

KORA KÖZÉPKORI GEPIDA KARD ARCHEOMETALLURGIAI VIZSGÁLATA ARCHAEOMETALLURGICAL INVESTIGATIONS OF AN EARLY MEDIEVAL GEPIDIC SWORD

TÖRÖK BÉLA¹, KOVÁCS ÁRPÁD²

¹ Miskolci Egyetem Metallurgiai és Öntészeti Intézet 3515 Miskolc-Egyetemváros

² Miskolci Egyetem, Anyagtudományi Intézet

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

Abstract

Following the international terminology, the research fields of archaeometallurgy include not only the examinations of archaeological findings, ancient techniques and technologies, but -among others - the professional examinations of metallic tools too. The following study reports about the complex material examination of a Gepidian sword from the 6th century carried out by the researchers of the Archaeometallurgical Research Group of the University of Miskolc and his colleague. The research on one hand is model kind because of many reasons. On the other hand it is a pioneer of examinations, since specifically archaeometallurgical interdisciplinary examination on a metallic Gepidian tool was not carried out in our country so far. Due to the chemical, physical, macro- and microstructure examinations not only the structure and the mechanical properties of the sword and its wooden scabbard were revealed, but comparing these to the results of previous similar examinations of metallic tools from the Langobard, Avar periods and the Hungarian Settlement Era, conclusions about the production technologies of these tools in metallurgical and forging points of views can also be made. Through these it can be concluded that the sword presumably made locally was produced from heterogeneous iron bloom without heat treatment by a very simple forging technique. Its blade contains some inclusions and it was made of relatively soft iron, while its scabbard was made of a wood peculiar for that area.

Kivonat

A nemzetközi terminológiát követve, az archeometallurgia kutatási területei közé nem csak a fémek előállításával kapcsolatos régészeti leletek, korabeli technikák, technológiák, hanem – többek között - az egyes fém tárgyak műszaki jellegű vizsgálatai is hozzátartoznak. A következő rövid tanulmány egy 6. századi gepida kard komplex anyagvizsgálatáról számol be, amelyet a Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportjának kutatói végeztek. A vizsgálatsorozat több okból is modell értékű, egyben úttörő jellegű; gepida fém tárgyon még nem végeztek hazánkban kifejezetten archeometallurgiai, interdiszciplináris jellegű vizsgálatokat. A kémiai, fizikai, makro- és mikroszerkezeti, metallográfiai vizsgálatok eredményeként a kardnak és fatokjának nem csak az anyagszerkezetét és mechanikai jellemzőit térképeztük fel, hanem általuk és korábbi, langobard, avar és honfoglalás kori vastárgyakon végzett hasonló jellegű vizsgálataink során tapasztaltakkal összevetve következtetéseket vonhattunk le a kard készítése technológiájára vonatkozóan, metallurgiai és kovácsolási vonatkozásból egyaránt. Ezáltal meghatározható, hogy a vélhetően helyben előállított fegyvert heterogén bucavásból hőkezelés nélkül, igen egyszerű kovácstechnikával készítették. Pengéje helyenként zárványos, relatíve lágy vasból, tokja pedig a térség jellemző fájából készült.

