

ARCHEOMETALLURGIA ÉS/VAGY ARCHEOMETRIA ÖSSZHANG ÉS EGYEDI VONATKOZÁSOK AZ ARGUM PROJEKTJEINEK TÜKRÉBEN

ARCHAEOMETALLURGY AND/OR ARCHAEOLOGY CONSISTENCY AND SPECIFICITIES FROM THE POINT OF VIEW OF THE ARGUM'S PROJECTS

TÖRÖK BÉLA

Miskolci Egyetem, Metallurgiai és Öntészeti Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros

Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportja (ARGUM)

E-mail: bela.torok@uni-miskolc.hu

Abstract

This study was made on the basis of the presentation had been held on a symposium entitled „From the microscope to the reactor: development of the analytics of the archaeological metal artifacts in recent decades” organized on the occasion of Celebration of Hungarian Science on 27.11.2014. It is about archaeometallurgy as interdisciplinary research field which is closely connected to archaeometry with slightly different manner and pluralistic nature. The paper focuses on the possibilities of material testing of metal artifacts and introduction or specific and general experiences of the Archaeometallurgical Research Group of University of Miskolc (ARGUM) as an organizational example related to the implementation of research work

Kivonat

A tanulmány a 2014. november 27-én, a Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából megrendezett, „Mikroszkóptól a reaktorig: az utóbbi évtizedek fejlődése a régészeti fémleletek analitikájában” című előadói ülésen elhangzott előadás alapján készült. A többi prezentációtól némileg eltérő módon, kissé „plenáris” jelleggel az archeometallurgiáról, mint az archeometriával szorosan összefüggő, interdiszciplináris kutatási területről szól. Ezen belül fókuszba kerülnek a fém tárgyak anyagvizsgálati lehetőségei, illetve a kutatások lebonyolítása kapcsán szervezeti példaként a Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportjának (ARGUM) bemutatása, valamint az ARGUM-projektek egyedi és általános tapasztalatai.

KEYWORDS: ARCHAEOLOGY, ARCHAEOLOGY, MATERIAL TESTS, RESEARCH STRATEGY

KULCSSZAVAK: ARCHEOMETALLURGIA, ARCHAEOLOGY, ANYAGVIZSGÁLATOK, VIZSGÁLATI STRATÉGIA

Archeometria és/vagy archeometallurgia

Az archeometria és az archeometallurgia, mint speciális kutatási területek egzakt meghatározása, egymáshoz való viszonya, metszetük, különbségük nem teljesen egyértelmű a hazai tudományos palettán, de még a külföldi szakirodalomban, szakmai körökben sem. Az mindenesetre nem vitatott, hogy alapvetően a régészet szolgálatában álló, azzal direkt kapcsolatban lévő, interdiszciplináris, sőt multidiszciplináris jellegű területekről beszélünk, de a behatárolások, szerepkörök tekintetében már általában több bizonytalanság, elévő álláspont és gyakorlat mutatkozik.

Az archeometria vonatkozásában ehelyett nem bocsátkoznék részletes bemutatásra, definíciószerű taglalásra, hiszen erről tetemes mennyiségű szakirodalom megjelent már, és nem csak külföldön. Hazánkban archeometriai vizsgálatokat már a 19. század második felétől próbáltak

kapcsolni régészeti kutatásokhoz, két jellemző példája ennek Rómer Flóris és Pulszky Ferenc tevékenysége volt az obszidiánok (Rómer, 1867), illetve a réz- és bronzleletek (Pulszky, 1881) körében. A klasszikus régészeti vizsgálatok mellett aránylag hamar kialakult a főként kémiai, fizikai és egyéb természettudományos vizsgálatokra – köztük jelentős mértékben az anyagvizsgálatokra – épülő archeometria alapvető tevékenységi körei a leletfelderítés, kormeghatározás, származási hely meghatározása, illetve a szerves és szervetlen anyagok vizsgálata terén (Járó-Költő, 1988).

A manapság is dinamikusan – sőt, a műszeres vizsgálatok, az adatfeldolgozási, adatkezelési módszerek rohamos technikai, technológiai fejlődésének köszönhetően egyre dinamikusabban – fejlődő archeometriával kapcsolatosan már a kezdetektől megjelentek és mindmáig érzékelhetők azok a nehézségek, problémák, amelyek alapvetően éppen annak interdiszciplinaritásából fakadnak. A

geofizikai jellegű területi vizsgálatoktól, illetve a kormeghatározási módszerektől – ahol a C-14 vizsgálat elterjedése jelentett markáns átalakulást – most némileg eltekintve, az anyagvizsgálatok terén néhányszor megfogalmazódtak már a régész és az anyagvizsgáló természettudós, mérnök közötti „kommunikációs nehézségekből”, a vizsgálat céljának, stratégiájának, lehetőségeinek, illetve a kapott eredmények felhasználhatóságának nem teljesen egyező értelmezéséből eredő problémák (T. Biró 2010).

