és gyorsan végrehajtható javítás.

A fenti kritériumok alapján döntöttünk a robbanózsín alkalmazása mellett, mely jól adagolható, a felhasználandó mennyiség a technológiai utasításban pontosan meghatározható, a cső hengerpalástja mentén könnyen elhelyezhető és rögzíthető. Indítása akár villamos-, akár pedig robbantógyutaccsal végrehajtható. Időjárási viszonyoktól függetlenül bármikor felhasználható. Kezelésére a Magyar Honvédség minden katonája már az alapkiképzés során felkészítésre kerül.

A technológia elve: az acélsodronykötélből az alumíniumcső segítségével hurkot képzünk oly módon, hogy a rövidebb szál

visszahajtjuk a csőbe. Ezáltal a kötelek kitöltik a cső belsejét kb. 120°-os elrendezéssel.



19. számú ábra. BMK-130 tolóhajó $\varnothing 6$ mm-es drótkötélre robbantott hurok keresztmetszete³⁰

Ez az első kísérleteknél használt BMK–130 tolóhajó $\varnothing 6$ mm-es köteleinél megoldható volt, viszont a későbbiekben vizsgált nagyobb átmérők esetén már nem. Ezért ott – a hasonló szálelrendezés biztosítására – az egyszer visszahajtott kötelek mellé egy harmadik (külön előkészített) kötélrészletet helyeztünk a csőbe. A robbanószinórszálakat (átmérője méretben pont megfelelő volt) egy, az akkumulátorokban alkalmazott elektródatartó „szövethevederbe” helyeztük, melyet az egész átmérőn, középen körbetekert robbanószinórral indítottunk. Így az alakítást végző „húzógyűrű” a cső közepétől a végek felé került indításra. A robbanás eredményeként a cső bordázottá vált, de falai sehol nem vékonyodtak el olyan mértékben, hogy ez által szilárdsága csökkent volna.

A kutatás utolsó fázisában szükségessé vált az elkészült mintadarabok statikus, továbbá a valósághoz közelítő körülmények közötti dinamikus szakító/rántó igénybevétel szimuláló ellenőrző laborvizsgálatainak elvégzése. Ez utóbbihoz Magyarországon nem találtunk megfelelő berendezést, ezért végül a német Nordmetall GmbH-nál tett szakmai látogatásunk során találtunk rá arra a 10 t-ás mérőberendezésre,

³⁰ Forrás: a szerző.

mely képes volt hiteles eredményeket szolgáltatni az általunk készített 6–8–10–12 mm átmérőjű drótkötélhurok dinamikusan erőhatásokkal szembeni megfelelőségéről, terhelhetőségéről.



20.számú ábra. Ø12 mm-es drótkötélhurok-készítés alapelemei³¹



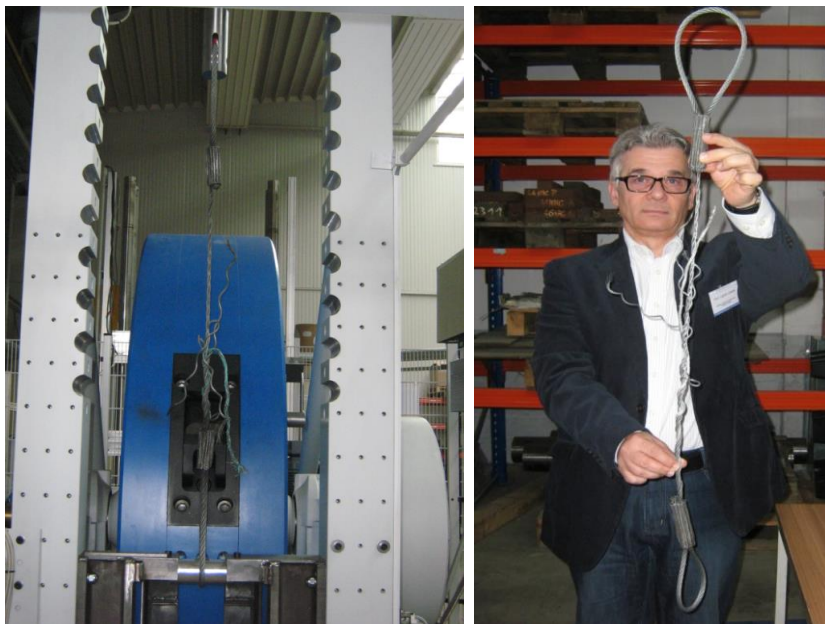
21. számú ábra. Ø12 mm-es drótkötélhurok robbantáshoz előkészítve³²