KEYWORDS: ARCHAOMETALLURGY, GEPIDIC SWORD, SEM, HARDNESS TEST, FORGING

KULCSSZAVAK: ARCHEOMETALLURGIA, GEPIDA KARD, PÁSZTÁZÓ ELEKTRONMIKROSKÓP, KEMÉNYSÉGVIZSGÁLAT, KOVÁCSOLÁS

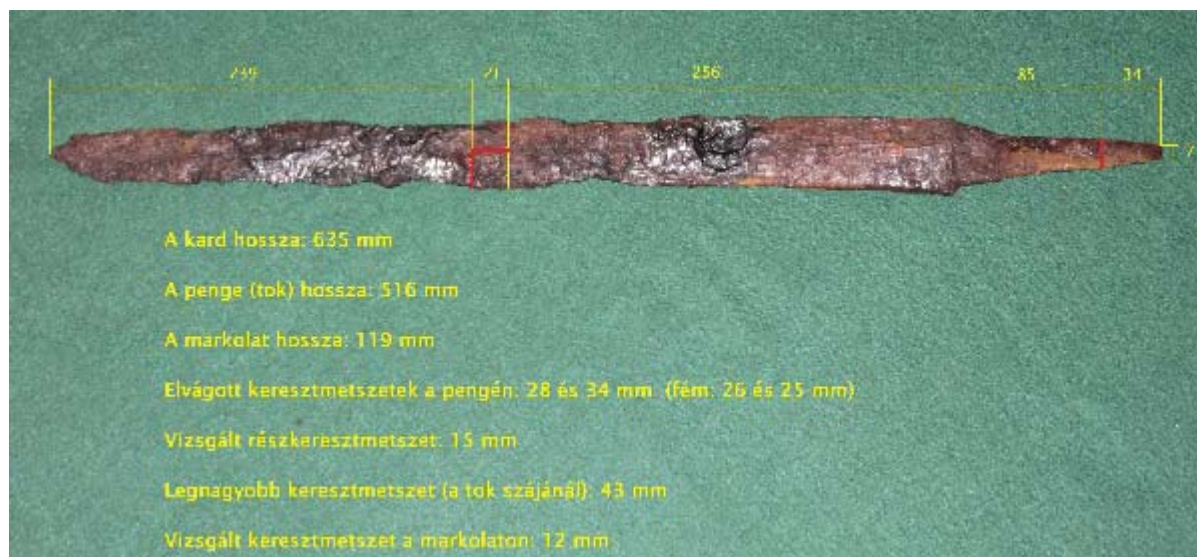
Előzmények

2010-ben Gallina Zsolt régész egy vélhetően 6. századi gepida sírból származó, fatokban lévő vaskardot (langsax) juttatott el hozzánk, amely értesülésünk szerint 2009-ben Pusztataskony-Ledence 1. sz. lelőhelyén került elő. Az ásatást Sebők Katalin és Váczi Gábor vezetésével az ELTE Régészettudományi Intézetének Ős- és Koratörténeti Tanszéke végezte. A kard primer állapotában, földdel, tapadványokkal erősen szennyezett állapotban érkezett, majd az Ásatárs Kft. által végzett restaurálás után 2011 tavaszán komplex

vizsgálatsorozatnak vetettük alá, amelyben főként a vas (és a fa) szövetszerkezetét vizsgáltuk, illetve a korabeli készítése technológiára áruklódó jellemzőket kerestünk.

Vizsgálati módszerek

A restaurált, erősen korrodált kardot egészében és részleteiben is lefényképeztük, majd a Borsodchem Nyrt. Anyagvizsgáló Laboratóriumában, Kazincbarcikán röntgenfelvételek készültek róla, amely alapján nagy biztonsággal meg lehetett határozni a fém vasban relatíve gazdag területeket.



1. ábra: A kard jellemző méretei és a vizsgálati metszetek (pirossal)

Fig. 1.: The characteristic dimensions of the sword and the examined sectiones (red)

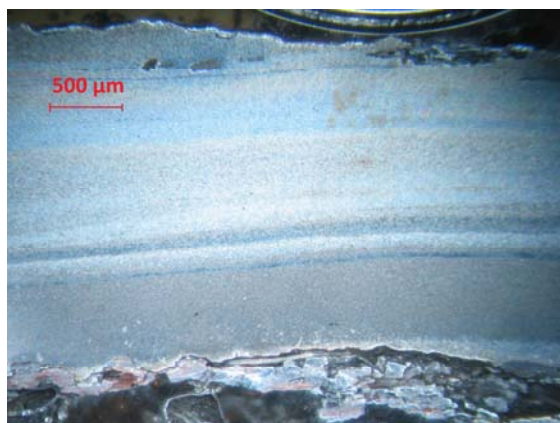
A kadból ezután a Miskolci Egyetem Anyagtudományi Intézetének műhelyében az **1. ábrán** látható méretezések alapján csiszolat-készítés céljából mintákat vágunk ki a kard pengéjéből és markolatából. A vágás során keletkezett minimális (alig fél gramm) fémpor néhány esetleges ötvözőelemre irányuló kémiai analitikai vizsgálatnak vetettük alá a Furol Kft. özdi analitikai laboratóriumában, Varian 710-ES ICP spektrométerrel.