A fémleletek mindig is kiemelt fontosságúak voltak az ásatásokon, de a fém tárgyak, fémeszközök kultúrtörténeti értéke, néha „kincs”-jellege mellett a múlt század közepétől kezdve a „Mi is ez?”, „Miből van?” kérdések mellett egyre gyakrabban, aztán rendszeresen megfogalmazódtak meg a „Hogyan készült?” „Hogyan, mire használták?” felvetések is. Ebből eredően a kutatások, vizsgálatok már nemcsak a leletek, lelőhelyek anyagi, szerkezeti vizsgálatára fókuszáltak, hanem előtérbe kerültek a különböző fémek előállításával, alakításával, öntésével, kezelésével kapcsolatos – évszázadokon át használt, de gyakran teljesen a múltba vesző – technológiák, technikák modern műszaki ismereteink és műszeres lehetőségeink segítségével történő minél részletesebb leírása, meghatározása, esetenként újra felfedezése.

Az eredendően régészeti-ipartörténeti jellegű érdeklődés bővülése, differenciálódása hozta létre az archeometrián belül az archeometallurgiának, mint speciális tudományos kutatási területnek a csíráit. A relatíve fiatal, de dinamikusan fejlődő tudományterület szervezeti háttere a 60-as, 70-es években alakult ki Európában, főként angol-szász területen (1962: Historical Metallurgy Society, 1966: Comité pour la Siderurgie Ancienne /az UISPP-n belül/, 1972: Institute for Archaeo-Metallurgical Studies /University College London/), négyévente megrendezett nemzetközi konferenciája (Archaeometallurgy in Europe) is mindössze negyedik alkalommal lesz megrendezve 2015 nyarán, Madridban. Az archeometria legkiemelkedőbb nemzetközi rendezvényén (International Symposium of Archaeometry) külön szekcióban (Metals and Metallurgical Ceramics) szintén van lehetőség archeometallurgiai kutatásokról beszámolni, illetve értesülni.

Elmondható tehát, hogy az archeometallurgia az iparrégészet és technikatörténet indításából, illetve az ahhoz kapcsolódó archeometria talaján jött létre, azonban az archeometallurgia bizonyos tevékenységei mára már túlnőnek az archeometrián. A modern ipar műszaki köreiben a *metallurgia*, a szűkebb értelemben vett kohászat – amely jellegéből és termelési volumenéből fakadóan vaskohászatra és fémkohászatra osztható –, amely a vas és egyéb fémek nemfém állapotukból (ércék oxidjaiból, szulfidjaiból, stb.) való kinyerését jelenti

valamilyen piro-, hidro-, esetleg elektrometallurgiai úton. Innen kiindulva, az archeometallurgia – mint terminus technicus – korabeli, már letűnt metallurgiai módszerek, eljárások, technikák a régészek által feltárt maradványainak, emlékeinek műszaki, természettudományos jellegű tanulmányozását jelentheti. A valóság viszont ennél jóval árnyaltabb. Az archeometallurgiának talán még az archeometriánál is jellemzőbb sajátossága az interdiszciplinaritás. Ez már kialakulásának jellegéből is fakad; az egyes iparrégészeti ásatásokon előkerült, vas- és fémelőállítással, illetve alakításukkal, felhasználásukkal kapcsolatos leletek korrektt definiálásához, értelmezéséhez több okból is szükségük volt-van a régészeknek műszaki anyagvizsgálatokra. Ebből kiindulva célszerű feleleveníteni az archeometallurgia mára kialakult négy alapvető tevékenységi területét (Török, 2010; Török, 2011), egyúttal feltüntettem azt is, hogy az egyes tevékenységi körök mely szakmai területekhez kapcsolódnak leginkább:

1.) A vas- és fémelőállításhoz és -feldolgozáshoz direkt vagy indirekt módon köthető régészeti leletek anyagvizsgálata, azok azonosítása, kémiai, ásványtani összetételének, makro- és mikroszerkezetének leírása, készítés- és alakítástechnológiai nyomok kutatása, vizsgálata, de ide sorolható a releváns lelőhelyek sajátosságainak, szerkezetének vizsgálata is. → Archeometria.

2.) A korabeli „szakmai tevékenységek” elméletének, fizikai-kémiai, metallurgiai és technológiai jellemzőinek minél pontosabb megfogalmazása. → Kohászat-fémtechnológiák, kémiai metallurgia.