³¹ Fotó: Szalay András

³² Fotó: Szalay András

A német cég hivatalos jegyzőkönyvében az alábbi eredményekről számolt be:

- A statikus terheléses vizsgálatokhoz hagyományos szakítóberendezést alkalmaztak, melynek terheléses sebessége 35 mm/min volt.
- Az acélsodronyok dinamikus terheléses vizsgálatához egy saját fejlesztésű forgókerekes szakítógépet használtak, melyben a lendítőkerék tömege 10 tonna volt, amely nagy terhelőerő kifejtésére képes, és alkalmas nagyobb tárgyak vizsgálatára. A vizsgálatokat 8 m/s terhelési sebességgel végezték.
- A vizsgálatok célja az acélköteleken keletkező sérülések helyének megállapítása volt a statikus és a dinamikus (becsapódásos) terhelések alatt. A maximális terhelési értékek a dinamikus terhelés esetén kicsit magasabbak voltak, mint a statikus terhelésnél. A sodronyok átmérőjének növekedésével egyetemben a maximális szakítóerő is fokozatosan növekedett. A szakadás leggyakrabban a sodronyon következett be, a kötés közelében. A kötés nem sérült (hibásodott) meg. Ez a jelenség mind a statikus, mind a dinamikus vizsgálatok során igaznak bizonyult.



22. számú ábra. A szerző egy robbantással készült drótkötélhurokkal a dinamikus szakítópróba után³³

³³ Fotó: Szalay András

A végső próba olyan katonai eszközökön, valós körülmények között történt, ahol a vizsgált átmérőjű drótköteleket alkalmazták, és azok szakadása esetén elengedhetetlenül szükséges a gyors javításuk. Ilyen nagy felhasználók lehetnek pl. a honvédség pontonos alegységei, ahol a PMP szalaghídelemekből épített kompok, hidak működtetéséhez nagy mennyiségű drótkötelet használnak fel, vagy a hidász alegységek roham- és kísérőhidakat üzemeltető rajai.

A Magyar Honvédség illetékesei engedélyének hiányában³⁴ – az eredeti tervtől eltérően – a terepi kísérlet a Magyarországon a Nemzeti Közlekedési Hatóság által kiállított hatósági úszómű bizonyítvánnyal egyedülként rendelkező, az Investíció'93 Kft. tulajdonában lévő PMP elemek felhasználásával került végrehajtásra. Az alkalmazott drótkötelek átmérője 11 mm volt. A gyakorlati kipróbálás előkészítését és végrehajtását a „Robbantással kialakított acélsodronykötél-hurkok gyakorlati kipróbálása PMP pontonokon” c. dokumentumfilmen örökítettük meg.

A kísérleti robbantások azt bizonyították, hogy külső munkahelyeken, a rendelkezésre álló robbanóanyagot és robbantási segédanyagot alkalmazva, külön felkészültség nélkül, gyorsan elvégezhető a kis- és közepes átmérőjű drótkötelek javítása, hurok robbantásával a sérült részekre. A módszerhez nem szükséges új eszközök, felszerelések beszerzése, csak az adott technikai eszköznél alkalmazott drótköteleknek megfelelő alumíniumcső, valamint az elektród tartó hevederek tárolandók a szerszámosládában. A cső kialakítása a rendszerített robbanózsínór-töltet tömegének függvénye. Kísérleti úton szükséges meghatározni az adott alegységnél (pontonos, hadihajós stb.) alkalmazott acélsodronyköteleknek megfelelő alumíniumcső méretét (hosszúság, belső és külső átmérő) és a szükséges robbanózsínórszálok darabszámát. A szerelést az egységkészletben található cső segítségével kell végrehajtani, a szintén méretre szabott hevedereknek megfelelő hosszúságú és darabszámú robbanózsínór levágását követően. A kísérletek tapasztalatai szerint a robbantásnak repeszhatása nem volt, a robbanás ereje a kötélvéget mintegy 40–60 cm-re megemelte, majd az visszaesett a földre. Így akár a jármű mellett, annak a robbanással ellentétes oldalán tartózkodva elvégezhető a robbantás. A javasolt módszer gyakorlati alkalmazása semmilyen külön felkészültséget nem igényel a Magyar Honvédség alapkiképzésen átesett

³⁴ A Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar dékánja hivatalos kéréssel fordult ebben az ügyben az illetékesekhez, hogy engedélyezzék a Műszaki, valamint a Tűzszerész és Hadihajós Ezrednél a kipróbálást – eredménytelenül.

katonáitól. A honvédségi alkalmazáson kívül az eljárást eredményesen lehetne használni a szintén acélsodronyt alkalmazó erdőgazdasági és villamosipari cégeknél, bányauzemekben, továbbá a katasztrófavédelmi feladatok során. Nagy előnye továbbá a szerelés gyorsasága. Egy-egy mintadarab előkészítésére kb. 2–3 percre volt szükség.