A kivágott mintáknak piros színnel jelölt vágási felületeit vizsgáltuk az Anyagtudományi Intézet Komplex Képelemző és Szerkezetvizsgáló Laboratóriumában. A jelzett felületeken csiszolatokat készítettünk, amelyeket 2%-os nitállal maratva, Zeiss AxioVision Imager számítógép-vezérelt tárgyasztalos optikai mikroszkóppal és Amray 1830I scanning elektronmikroszkóppal vizsgáltunk. Az elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálat során a markolat, illetve a penge salakzárványokat tartalmazó felvételein több pontban röntgen elemspektrumot vettünk fel. A kard pengéjének hosszirányú metszetének felületén 11 ponton, a keresztirányú vágási felületen pedig 5 ponton, 3 kg-os terheléssel Vickers-féle keménységértékeket (HV3) mértünk. Végül a fatokból lepattintott töredékből is készítettünk elektronmikroszkóppal vizsgálható mintát, amelynek felvételeivel kapcsolatosan Dr. Fehér Sándortól a Nyugat-Magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Faanyagtudományi Intézetének egyetemi docensétől kértünk szakvéleményt.

Megállapítások

A kard erősen korrodált állapotban van, néhol teljesen átrozsdásodott. A metszeteket a röntgenfelvételek alapján kevésbé oxidált területről, hossz- és keresztirányban is a penge középső zónájából vágtuk ki. A penge hossz- és keresztirányú metszetén egyértelműen látszik, hogy a maximum 3 mm vastagságú fém felület két részre oszlik: van egy sötétebb és egy világosabb réteg (a sötétebb, illetve világosabb árnyalat attól függ, melyik mikroszkópon milyen leképezést használunk). Ezeknek a rétegeknek a mérete sztochasztikus, nem állandó vastagságú. Annyi mindenesetre már elég korán megállapítható volt, hogy a kard pengéje egyfajta anyagból van, gyakorlatilag ötvözetlen acél. A vágáskor keletkezett fémpor kémiai analitikai vizsgálata 0.142% nikkelt, 0.041% mangánt, 0.028% rezet és 0.005% krómot mutatott ki. Sajnos a minta mennyisége nem volt elegendő kén-, karbon- és szilícium-elemzésre.

Az éltől kereszt irányban mintegy másfél cm-re lévő, hosszirányú metszet optikai képein vastagabb, némileg – főleg középtájékon – rétegezett világosabb és egy vékonyabb sötétebb zóna látható. Utóbbi a pengének csak egyik lapja felé koncentrálódott, szinte kizárólag perlit - a ferrit és a cementit (vaskarbid) diffúziós átalakulással képződő lemezes eutektoidja – az előbbi, vastagabb sáv pedig ferrit (lágú α -vas) és perlit sűrű rétegződéséből tevődik össze. Ennek eklatáns példáját mutatja be a **2. ábra**.



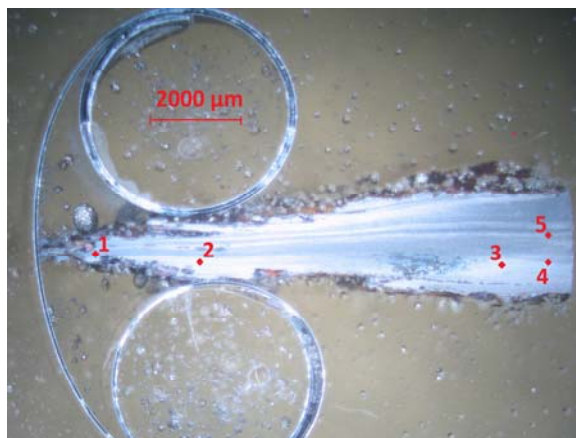
2. ábra: Hosszirányú metszet optikai képe

Fig. 2.: Micrograph of the longitudinal section

A keresztirányú metszet optikai képei hasonló szerkezetet mutatnak (**3. ábra**). A vastagabb, ferrit-perlites sávon belül a penge közepső régiójában kissé nagyobb a ferrites részek aránya, de alapvetően itt is ugyan azzal a féloldalas szerkezettel találkoztunk. Az ábrán jelöltük a keresztirányú csiszolaton elvégzett keménységmérések helyét, amelynek értékei: **1.:** 315.9; **2.:** 247.7; **3.:** 229.9; **4.:** 237.8; **5.:** 300.8.