3.) Korhűségre törekvő rekonstrukciós kísérletek, valamint laboratóriumi kísérletek, amelyekben a feltételezett korabeli technikát, technológiát illetve azok speciális sajátosságait lehet vizsgálni, mérni, tesztelni, így kontrolálni az 1-2. pontban leírt tevékenységek megállapításait. → Kísérleti régészet.

4.) Az archeometallurgiai vizsgálatok eredményeinek szinkronizálása különböző korszakok, népek fémkultúrájának direkt és indirekt történeti vonatkozásaihoz. → Történettudomány, technikatörténet, néprajz.

A fentiekből is kitűnik, hogy az archeometallurgia témakörébe sorolhatók nem csak a vas- és fémelőállítás (metallurgia), de az alapanyagokkal kapcsolatos további tevékenységek is (felületi alakítás, kovácsolás, öntés, ötvözés, díszítés, esetleges hőkezelés, stb.), amelyet az anyagvizsgálatok, illetve egyéb speciális vizsgálatok - pl. kovácstűzhelyek, öntőminták, fennmaradt számszámok tanulmányozása - egyértelműen jeleznek.

Az anyagvizsgálatot (archeometriát) érintő tevékenységi kör kapcsán, a vizsgálati cél és jelleg alapján további tagolást lehet tenni:

a.) Kémiai összetétel megállapítására szolgáló vizsgálatok, ércek, salakok, kemencedarabok, félkész és késztermékek, hulladékanyagok, fémötvözők mennyiségi összetételének megállapítására, az alkotók minőségi és mennyiségi jellege alapján (XRF, ICP, AAS, EDS, PG(N)AA, EPMA, PIXE és bizonyos esetekben még a hagyományos nedves kémiai módszerek is nagyon hasznosak).

b.) Ásványi összetétel megállapítására szolgáló vizsgálatok, alapvetően ércek, salakok, kerámia tárgyak (pl. kemencefalazat-darabok, agyagfűvőkák, agyag öntőformák, stb.) esetében (XRD, XRPD).

c.) Anyagszerkezeti vizsgálatok. Főként a fémtárgyak esetében alkalmazott mikroszkópia (OM, SEM) tartozik ide, de például elektronmikroszkópos vizsgálatot érc- és salakmintán is érdemes elvégezni bizonyos esetekben. Ide sorolandók még a fémtárgyakon elvégzett roncsolásmentes anyagszerkezeti vizsgálatok (pl. röntgenvizsgálatok, felületi maradó feszültség vizsgálata röntgendiffrakcióval) illetve az esetleges mechanikai és keménységvizsgálatok.

Az archeometallurgia területéhez tartozó rekonstrukciós kísérletek gyökerei korábbról erednek, mint gondolnánk. Természetesen az utóbbi évtizedekben egyre népszerűbb kísérleti régészet e téren is megtette hatását, mindazonáltal a nagyipari kohászat berkeiben mindig is mutatkozott érdeklődés a régi technikák, technológiák gyakorlati felelevenítésére, nagyrészt szakmai hagyományörzés, a látványos események által vezérelve. Kimondottan tudományos alapú, lehető legrészletesebben korhű, archeometriai vizsgálatok eredményeit felhasználó, rekonstrukciós kísérletekről, illetve egyes jellemzőket, paramétereket vizsgáló, archeometallurgiai laboratóriumi kísérletekről igazából csak az utóbbi néhány évtizedben beszélhetünk. Nem teljesen korhű, de dokumentált rekonstrukciós kísérletre azonban már a múlt század közepétől Magyarországon is találunk példát (Heckenast et al, 1968).

Az eddig említett tevékenységi köröknek mintegy konklúziója, ugyanakkor „kiteljesítése” lehet, ha az egyes fémek technológiáival kapcsolatos archeometallurgiai vizsgálati és elméleti megállapítások segítségével történettudományi következtetéseket is lehet tenni. Ez manapság szakmailag még néha kényes kérdés, viszont dimenziója roppant változatos. Ide tartozik az egyes történeti népek, birodalmak fémkultúrája különbözőségének, fejlődésének történelemformáló hatása – mint átfogó kérdéskör – ugyanúgy, mint

egyed, akár speciális leletegyüttes készítési-, szerkezeti- és származási jellemzőinek meghatározása.

Régész, anyagvizsgáló, archeometallurgus – feladatok, nehézségek

Ki is az archeometallurgus? Leegyszerűsített megközelítésben olyan, lehetőleg történettudománnyal kapcsolatos, párhuzamos képzettségű metallurgus (kohómérnök), akinek nyilvánvaló, határozott orientáltsága van a régészet irányába. Mindazonáltal, az „ideális” archeometallurgus – a technikatörténeti, iparrégészeti affinitású kohómérnök-anyagmérnök, aki valamilyen mértékben a kapcsolódó természettudományos vizsgálati eredményeket is be tudja építeni munkájába – természetesen még meglehetősen ritka és nem csak Magyarországon. Ezért kiemelt fontosságú, különösen ezen relatíve fiatal, de dinamikusan fejlődő kutatási terület tudományszerveződési szakaszában, az egyes szakterületek képviselőinek egymás eredményeit megfelelő határfokkal értelmezni, hasznosítani tudó, egységes rendszerű együttműködése.