23.számú ábra. $\varnothing 6$, $\varnothing 8$, $\varnothing 10$, $\varnothing 12$ mm drótkötelek előkészítése hurokrobbantáshoz³⁵

A TÁMOP-kutatás még egy „termékéről” érdemes pár szót ejteni, ez **„A robbantásos fémalakítás/-megmunkálás hazai és nemzetközi alkalmazásának kutatása az NKE Központi Könyvtár, Mueller Othmár robbantástechnikai külön-gyűjteményében”** c. kutatási adatbázis DVD-n. Mueller Othmár (1932–2002), mint az Építéstudományi Egyesület Robbantástechnikai szakbizottságának alapítója és haláláig vezetője, továbbá az Igazságügyi Műszaki Szakértői Intézet igazgatója 1969-től kezdődően, minden anyagi támogatás nélkül, levelezés, sok munkával kiépített kapcsolatok révén létrehozta az Európában egyedülálló Robbantástechnikai szakkönyvtárat. A mintegy 26 ezer kötet az 1800-as évek közepétől tartalmazza a világ számos országában megjelent, robbanóanyagokkal, robbantástechnikával foglalkozó könyveket és tanulmányokat, kiegészítve a mintegy 30 ezres cikkgyűjteménnyel, sok ezer prospektussal és több mint 100 videokazettán lévő szakfilmmel. Nyugdíjas éveiben kezdett foglalkozni a könyvtár további sorsával, majd végakaratóban a robbantástechnikával Magyarországon szervezett oktatás formájában jelenleg

³⁵ Fotó: Szalay András

legmagasabb szinten foglalkozó tanintézetnek ajánlotta fel a szakkönyvtárát: a Nemzetvédelmi Egyetemnek. Egyetlen kikötése az volt, hogy a Központi Könyvtár részeként, de önálló gyűjteményként maradjon meg.

Mueller Othmár nem csak gyűjtötte, hanem katalogizálta is gyűjteményét: a robbantástechnika különböző területeiről szakcikk- jegyzékeket állott össze, ezzel is segítve a könyvtárban kutatók munkáját. Nyugodtan állíthatjuk, hogy ma Magyarországon ebben a könyvtári (ma már) külön gyűjteményben található a legnagyobb, robbantásos fémmegmunkálással foglalkozó könyv- és szakcikk-kollekció. Az Igazságügyi Műszaki Szakértői Intézet 1984/8. sz. közleményeként megjelent, a Robbantásos fémmegmunkálásra vonatkozó szakcikk-jegyzék 100 könyvet, 189 szakcikket és 33 egyéb, a témába vágó prospektust, ismertetőanyagot sorol fel. [52] Ezt kívántuk részletesebben megismertetni a kutatással, melynek során 100 könyvet és cikket kerestünk meg és dolgoztunk fel, ezen belül az angol, német és orosz nyelvű anyagok esetén lefordítva a tartalomjegyzékeket, meghatározva a kulcsszavak, továbbá fontos anyagok esetén lefordítva egyes fejezeteket, fejezetrészeket.

Befejezés

A cikk végén a mai állapotról beszámolva azt írhatjuk le: az „hűen követi” elődei mintáját. Ahogy a komoly kutatási eredménnyel rendelkező kutatóintézetek 1990 után a múlt homályába veszttek, úgy a robbantásos fémmegmunkálás témájával a jelenben foglalkozó szakemberek, szervezetek sem tudnak eredményekről beszámolni.

Az S-Metalltech Kft. még létezik, de ezirányú kutatási projektek hiányában ma elsődlegesen más területen dolgozik. A nemzetközi terrorizmus elleni harcban érdekes lehetne új kutatási elképzelésük olyan energiaelnyelő alumínium-hab szendvicspanelek robbantásos technológiával történő kifejlesztése, melyek – szemben a jelenlegi gyártmányokkal – pl. hegeszthetők.³⁶ Megfelelő kutatás-fejlesztési pályázatok, támogatók hiányában ez egyelőre csak terv marad.