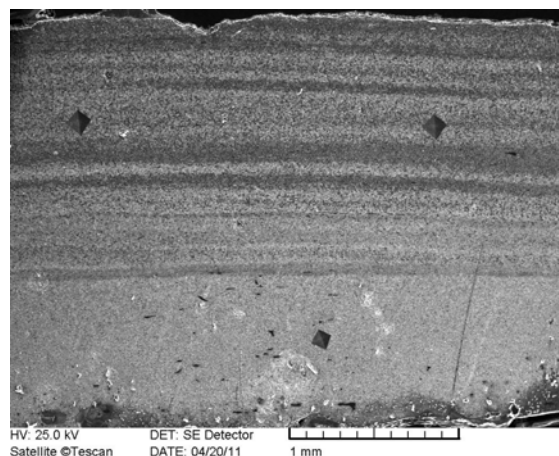
A markolat metszetének optikai mikroszkópos vizsgálata látszólag csontszerű, szaruszerű anyagra utalt, annak tipikus heterogén, hullámos szerkezetével. A kardot ismerve ez meglepő volt, de az anyagjelleg tisztázása mindenképpen az elektronmikroszkópos vizsgálatra várt.

Az elektronmikroszkópos vizsgálat számos feltételezést megerősített, illetve néhány bizonytalanságot tisztázott.



3. ábra: Keresztirányú metszet optikai képe, a keménységmérések helyének jelölésével

Fig. 3.: Micrograph of the cross-section with markings of the locations of hardness tests



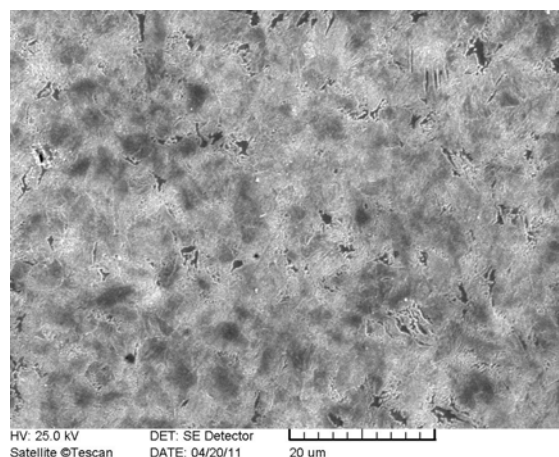
4. ábra: Hosszirányú csiszolat elektronmikroszkópos képe a keménységmérések nyomaival

Fig. 4.: SEM micrograph of the longitudinal section with the markings of the locations of hardness tests

A **4. ábrán** látható, a hosszirányú csiszolat osztott szerkezete, a ferrit-perlites sáv rétegzésével (az elektronmikroszkóp esetében – az optikaival ellentétesen – a ferritet sötét, a perlitet világos árnyalat jelzi). Az ábrán láthatóak a keménységmérésnél használt gyémántgúla lenyomatai, illetve az, hogy a tisztán perlites (világos) sávban a gúla átmérője kisebb, tehát az anyag természetesen keményebb. A hosszirányú csiszolaton két sorban végzett keménységmérések eredményei:

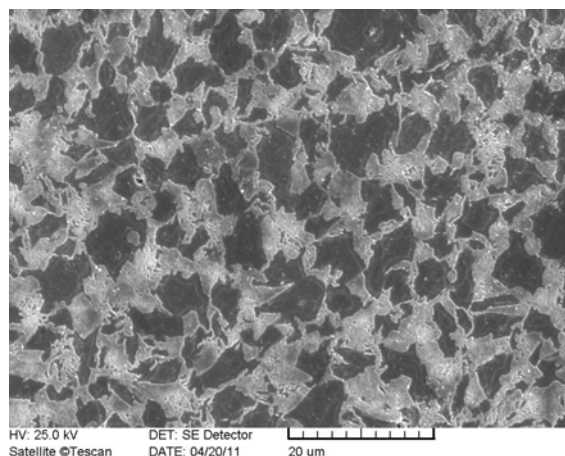
Ferrit-perlites sáv (SEM-vizsgálatnál sötétebb): 236.0; 227.0; 251.4; 240.9; 234.0; 230.7