Az archeometallurgia fent említett komplex tevékenységi köreivel kapcsolatosan is megjelennek a főként az interdiszciplinaritás okozta problémák. Az anyagvizsgálatok terén a „klasszikus” kommunikációs gondok, ha lehet, a terület speciális mivolta miatt még inkább felerősödnek. Nagyon gyakran a talált leletről a régész csak feltételezni tudja, hogy egyáltalán mi lehet, munkafázishoz kötni pedig még nehezebb. (Milyen fémmel, annak előállításával vagy feldolgozásával kapcsolatos a lelet?) A késztermék vas- és fémleletekkel kapcsolatosan sem sokkal könnyebb a helyzet. Gyakori kérdés régész oldalról, a „vizsgáljátok meg, mit lehet róla kideríteni...”, amely aztán az anyagvizsgáló oldaláról is vezethet csalóka, a régészet, technikatörténet számára nem igazán feldolgozható, vagy éppen nem is értelmezhető eredményhez, ha a vizsgálatot végző nem ismeri az adott, több száz, vagy akár több ezer éves tárgyhoz kötődő speciális tulajdonságokat, vagy akár annak technikatörténeti környezetét. Talán első hangzásra túlzásnak tűnik, de az egzakt eredményt az is szolgálja, ha a vizsgálatot végzőnek van fogalma arról, mit jelentett a korabeli készítőnek és felhasználónak az alapanyag, a tárgy – legyen az vas, arany, ékszer vagy salakdarab – materiális és eszmei értelemben egyaránt, illetve milyen technikai ismeretei lehettek.

Az anyagvizsgálatokkal kapcsolatosan tipikus, régtől fogva élő probléma azok esetisége, így a különböző vizsgálati körülmény, módszer, infrastruktúra, mintavételi stratégia miatti nehéz összehasonlíthatóság (Szabó 2010). Az egyes hazai és külföldi archeometallurgiai vizsgálatok eredményeihez nem mindig lehet könnyen

hozzájutni – az alkalmazott módszer, mérési stratégia részleteihez még nehezebben – az eredmények saját kutatáshoz történő szinkronizálása pedig újabb nehézséget okozhat. Ha ehhez hozzávesszük még a régész és a műszaki-természettudományos szakember közötti, korábban említett, eseti vizsgálatok alkalmával rendszeres „eltérő nyelvezetet”, akkor belátható, miért töltheti be számos archeometriai-archeometallurgiai vizsgálat eredményhalmaza a külsőre imponáló, de lehetőségeihez mérten kevés tudományos hasznosítást hordozó fejezet szerepét a régészeti feldolgozásban.

Az archeometallurgiai tevékenységek 2.) pontjában említettekkel kapcsolatosan a „legszűkebb keresztmetszet” hazánkban – de talán Európában is – az, hogy relatíve kevés a szakember (kohómérnök, anyagmérnök, technológus), s közülük még kevesebbnek van igazán affinitása a régmúlt idők már letűnt eljárásaival érdemben foglalkozni. A rekonstrukciós kísérletekkel kapcsolatosan pedig – a már említett „látványossági-ismeretterjesztési faktoron” kívül – feltétlenül megjegyzendő, hogy a tudományos kutatást hatáson és hitelesen szolgáló eredményekhez mérési stratégia szempontjából gondosan megtervezett, reprodukálható kísérletsorozatokra (!) van szükség, amely a technológia heterogenitása és jellemző esetlegessége miatt igen nehéz feladat. Jellemző tévedés lehet azt hinni, hogy ha sikerült terméket előállítani (kovácsolható bucavasat kohósítani, bronzfibulát önteni, stb.) akkor minden esetben egészen biztos, hogy ezzel teljes egészében, hitelt érdemlően reprodukáltuk a korabeli technikát és technológiát (néha a régészeti leletek tanúbizonyságának kissé háttérbe szorításával). Az adott technológia részleteinek feltárásához gyakorta célravezetőbb a laboratóriumi, modern műhelyi körülmények között meghatározott paraméter(ek) céltudatos mérésére, vizsgálatára irányuló kísérletek, de ellenpontként akár az is, ha nem a mai, modern technikához szokott gondolkodásunkkal próbáljuk megérteni a korabeli ember gyakran spirituális viszonyát ahhoz a „csodához”, ami a kőből-földből fémek eredményezett. A komplex ismeretek, tapasztalatok alapján aztán a technológia egészét már lehet korhűen rekonstruált körülmények között igazolni.