A Nemzeti Közszolgálati Egyetem 2012-es megalakulását követően, a volt ZMNE két karából létrejött Hadtudományi és Honvédtiszt-

³⁶ <http://smet.hu/hu/kutatas-fejleszt-es-fem/energiaelnyelo-anyagszerkezetek-fejlesztese/> (2020. 11. 26.)

képző Karon megszűnt a fenti TÁMOP-kutatás bázisaként szolgáló Műszaki Tanszék és alapjaiban a mérnökképzés. 2012 decemberében megjelent egy kormányhatározat³⁷ a nyugdíjas közalkalmazottak közfoglalkoztatásának korlátozásáról. Ennek eredményeként (közel 90 fő NKE-s oktatóval együtt) e cikk szerzője is távozott a felsőoktatásból. A TÁMOP-kutatás során elért eredmények, a kialakított külföldi kapcsolatrendszer (beleértve a fent bemutatott nemzetközi együttműködési megállapodást is) szintén széthullott. Az Óbudai Egyetem részéről a kutatásban részt vett három BSc hallgatót sem tudta a Bánki Kar megtartani, ma már más területen dolgoznak.

Van-e egyáltalán a mai világban létjogosultsága a robbantásos fémmegmunkálásnak, az ezzel kapcsolatos kutatásoknak?

Az US Defence Advanced Research Projects Agency (DARPA) már az 1960-as években is nagyarányú kutatásokat hajtott végre a robbantásos fémmegmunkálási technológiák terén. Az eredmények a költség-takarékos fém- és fémötvözet-alakítás terén jelentkeztek, melyek azonnal gyakorlati alkalmazásra is kerültek a Védelmi Minisztérium különböző programjaiban.



24. számú ábra. SR-71 „Blackbird”³⁸ típusú felderítő-repülőgép

³⁷ 1700/2012 (XII. 29.) Korm határozat a közsférában alkalmazandó nyugdíjpolitikai elvekről.

³⁸ Fotó: Lukács László, Imperial War Museum, Duxford, Nagy-Britannia.

Robbantásos fémalakítási technológiával készült az SR–71 „Blackbird” típusú repülőgép utánégető gyűrűje, és így formázták a gép titánból készült törzslemezének bizonyos részeit is (24. sz. ábra). Ugyancsak e technológia eredményei voltak a P–3 „Orion” repülőgép borítása, a harcászati rakéták hajtóműveinek fúvócsövei vagy a turbinamotorok hővédő pajzsai. A DARPA a 20. század utolsó éveiben is aktívan dolgozott a robbantásos fémmegmunkálási technológiák fejlesztésén. Az USA Védelmi Minisztérium igényei alapján 19 kutatásuk folyt ezzel kapcsolatban [16. p. 405.]³⁹

Magyarországon a 2018. november elsején kinevezett, a KKM úrkutatásért felelős miniszteri biztosának feladata többek között, hogy felügyelje az úrkutatás fejlesztésére vonatkozó stratégiák, szakpolitikák összehangolását és megvalósulását. Az 1133/2019. (III. 18.) Kormányhatározat a 2019. évi magyar úrkutatás és ürtevékenység fejlesztéséhez szükséges 2.321.600.000 forint biztosítására kéri a pénzügyminisztert. „Ezzel Magyarország végre hangsúlyosabban jelen lehet a világűrt érintő ipari és szolgáltatói piacokon és a nemzetközi úrkutatás körforgásában” nyilatkozta a miniszteri biztos.⁴⁰ A Nemzeti Közszolgálati Egyetem Eötvös József Kutatóközpontján belül 2020 októberében megalakult a Világűr Társadalomtudományi Kutatóműhely.⁴¹

Edmund Morris⁴² írta: „A történelem elismeréssel adózik a bölcsnek, de a hőst emeli pajzsra”. A tanulmányban bemutatott kiváló szakemberek valóban nem voltak hősök. Munkásságukról, elért eredményeikről viszont fontosnak tartottam maximális tisztelettel és elismeréssel megemlékezni ebben a tanulmányban.

Felhasznált irodalom

- [1] A gyémánt kisnyomós szintézise, Műszaki Élet 1976. 13. szám, 19 (F.H.)
- [2] A jövő anyagai: az üvegfémek (Frankfurter Allgemeine Zeitung alapján), Élet és Tudomány, 1978. 43. szám, 1373.
- [3] Acél és titán összehegesztése, Univerzum, 1969. 10. szám

³⁹ Bővebben lásd [45]

⁴⁰ Infójegyzet 1919. május 24. Országgyűlés Hivatala – Európai úrkutatás – Magyar ürtevékenység.