Perlites sáv (SEM-vizsgálatnál világosabb): 366.8; 370.4; 369.2; 365.6; 369.5



5. ábra: Perlites szövetszerkezet a hosszirányú metszeten

Fig. 5.: Perlitic structure on the longitudinal section

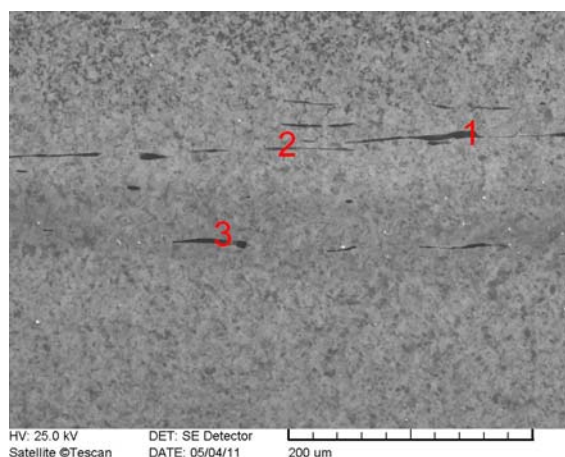


6. ábra: Ferrit-perlites szövetszerkezet a hosszirányú metszeten

Fig. 6.: Structure of ferrite-perlite on the longitudinal section

Erősebb nagyítású kép is készült mind a szinte teljesen perlites (5. ábra), mind a ferrit-perlites (6. ábra) részről. Az utóbbinál átlagosan csak mintegy 6-8 µm átmérőjű ferritszemcséket találtunk (a mai normál ipari acél átlagos szemcsemérete 20-40 µm). Ez az igencsak összetört szerkezet a relatíve lágy anyag sokszori átkalapálásáról tanúskodik. A világosabb perlites zónában mintegy 0.6-0.8% C-tartalmú, a megközelítőleg 50-50%-os eloszlásban ferrit-perlites részben pedig 0.4-0.5% C-tartalmú acél feltételezhető.

A penge keresztirányú metszetének elektronmikroszkópos képein a már megismert szerkezet mellett, külön figyelmet érdemel a jellemzően 50-100 µm hosszú, lapos salakzárványok vizsgálata (7. ábra).



7. ábra: Salakzárványok a keresztirányú csiszolat elektronmikroszkópos képén

Fig. 7.: Slag inclusions on the SEM micrograph of the longitudinal section

A ferrit-perlites sávban lévő lapos zárványok esetében a számokkal jelölt pontokban elemspektrumot határoztunk meg a következő eredményekkel:

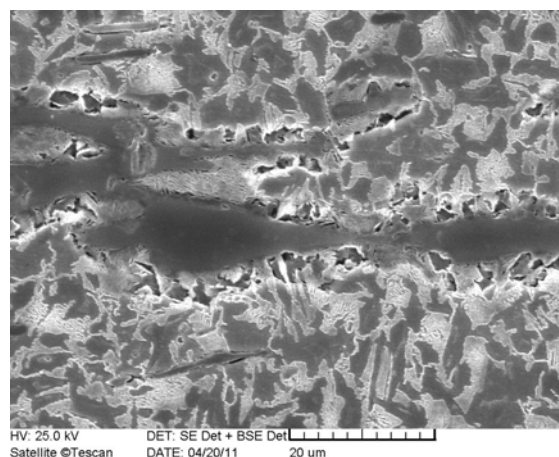
1.: Fe=34.34%; O=9.64%; Si=30.12%; Al=9.60%; Ca=7.88%; K=4.13%; Mg=2.30%; Mn=1.98%

2.: Fe=22.72%; O=14.52%; Si=40.74%; Al=5.79%; Ca=10.89%; K=3.32%; Mg=1.55%; Mn=0.46%