Az archeometallurgiai vizsgálatok – alapvetően a régészeti feldolgozáson keresztül – történettudományi, technikátörténeti jellegű felhasználásáról, eredményeinek beépítéséről ehelyütt részletesen nem szólnék, mivel ez az előző három tevékenységi kör konzekvens következménye kell(ene), hogy legyen. Mindazonáltal a fentiekben említett komplex feladat- és problémakör megoldásaként – de legalábbis enyhítéseként – adódik a minél

gyakortább tudományos fórumok, találkozók mellett az egységes, általánosan elfogadott és értelmezhető vizsgálati protokollrendszer kialakítása, lehetőleg a nemzetközi trendhez igazodva. Ennek záloga, hogy az elszigetelt, személyes lehetőségekkel élő eseti vizsgálatok alakuljanak át homogén stratégiával lebonyolított, lehetőleg minél nagyobb volumenű kutatások egységeivé, amelyeket leghatékonyabban interdiszciplináris jellegű, tudatosan összeállított kutatócsoport tud végrehajtani. Egy archeometallurgiai kutatócsoportban többek között régészeknek, ipartörténészeknek, metallurgusoknak, analitikusoknak, anyagvizsgálóknak, geológusoknak, mineralógusoknak de ezen kívül technikusoknak, sőt informatikusoknak is helye van.

Az ARGUM kutatócsoport – példák, tapasztalatok

Az előző fejezetekben felvázolt összefüggések, trendek, nehézségek gyakorlati megvalósulási példáiként a 2011-ben alakult Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportjának (ARGUM) néhány kutatási projektjét említeném meg. A Miskolci Egyetem universitas-jellegéből adódó páratlan interdiszciplináris kutatási környezetet kihasználva – az egyetemen anyagtudományi, földtudományi, bölcsész, régész, gépész-informatikai, illetve ezen kívül még jogász, közgazdász, egészségügyi és zenetudományi képzés is működik – az alapítók 10-20 éves hasonló jellegű kutatói előéletére, tapasztalatára építve, illetve az egyre szaporodó archeometallurgiai jellegű vizsgálati igényre reagálva, projektszerűen, de folyamatosan működő interdiszciplináris jellegű kutatócsoport jött létre, kiválóan felszerelt kutatási infrastruktúrával. Ez az ország első és máig egyetlen archeometallurgiai kutatócsoportja, vezetője jelen sorok írója. A hat fővel alakult, jelenleg nyolcfős, de tovább bővítendő kutatócsoport tagjairól, munkájáról az ARGUM hivatalos honlapján (www.archeometallurgia.hu) vagy www.argum.hu) lehet többet is megtudni.

A csoport munkájában – amellet, hogy természetesen a régész, történész, illetve anyag- és kohómérnöki hallgatók speciális oktatását és számukra a témakör irányába történő inspirációt is végzi – fajsúlyos szerepet kapnak a vas- és fémművességgel kapcsolatos, archeometriai jellegű anyagvizsgálatok. A metallurgiai fázist tekintve az eddigi vizsgálatok alapvetően a korai középkori (avar, honfoglalás- és Árpád-kori) bucavas-kohászat folyamatára, maradványainak vizsgálatára fókuszáltak, ahol a leletek sokszínűsége (ércék, salakok, adalékanyagok, kemencék, tűzhelyek darabjai, stb.) a teljes anyagvizsgálati spektrum (kémiái, anyagszerkezeti, ásványtani) használatát indokolja. A fém tárgyak vonatkozásában viszont

jóval szélesebb a vizsgálati paletta a fémfajtákat (réz, bronz, nemesfémek, vas), illetve a vonatkozó korszakokat (a rézkortól a 17. századig) tekintve. A régészeti fémleletek archeometriájában (metallografiájában) a vizsgálati protokollja szerint a Műszaki Anyagtudományi Kar Komplex Képelemző és Szerkezetvizsgáló Laboratóriumának (LISA), illetve a Műszaki Földtudományi Kar Ásvány- és Kőzettani Tanszékének műszeres infrastruktúráját használó ARGUM megkülönböztet roncsolásos és roncsolás mentes vizsgálatokat.

A roncsolás mentes vizsgálati módszerek és céljaik:

- Radiográfia: a gyártási technológia körülményeire utaló bizonyítékok, jellemző technológiai sajátosságok kimutatása.
- Felületi maradó feszültség röntgendiffrakciós vizsgálata: a gyártási technológia körülményeire utaló feszültségeloszlás meghatározása.
- Felületi röntgendiffrakciós, Gandolfi kamerás diffrakciós, SEM-EDS és WDS vizsgálatok: kis mennyiségű felületi szennyeződések azonosítása, a gyártási, tárolási körülményekre vonatkozó felszíni információk beszerzése, egyúttal a röntgendiffraktómetér segítségével fázisazonosítás, bevonati rétegvizsgálatok.
- Felületi morfológia vizsgálata fény-mikroszkóppal.
- Felületi keménységmérés nem szűrásos elven.