⁴¹ <https://vtkm.uni-nke.hu/bemutatkozas> (2020.11. 25.)

⁴² Többek között Theodor Roosevelt Pulitzer-díjas életrajz írója.

- [4] Alting, L.: Hojeffektform giving at metaller (Fémek robbantásos alakítása). Lyngby, Denmarks Tekn. Hojskloe, AMT, 1967.
- [5] Autótengelyek gyártása robbantással, Delta, 1977. 2. szám, 7.
- [6] Beranek, J.: Tváreni vybuchem (Robbantásos alakítás). Práce, Prága, 1964.
- [7] Blazynski, T. Z. – Sewailem, M. R.: Air cushion effect in the explosive forming of metal sheet. L., E. F. Southend, 1969. (Repr.: The Engineer, Jan. 10. and 17., 1969.)
- [8] Blazynski, T. Z.: Scaling problems in the development of the free implosive forming of rootes blower impellers. Oxford, Pergamon Press, 1970. (Repr.: 10th Intern. Machine Toll Design and Res. Conf. Proceedings, 1969.)
- [9] Blazynski, T. Z. (ed.): The use of high-energy rate methods for forming, welding and compaction. Leeds, The University of Leeds, 1973. (Papers presented at a conference, 27–29 March 1973.)
- [10] Bohus Géza – Horváth Zoltán – Papp József: Ipari robbantás-technika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983. p. 54–57.
- [11] Czeglédi Istvánné: Robbantásos lemezalakítás ipari bevezetése és a továbbfejlesztése, GTI Gépgyártástechnológia, ISSN 0016-8580, 1971. (11. évfolyam) 1. szám, pp. 19–22.
- [12] Czeglédi Istvánné: A robbantásos lemezalakítás fejlesztésének újabb eredményei. - In: Gépgyártástechnológia, ISSN 0016-8580, 1976. (16. évf.), 8. sz., pp. 369–371.
- [13] Czeglédi Istvánné – Göbl Nándor: Nagysebességű lemezalakító eljárások, GTI Gépgyártástechnológia, ISSN 0016-8580, 1972. (12. évfolyam) 7–8. sz., pp. 329–335.
- [14] Czeglédi G.: Robbantásos illesztések, sajtólasok. Budapest, 15. hazai építőipari robbantástechnikai konferencia előadásai, 1981.
- [15] Czeglédi G.: Robbantásos fémalakítás minőségi értékelésének szakértői kérdései. Budapest, 3. Építőipari robbantástechnikai kollokvium, ÉTE, 1983.
- [16] Daehn, G. S.: High Velocity Metal Forming. ASM Handbook, Volume 14B, Metalworking: Sheet Forming, ASM International, 2006. pp. 405–418.
- [17] Egly, N. S.: Eksplosions formgiving. Lingby, Danmarks Tekniske Hojskole, Afdelingen for Mekaniks Teknologi, 1970.

- [18] Enhamre, E.: Effects of underwater explosions on elastic structures in water. S., AB. H. Lindstahls, 1954. (Kungl. Tekniska Högskolans Handlingar serie No. 82.)
- [19] Erdősi J. – Göbl N. – Szalay A.: Megmunkálás nyomáshullámokkal (Nagy energiasűrűséggel végzett megmunkálási eljárások című tanulmánykötet). Központi Fizikai Kutató Intézet, Budapest, 1990.
- [20] Fémalakító robbantások, Hajdú Bihari Napló, 1975.06.28. 4.
- [21] Gillemot László: A képlékeny alakítás technológiája, Műszaki Élet, 1961. 20. szám
- [22] Granström, S. A.: Loading characteristics of air blasts from detonating charges. S. AB. H. Lindstahls, 1956. (Kungl. Tekniska Högskolans Handlingar serie No. 100.)
- [23] Hatos Géza: Újabb eredmények az alakítástechnikában, Hadi-technika 1972/2. szám, pp. 48–53.
- [24] Hatos Géza: Robbantásos fémalakítás, Népszabadság (Tudomány és technika rovat) 1982. január 12. p. 10.
- [25] Hegesztés robbantással, Delta, 1971. 2. szám, 28–29. (G.F)
- [26] Herstellung von Blechachstragkörpern getriebener Achsen für Kraftfahrzeuge unter Anwendung der Explosivumformung (Gépkocsi hátsó hidak robbantásos alakítása). Ludwigsfeld, VEB IFA. Automobilwerke, 1977.
- [27] Holtzman, A. H. – Cowan, G. R.: Bonding of metals with explosives. NY Welding Res. Council, 1965 (WRC Bulletin 104-Apr. 1965).
- [28] Holtzman, A. H. – cowan, G. R.: Response of metals to high velocity deformation. Interscience Publ. New York, 1961, No. 4., 447–456.
- [29] Hornyacsek Júlia - Lukács László: Výskum tvárnenia kovov výbuchom na univerzite NKE a knižnica Muellera Othmára – Blasting metal-works research at the national Civil Service University and the Muelle Othmar biblioteca of blasting techniques, Conference Proceedings from the International Conference Blasting Techniques 2013. - Slovakian Society for Blasting and Drilling Works, ISBN 978 – 80 - 970265 – 5 – 4, Stara Lesna, 2013. 05. 23–24., 189–195.