3.: Fe=48.33%; O=7.68%; Si=21.71%; Al=7.73%; Ca=6.61%; K=3.05%; Mg=2.52%; Mn=2.37%

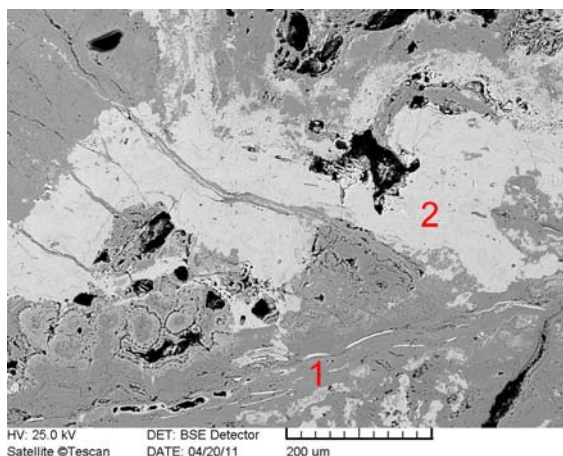
A salakzárványok a könnyebben alakítható ferrites rész mellett az alpmátrixszal együtt könnyebben elnyúlnak, összepréselődnek a merevebb perlit között (8. ábra). A szemléltetett elemspektrumok igen magas SiO₂-tartalomról tanúskodnak, amely az alacsony bázikuságú (CaO/SiO₂), alapvetően fayalitos (2FeO·SiO₂), szilikátos bucakemence salakokra jellemző, kiváltképp a kemencéből eltávozó folyósalakokra, viszont azok esetében a Ca-tartalom rendszerint kisebb, vastartalmuk némileg nagyobb. Ugyanakkor talákoztunk olyan alacsony vastartalmú, Ca-Al-szilikátos salakzárvánnyal is a perlites területen, amelynek elemspektruma mindössze 8.48% vas mellett 39.90% szilíciumot, 11.05% kalciumot és 11.35% alumíniumot mutatott. Mindez összecseng Buchwald & Wivel (1998) megfigyeléseivel, akik mintegy 900 salak és vasmintát vizsgálva, a ferritbe ágyazódva jellemzően wüstit(FeO)-dús salakzárványokat, míg perlites szövetelem mellett nagy fayalit-, illetve üvegszerű SiO₂-tartalmú salakzárványokat tapasztaltak.

A markolat tuskójának metszetéről készült elektronmikroszkópos felvételek egyértelműen bebizonyították, hogy az optikai mikroszkóp képei által szerves anyagnak (csontnak) tűnő szerkezet valójában heterogén szerkezetben korrodált vas.



8. ábra: Salakzárvány erősebb nagyításban

Fig. 8.: Slag inclusions with higher magnification



9. ábra: A markolat metszetéről készült elektronmikroszkópos kép

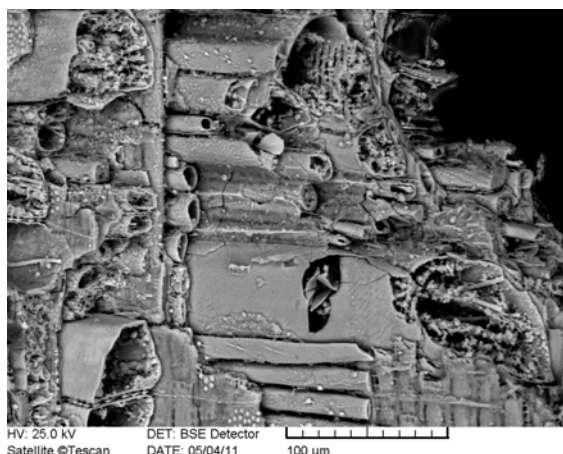
Fig. 9.: SEM micrograph of the section of the grip

A **9. ábrán** kijelölt pontok elemspektrumai jól mutatják a különböző oxigéntartalmú vasoxidok előfordulását. (Minél sötétebb az árnyalat, annál nagyobb arányú a kisebb rendszámú elemek előfordulása.)