A roncsolásos vizsgálatok történhetnek mintavétel nélkül, ilyen a szűrásos felületi keménységvizsgálat (HV) és a felület alatti ötvözőelem eloszlás vizsgálata (GDOS) a gyártási technológia körülményeire, illetve az alapanyag eredetére utaló bizonyítékok, jellemző technológiai sajátosságok kimutatására. A mintavétellel történő vizsgálatok egy része nagy pontosságú kémiai összetétel-elemzés (ICP), illetve javarészt szerkezetvizsgálat (OM, SEM, EDS, WDS, EBSD), amely immár az anyag teljes keresztmetszetében szolgálhat a gyártási technológia körülményeire, az alapanyag eredetére utaló bizonyítékok, jellemző technológiai sajátosságok kimutatására.

Az elmúlt 4-5 évben az ARGUM fémvizsgálati projektjei folyamán számos egyedi, illetve általánosnak mondható jellemző volt megfigyelhető. A vastárgyak vizsgálata alkalmával általános tapasztalat, hogy lehetőség szerint érdemesebb restaurálást megelőző állapotban lebonyolítani a minta kivágását, még ha ilyenkor vastag korróziós és egyéb szennyező réteg vonja is be a felületet. A restauráláskor rákerülő anyagok (pl. klór) azonban zavaró tényező lehet EDS vizsgálatkor az elemspektrum felvételénél, arról nem is beszélve, hogy a későbbi helyreállítás is némileg egyszerűbb lesz technikailag. Mivel a több

száz év alatt a vastárgyak felülete gyakorlatilag egyébként is elkorrodált, gyakorta – a környezet függvényében – a vékonyabb keresztmetszetű részek teljesen átrozsdásodtak, a régészek „nyugodtabb szívvel” veszik, engedélyezik az anyag roncsolásos vizsgálatát. Vastárgyak szövetszerkezetének vizsgálatakor az esetek döntő többségében alacsony karbon tartalmú (0.2-0.6%), relatíve lágy, perlit-ferrites szerkezetet találunk. Az anyag heterogenitását rendszerint a karbon tartalom, azaz a perlit hányadának területenkénti változó mennyiségű eloszlása, illetve a zárványok eltérő elhelyezkedése és szerkezete okozza, amely az általános nemzetközi vizsgálati trendben is visszaköszön (Buchwald, 2005; Blakelock et al. 2009; Buchwald & Wivel, 1998). Szinte minden vizsgálat sorozat tartogat azonban speciális eredményt. A hazai kutatásban Egyedülálló szkíta kori sírban talált fegyverek vizsgálatakor például a tárgyakat alapvetően kétféle készítési technika szerint lehetett csoportosítani – amellet, hogy egyazon kétélű csákány esetében is találkoztunk a két él eltérő kezelésével – amely kettéosztást a zárványok foszfortartalma is megerősített, illetve igazodott a régészeti tipológiához (Török et al. 2013a). Kelta kori használati vastárgyak egyébként alapvetően lágy, alacsony karbon tartalmú anyagának vizsgálatakor egy ekepapucs heterogén szövetszerkezetében, egyazon SEM-képen belül, perlit-ferrit mellett gyorsabb lehűlés következményeként bainit, sőt tús szerkezetű martenzit is megjelent, amely már edzésszerű hűtés, diffúziómentes átalakulás igen kemény terméke (Török et al. 2013b). De sok más egyedi példa mellett említhetjük az a gepida kardot, amelynek SEM-vizsgálata keresztmetszetben jellegzetes, féloldalas, réteges szerkezetet mutatott, ami inkább az alapanyag heterogenitására utalt, mivel különösebben szisztematikus alakítási módszer nem volt azonosítható (Török & Kovács, 2011).

Más helyzet áll elő vizsgálati lehetőségek, így vizsgálati stratégia szempontjából réz, illetve rézalapú ötvözet, de különösképpen nemesfém tárgyak archeometriai vizsgálatakor. Az esetek döntő többségében a roncsolásos vizsgálat ilyenkor nem megengedett, ha mégis van lehetőség a tárgy egy-egy „rejtett részletében” mintavételre, az jelentősen megkönnyíti a kutatást és dimenziókkal gazdagíthatja az eredményeket (Barkóczy et al. 2011; Török et al. 2013c). Ha a tárgy mérete megengedi, SEM-EDS felületi vizsgálatot lehet elvégezni, amely prezentálhat fontos információkat főként a felületi rétegek, bevonatok összetételét illetően. Vizsgálati szempontból szerencsés esetben, sérüléseknél, vékony keresztmetszetű anyag lyukasztásánál vagy egyéb megmunkálásnál a tárgy töretét is vizsgálni lehet, mint például azoknál a valószínűleg 13. századi, csanádpalotai kun lósróbból előkerült, aranyozott ezüstveretek esetében, ahol a töretek durva mikroszerkezete nem öntésre, hanem