- [30] Konon, J. A. – Pervuhin, L. B. – Csudnovszkij, A. D.: Szvarka vzrívom (Robbantásos hegesztés). Masinosztrojenyje, Moszkva, 1987.
- [31] Kovács Lajos: Fémalakítás robbantással, Lobogó, 1969.09.03.
- [32] Korom Dániel: Plastické tvarovanie rúr výbuchom – Tube forming with explosion - Conference Proceedings from the International Conference Blasting Techniques 2013. - Slovakian Society for Blasting and Drilling Works, ISBN 978-80-970265-5-4, Stara Lesna, 174–180.
- [33] Korom Dániel Péter: Robbantással alakított csövek és vizsgálatauk, Műszaki Katonai Közlöny on-line folyóirat, XXII. évfolyam, 3. szám, 2012., 102–118.
- [34] Kovács-Coskun Tünde – Völgyi Bálint – Sikari-Nágl István: Examination of aluminium/low carbon steel joints formed by explosive welding, Proceedings of the International Conference on Military Technologies 2013 (ICMT'13), Published by: University of Defence, Brno, 2013. ISBN:978-80-7231-917-6, Printed Proceeding, ISBV 978-80-7231-918-3 Proceeding on CD, 301–306.
- [35] Kovács-Coskun Tünde - Völgyi Bálint – Sikari-Nágl István: Platírozott alumínium-acél lemez korróziós viselkedésének vizsgálata, Repüléstudományi Közlemények XXV. évfolyam, 2013. 2. szám, 289–294.
- [36] Krupin, A. V. – Szolovjov, V. J. – Seftel, N. I. – Kobeljov, A. G.: Deformácija metalov vzrivom. Metallurgia, Moszkva, 1975.
- [37] Kuszczak, A.: Wybrane zagadnienia tloczenia wybuchowego. Proba okreslenia współczynnika stateczności obrzeża (A robbantásos sajtolás különleges problémái. A szegélyállóság együtthatója meghatározásának kísérlete). Biul. IMP., Varsó, 1965. ápr. szám, 69–74.
- [38] Ligeti György: Robbanóanyagok a fémalakításban, Lobogó, 1962.04.04.
- [39] Ligeti György: Hol tart ma a robbantásos formázás?, Műszaki Élet, 1962.07.05. 5.
- [40] Ligeti György: Új irányzat a repülőgépek gyártástechnológiájában: A robbantásos alakítás, Repülés, 1961.10.01.