1.: Fe=83.49%; O=14.33%; Si=1.44%; Mg=0.75%

2.: Fe=88.80%; O=10.26%; Si=0.52%; Mg=0.42%

A fatokról vett minta elektronmikroszkópos képei vasoxidszemcsékkel teleszórta, nedvességszállító rostokban dús, csöves szerkezetet mutattak – ennek eklatáns példája a **10. ábrán** látható –, amely alapján már a szakértői vélemények előtt is vízparti, jó nedvszívó képességű, vízben is tartós fafajtát feltételeztünk.



10. ábra: A kard tokjáról készült elektronmikroszkópos kép

Fig. 10.: SEM micrograph of the scabbard of the sword

Technológiai vonatkozások, feltételezések

A kard vélhetően egyazon bucavasból készült, amely viszont heterogén szerkezetű lehetett. Különböző anyagok hajtogatására, kovácshegesztésére utaló jeleket (pl. vékony reverétegeket) nem találtunk, - mint például egy általunk korábban vizsgált, a szekszárdi múzeumból származó, illetve a 60-as évek hegykői ásatásainál talált langobard kardok esetében (La Salvia et al. 1999) - csak a kovácsolás során az anyagban elszórtan megmaradt salakzárványokat. Szándékos hőkezelés, de még csak szisztematikus alakítási módszer nyomaira sem bukkantunk a vizsgált mintáknál, mint például a Gallina Zsolt vezette, Zamárdiban zajló ásatásokról származó avar kori vaskések esetében, amelyeket a közelmúltban részletesen tanulmányoztunk (Török 2009; Török & Kovács 2011). Mindazonáltal a penge keresztmetszetének féloldalas szerkezete figyelemre méltó. Érdekes lett volna hasonló vizsgálatokat végezni a teljes hossz vonatkozásában, de ez persze nem volt lehetséges. Az nem valószínű, hogy kizárólag a kovácsolás alkalmával „szenült” volna fel ilyen féloldalasán a kard úgy, hogy mindig ugyanazon lapja lett volna minden hevítéskor a kovácstűzhely izzó faszénhalma felé fordítva, mivel a karbon ilyen jellegű diffúziójára nem volt akkor elég idő. Inkább maga az alapanyagként felhasznált bucavas lehetett heterogén szerkezetű és egy karbonban relatíve dúsabb része tömöríthetett féloldalasán (hangsúlyozzuk, hogy csak mintegy 2 cm-es hosszrészletet vizsgáltunk ebből a szempontból).

Az alföldi gepidák vaselőállítási technikájáról nincsenek ismereteink (szemben például a későbbi avarokéval, amelyről igen kiterjedt), de a jelek szerint ez a kard egy kissé heterogén szerkezetű, lágy szinvasból készült. Különösebb szisztéma nélkül, sokszori, rövidebb idejű felmelegítés során gyakorlatilag „szétkalapálták” a fém, amiről a ferritszemcsék kis mérete tanúskodik.

Árulkodó a salakzárványok nagyon alacsony bázikussága. Mint említettem, gepida bucakemencék metallurgiai salakjával még nem találkoztam, dunántúli avar típusú kohóéval annál többször. A gepidák alföldi gyepvasérc vélhetően szintén nagy SiO₂-tartalmú volt, talán a dunántúli ércekétől is nagyobb. Mindazonáltal közelmúltbeli vizsgálataink alkalmával a metallurgiai salakok esetében volt inkább jellemző a magasabb SiO₂-tartalom – ugyanúgy az avar kori zamárdi és kaposvár-fészerlaki kohótelepek, mint például a 10. századi hartai, vagy a tatárjárás-kori ceglédi vaskohászati leletek esetében (Török 2008; Török 2010) – különösen a kemencéből eltávozó, üvegszerű, fayalitos ún. folyósalakoknál (15-30%).