inkább újrafelhasznált anyag hidegalakítására vagy akár termésezüstre – bár ez utóbbi igen ritka – utalt (kapcsolódó publikáció közlés alatt). A réz és bronztárgyak roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálatainak tanulságairól, szerepéről a kivonatban említett előadónál több prezentáció is elhangzott ARGUM-kutatók társszerzőségében (Szabó et al. 2014; Kiss et al. 2014).

Mindazonáltal kivágott minta által nem vizsgálható, nemesfémből (is) készült tárgyak esetében az ARGUM-nak az országban egyedülálló lehetősége a technológiai maradó feszültség vizsgálata, minőségi és mennyiségi fáziselemzés (nemfémes zárványok és intermetallikus fázisok azonosítása is) a LISA-labor Euler bölcsővel ellátott röntgendiffrakciós berendezésével. A vizsgálati módszerrel korabeli alakítási, öntési technológia definiálására, az alakíthatóság technológiai jellemzőinek meghatározására is sor kerülhet, akár kis felületeken is. A fémleletek röntgendiffrakciós vizsgálatának ilyen speciális lehetőségéről részletesen is szólt egy ARGUM-előadás az említett előadónál (Mertinger & Benke, 2014).

Konklúzió

Az archeometallurgiának, mint többféle tevékenységi kört integráló, interdiszciplináris kutatási területnek egyik meghatározó pillére a kapcsolódó archeometriai vizsgálatok fém és nemfém tárgyakon egyaránt. A lelőhelyek eltérő jellege, a vizsgálandó anyagok, tárgyak sokszínűsége, heterogenitása mellett alapvető cél, hogy az egyes vizsgálati eredmény sorok, megállapítások összehasonlíthatók legyenek, amely alapján egyedi, elszigetelt eredményekből egységesebb, adott kultúrára, korszakra, technológiára, technikára nagyobb dimenziókban, általánosan is jellemző megállapításokat lehessen tenni. Mindehhez minél egységesebb, jól kezelhető és értelmezhető vizsgálati protokoll-rendszert kell kialakítani és alkalmazni a vizsgálandó tárgyak minőségi és mennyiségi paramétereinek függvényében. A siker záloga ebből kifolyólag olyan szakmai interdiszciplinaritás elvén összeállított kutatócsoport együttműködése, amely egyrészt projektszerűen dolgozik, másrészt viszont projektjeit általános stratégia és adatbázis alapján kezeli.

A finanszírozási vonzat mellett mindennek természetesen szakmai, képzési („humán erőforrás-fejlesztési”) oldala is van. Ezen jövőbeni cél érdekében teremtettük meg a lehetőséget, hogy a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán alap-, mester és doktori képzés keretében is lehessen archeometallurgiai tárgyakat hallgatni, ilyen jellegű kiegészítő MSc-szakirányt választani. Ehhez kapcsolódva a múlt évben megjelent az első „Archeometallurgia” című felsőoktatási digitális tananyag, amelyet nemcsak a műszaki, hanem a

régész hallgatók is felhasználhatják ez irányú tanulmányaikhoz (Török 2014). A digitális tananyag megtalálható a <http://www.archeometallurgia.hu/index.php/projekt-ek-publikaciok> internetes oldalon, illetve regisztráció után letölthető a <http://kohasztananyagok.uni-miskolc.hu/> honlapról is, ahol egyúttal a jegyzethez csatolt animációk és video-anyagok is megjeleníthetők, lejátszhatók.

Irodalom

BARKÓCZY P., KOVÁCS Á., FERENCZI T. & P. FISCHL K. (2011): Őskori réz és bronz leletek metallográfiai és metallurgiai vizsgálata / Metallographical and metallurgical investigation of prehistoric copper and bronze finds. *Archeometriai Műhely* 8/4 293–303.

BLAKELOCK, E., MARTINÓN-TORRES, M., VELDHUIJZEN, H. A. & YOUNG, T. (2009): Slag inclusions in iron objects and the quest for provenance: an experiment and a case study. *Journal of Archaeological Science* 36 1745–1757.

BUCHWALD, V.F. & WIVEL, H. (1998): Slag analysis as a method for characterization and provenancing of ancient iron objects. Elsevier Science Inc. New York, *Materials Characterization* 40 73–96.