- [41] Lukács László – Rácz Pál (szerk.): Nagyenergiájú fémmegmunkálás. Jegyzet. Nemzeti Közszolgálat Egyetem, Budapest, 2013.⁴³
- [42] Lukács L. – Szalay A. – Bérczes I.: Sodronykötelek kötése robbantással. Műszaki Katonai Közlöny, 2004/1–4. összevont szám, 137–146.
- [43] Dr. Lukács László – Szalay András – Bérczes Imre: Drótkötél hurok készítése robbantással. Előadás a Haditechnika 2010 Nemzetközi Konferencián, Budapest, 2010. május 6–7. Megjelent a konferencia kiadványában DVD-n.
- [44] Lukács László – Szalay András – Zádor István: A repülőgépek gyártásánál alkalmazható két- és háromrétegű féanyagok előállításának robbantásos plattírozással. Repüléstudományi Közlemények, XXIV. évfolyam, 2012/2. szám, 448–459.
- [45] Lukács László – Szalay András – Zádor István: Robbantásos fémalakítás és a repüléstechnika. Repüléstudományi Közlemények, XXIV. évfolyam, 2012/2. szám, 431–446.
- [46] Lukács László – Szalay András – Zádor István: Robbantással készített drótkötél hurok. Műszaki Katonai Közlöny, XXIV. évfolyam, 2014/3. szám, 75–88.
- [47] Lukács L. – Szalay A. – Zádor I.: Acélsodrony kötelekre robbantással készített hurkok – technológiai leírás
- [48] Lukács László: Szemelvények a magyar robbantástechnika fejlődéstörténetéből, különös tekintettel a továbbfejlesztés várható irányai és a kor új kihívásaira, Dialóg Campus Kiadó Budapest, 2017. ISBN 978-615-5680-35-9⁴⁴
- [49] Malentovitz, R.: Zastosowanie Metody tlaczenia wybuchowego (A robbantásos sajtolási módszer alkalmazása). Biul. IMP, Varsó, 1963/4., 18–21.
- [50] Manas, Pavel – Szalay András – Zádor István – Lukács László: Fabrication of formed metal tubes for heat exchangers by explosive technology, Proceedings of the International Conference on Military Technologies 2013 (ICMT'13), Published by: University of Defence, Brno, 2013. ISBN:978-80-7231-917-6 Printed Proceeding, ISBV 978-80-7231-918-3 Proceeding on CD, 353–360.

⁴³ Letölthető: <https://www.mkle.net/logisztikai-szakgyujtemeny/szakmai-oldalak/szakagak/mu/>

⁴⁴ Letölthető: <https://tudasportal.uni-nke.hu/tudastar-reszletek?id=123456789/6916>

- [51] Meyer, G. – Schwalbe, M.: Anwendungsmöglichkeiten der Explosivum-formung (A robbantásos alakítás alkalmazási területei). NDK, Fertigungstechnik und Betrieb, 1970. 20 k., 3. sz., 156–158.
- [52] Mueller Othmár – Matye Béláné: A robbantásos fémmegmunkálásra vonatkozó, az igazságügyi műszaki szakértői gyakorlatban felhasználható szakcikkék jegyzéke. Igazságügyi Műszaki Szakértői Intézet közleményei, 1984/8. szám, Budapest.
- [53] Nagy Lajos: Fémalakítás robbantással, Honvédségi Szemle 1965. 3. szám, 88–93.
- [54] Nagy Lajos – Bereczky István: Fémlemezek formálása robbantással, Élet és Tudomány, Budapest, 1965/14. szám, pp. 640–642.
- [55] Pihovnyikov, R. V. – Zavjalova, V. I.: Stampovka listovova metala vzrivom. (Fémlemezek robbantásos préselése) Masinosztroenyije, Moszkva, 1964.
- [56] Pégoud, J.: Mise en oeuvre des matériaux par explosion (Fémalakítás robbantással). Paris, Machine Moderne, 1973. okt., 15–18.
- [57] Prümmer, Rolf: Explosivverdichtung pulvriger Substanzen. Springer-Verlag, Berlin, 1987. Orosz nyelvű fordítása: Obrabotka poroskoobraznuh materialov vzrivom (Poralakú anyagok megmunkálása robbantással). Mir, Moszkva, 1990.
- [58] Prümmer, E.: Explosivbearbeitung von Werkstoffen (Fémek robbantásos megmunkálása). NSZK, Z. f. Werkstofftechnik, 1973. 4. k. 5. sz., 236–243.
- [59] Puskás J. – Szalay A.: Robbantásos csőalakítás és plattírozás a Villamosipari Kutató Intézetben. Budapest, 15. hazai építőipari robbantástechnikai konferencia előadásai, 1981.
- [60] Schinnerling, J.: Die Explosivformung – eine neue Verfahrenstechnik der Umformung (A robbantásos alakítás – új fémalakítási technika). NSZK, Werkstatt und Betrieb, 1971. 104. k. 3. sz., 183–186.
- [61] Sikari-Nágl István - Völgyi Bálint – Kovács-Coskun Tünde: Výbuchové plátovanie hliníka a ocele – Explosive cladding of aluminium and steel and its examination - Conference Proceedings from the International Conference Blasting Techniques 2013. - Slovakian Society for Blasting and Drilling Works, ISBN 978-80-970265-5-4, Stara Lesna, 2013. 05. 23–24., 196–203.
- [62] Sikari-Nágl István – Völgyi Bálint: Kontaktkorrózió kiküszöbölésére készített, robbantással plattírozott lemezek vizsgálata,

Műszaki Katonai Közlöny on-line folyóirat, XXII. évfolyam, 3. szám, 2012., 119–150.