BUCHWALD, V.F. (2005): *Iron and steel in ancient times*. Historisk-filosofiske Skrifter 29, The Royal Danish Academy of Sciences and Letters, Copenhagen, 115–122, 150, 162.

HECKENAST G., NOVÁKI GY., VASTAGH G. & ZOLTAY E. (1968): *A magyarországi vaskohászat története a korai középkorban*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 195–232.

JÁRÓ M. & KÖLTŐ L. szerk. (1988): *Archaeometrical Research in Hungary*. National Centre of Museums, Budapest, 1–327.

KISS V., BARKÓCZY P., P. FISCHL K., HORVÁTH E., KASZTOVSZKY ZS., KÁLI GY., KIS Z., MARÓTI B. & SZABÓ G. (2014): Bronzkori fémtárgyak roncsolásmentes és roncsolásos vizsgálatainak tanulságai. *Mikroszkóptól a reaktorig: az utóbbi évtizedek fejlődése a régészeti fémleletek analitikájában c. előadónál*, Budapest. 2014. november 27.

MERTINGER V. & BENKE M. (2014): Fémleletek röntgendiffrakciós vizsgálatainak speciális lehetőségei. *Mikroszkóptól a reaktorig: az utóbbi évtizedek fejlődése a régészeti fémleletek analitikájában c. előadónál*, Budapest. 2014. november 27.

PULSZKY F. (1881): *A rézkor Magyarországon*. MTA, Budapest, 1–79.

RÓMER F. (1867): Első obsidian-eszközök Magyarországon (First obsidian implements in Hungary). *Archaeológiai Közlemények* **7** 161–166.

SZABÓ G. (2010): Az archeometallurgiai kutatások gyakorlati és etikai kérdései. Practical and ethical issues of archaeometallurgical research. *Archeometriai Műhely* **7/2** 111–122.

SZABÓ G., KOVÁCS Á. & BARKÓCZY P. (2014): Az archeometria szerepe, jelentősége a fémleletek készítési helyének meghatározásában és a történeti folyamatok nyomkövetésében a bronzkor-vaskor váltásának időszakában. *Mikroszkóptól a reaktorig: az utóbbi évtizedek fejlődése a régészeti fémleletek analitikájában c. előadókülés*, Budapest. 2014. november 27.

T. BIRÓ K. (2010): Archeometriai adatok értelmezése. In: P. FISCHL K., LENGYEL GY. szerk., *Archeometria és Régészet*, Miskolc, *Gesta* **IX** 4–9.

TÖRÖK B. (2010): Archeometallurgia – a múlt kohászata, a jelen műszaki vizsgálataival, a jövő régészettudományáért; In: P. FISCHL K., LENGYEL GY. szerk., *Archeometria és Régészet*, Miskolc, *Gesta* **IX** 25–29.

TÖRÖK B. (2011): Archeometallurgia – új interdiszciplináris tudományág a korabeli kohászati technológiák, az anyagvizsgálat és az iparrégészet területein. *Archeometallurgy – a new interdisciplinary branch of science in the fields of ancient metallurgical technology, materials testing and industrial archaeology*; In: WANEK F., GAGYI PÁLFFY A. & VARGA B szerk., *XIII. Bányászati,*

Kohászati és Földtani Konferencia kiadványa, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Gyergyószentmiklós, 15–20.

TÖRÖK, B. & KOVÁCS, Á. (2011): Kora középkori gepida kard archeometallurgiai vizsgálata. *Archeometallurgical investigations of an Early Medieval Gepidic sword. Archeometriai Műhely* **8/4** 337–343.

TÖRÖK B.; BARKÓCZY P.; KOVÁCS Á.; GYUCHA A. & GULYÁS GY. (2013a): Szkíta vasfegyverek mikroszerkezete és készítési jellemzői. In: P. FISCHL K., LENGYEL GY. szerk., *Archeometria és Régészet*, Miskolc, *Gesta* **XIII** 14–24.

TÖRÖK B.; KOVÁCS Á.; BARKÓCZY P. & KRISTÁLY F. (2013b): Ordacsehi-Csereföld kelta településéről származó vassalak és vastárgyak anyagvizsgálata és készítés-technológiai vonatkozásai. *Materials testing and production technology investigation of iron tools and slag from a Celtic settlement of Ordacsehi-Csereföld. Archeometriai Műhely* **10/1** 23–32.

TÖRÖK B.; BARKÓCZY P.; KOVÁCS Á.; FERENCZI T. & P. FISCHL K. (2013c): Examination of surface layer of Bronze Pick of Hajdúsámson type; *Surface Engineering* **29/2** 164–168.

TÖRÖK B. (2014): *Archeometallurgia*. Miskolci Egyetem, Miskolc, ISBN 978-963-358-065-3 1–143.