- [63] Smrcka, J. – Vaclavek, M.: *Explozivni tváreni plechi a trub (Fémlemezek és csövek robbantásos alakítása)*. SNTL, Prága, 1964. (Kinznice stroy. vyroby 100. k.)
- [64] Susánszky Zoltán: *Az energiairányítás fémek robbantó alakításakor*, *Haditechnikai Szemle* 1969/3. pp. 98–104.
- [65] Susánszky Zoltán: *A robbantó mélyhúzás energiaközlési folyamatának műszeres vizsgálata – doktori értekezés*, *Budapesti Műszaki Egyetem*, 1973. (135 p.)
- [66] Susánszky Zoltán: *Robbanóanyagok alakítják a fémeket*, *Természet Világa* 1971/10. pp. 449–451.
- [67] Susánszky Zoltán: *A robbantó mélyhúzás alakító impulzusának formálása reflektorok segítségével*, *Periodica Polytechnica, Transportation Engineering*, 1983 (vol 11.) Klsz. pp. 61–67.
- [68] Szakurai, T.: *Baku-hacu kako (Robbantásos fémalakítás)*. Nikkan Kogio Sinbunza, Tokió, 1969.
- [69] Szalay A. – Bérczes I.: *Robbantásos fémmegmunkálási eljárások*. *Műszaki Katonai Közlöny*, 1992/3. szám
- [70] Szalay András – Puskás József: *Nemesfém-takarékos érintkezőanyagok előállítása robbantásos plattírozással*, *Villamosipari Kutató Intézet Közleményei* 8. kötet, 1982. pp. 171–180.
- [71] Szalay András – Puskás József: *Ni-tartalmú Ag érintkezőanyagok előállítás robbantásos portömörítéssel*, *Villamosipari Kutató Intézet Közleményei* 9. kötet, 1984. pp. 181–188.
- [72] Szalay András – Lukács László – Zádor István: *Bonding of steel ropes by explosive tube forming*, *Proceedings of the International Conference on Military Technologies 2013 (ICMT'13)*, Published by: University of Defence, Brno, 2013. ISBN:978-80-7231-917-6, Printed Proceeding, ISBV 978-80-7231-918-3 Proceeding on CD, 347–352.
- [73] Szalay András – Rieger, Bernhard – Lukács László: *Mobil robbantókamra tervezési és gyártási kérdései* – *Műszaki Katonai Közlöny on-line folyóirat*, XXII. évfolyam, TÁMOP Különszám, 2012. november, 145–151.
- [74] Szalay A., Mamalis A. G., Zador I., Vortselas A. K., Lukacs L.: *Explosive metalworking: experimental and numerical modeling*

- aspects - Materials Science Forum Vol. 767 (2014) pp 138–143 (ISSN 0255-5476) Online available since 2013/Jul/31 at www.scientific.net © (2014) Trans Tech Publications, Switzerland, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.767.138
- [75] Szluka Emil: Az anyagformálás új technikája (beszélgetés V. M. Kugyinov akadémikussal), Népszabadság 1984. 09.13. 6.
- [76] Sztepanov, V. G. – Szipilin, P. M. dr.: Gidrovzrivnaja stam-pirovka elementov szudovih konsztrukcij (Hajószerkezetek robbantásos alakítása). Szudosztrojenie, Leningrád, 1960.
- [77] Tamás Mihály: A kutatóintézetektől a gyárákig (Miért hosszú az út?), Népszabadság 1980.01.20. 8.
- [78] Villamosipari Kutató Intézet Közleményei, 13/1991. – A Villamosipari Kutató Intézet átszervezése. Gazdasági társaságok (Csipka Tamás – Nagy László) pp. 3–6.
- [79] Zádor István –Mamalis, Athanasios G. – Lukács László – Szalay András: Fémcsövek alakítása robbantással, növelt hatásfokú hőcserélő készítéséhez, Műszaki Katonai Közlöny on-line folyóirat, XXII. évfolyam, TÁMOP Különszám, 2012. november, 128–139.
- [80] Mynors, D. J. – Zhang, B.: Applications and capabilities of explosive forming, Journal os Material Processing Technology 125–126, 2002. pp. 1–25.

Megjegyzés:

A **Műszaki Katonai Közlöny** jelzett publikációi elérhetők: <https://mkk.uni-nke.hu/nyitolar> vagy <https://www.mkle.net/logisztikai-szakgyujtemeny/szakmai-oldalak/szakagak/mu/>

Repüléstudomány Közlemények: <http://www.repulestudomany.hu>