A nagy biztonsággal kovácssalakként azonosítható mintáknál gyakran kisebb SiO_2 -tartalmat találtunk, mint a metallurgiai folyamatok salakjainál. Ez a ceglédi 13. századi minták esetében volt különösen jellemző, ott jól definiálhatók voltak a kovácsműhelyek, míg az avar vaskohászati műhelyeknél a kovácsolás jellemzően a bucakemencék közvetlen közelében történhetett, felszíni kovácstűzhelyek mellett, így a salakok „szakma szerinti azonosítása” jóval nehezebb. Az említett tapasztalatra több analóg példát lehet találni Európa más területeiről származó középkori vastárgyak salakzárványainak vizsgálatából, ugyanakkor néhány publikáció - főleg német és skandináv területekről - analitikai vizsgálatai éppen a kovácssalakoknak a metallurgiai salakokétól nagyobb SiO_2 -tartalmáról számolnak be (Buchwald 2005; Dillmann & L'Héritier 2007; Blakelock et al. 2009). Az általunk vizsgált kard salakzárványainak elemspektrumai természetesen nem minősülnek kémiai analitikának, de az elemek pontszerű előfordulási valószínűsége több esetben is a fentebb említett korábbi vizsgálataink kovácssalakjainál, de még a metallurgiai salakoknál is nagyobb SiO_2 -tartalomról árulkodnak. Valószínűleg a kohóból kivett vasbuca tömörítése és előkovácsolása alatt a salak mennyisége jelentősen lecsökkent, ezért a kovácsolás alatt homok, mint mesterséges salakképző használata történt.

A markolat vasának intenzívebb korróziójára magyarázat egyrészt, hogy az vékonyabb és keskenyebb, mint a penge, másrészt, míg a pengét némileg védte a talán valamilyen anyaggal impregnált tok, addig a markolat vasa körül vélhetően olyan szerves anyag volt (textillel bevont nyers fa?), amely még inkább kedvezett a korróziós folyamatnak.

A tok fájáról való előzetes feltételezéseinket igazolta a soproni kolléga véleménye, aki szerint a létrás áttörések miatt három fafajta jön számításba: bükk, nyár és éger. A bükk túl kemény ilyen tokhoz. Legvalószínűbb az éger, mivel Tisza menti, vízhez közeli településről, sírokról van szó, az alföldi gepidák tudtommal egyébként is keresték a közvetlen vízpartiságot. Más irányú mentszettel, bélsugár méretének meghatározásával lehetne abszolút pontosítani, kontrollálni, de az éger igen valószínű.

Konklúzió

Egy kard archeometallurgiai vizsgálatából természetesen még nem lehet túl messzemenő, átfogó feltérképezni egy nép vasfegyver-készítési technikáját, technológiáját, bármilyen vizsgálatsorozatnak is vetjük alá. Mindazonáltal a korai középkori Kárpát-medencei germánság vonatkozásában úttörő jellegű projektünk komplex jellege, és a korszak egyéb vasmetallurgiai és anyagszerkezeti vizsgálataink eredményeivel,

konklúzióival való összevetés azért az alapvetőségeket, egyben a „szakmai részleteket” tekintve is izgalmas, színes foltot tárt fel az eddig fehér területen.

A vizsgált gepida kard valószínűleg „helyi termék” és a korszak, illetve a térség hasonló jellegű, avar és langobard vastárgyaival összevetve meglehetősen közepes minőségű, relatív lágú, heterogén szerkezetű, zárványokkal tarkított vasból készült. A kard igen jelentősen korrodált az idők folyamán, mindemellett valószínű, hogy használati tárgy volt. A vélhetően gepida kovács vagy kovácsok szakmai tudásáról, annak bármiféle speciális jellegzetességéről a kard vizsgálata igen keveset árult el, ellentétben az általunk vizsgált, 7-9. századi pannoniai avar vaskohászati centrumokból (Zamárdi és Kaposvár) kikerült vastárgyak esetével. A szövetszerkezet jellege, szemcsemérete sokkal inkább gyors, több, rövidebb ciklusú, különösebb szisztéma nélküli kalapálásra, mint gondosan megtervezett és kivitelezett kovácsmunkára utalt. A vizsgálat fényében különösen érdekes lehet további, Tisza-menti gepida településen talált vasfegyver maradványok hasonló jellegű vizsgálata és összevetése a többi, a korszak Kárpát-medencei történetét meghatározó, befolyásoló nép vastárgyaival, hiszen a katonai felszereltség minősége történelemformáló tényező lehet, de bővítve a kört a földművelésnél, állattartásnál, illetve a korabeli háztartásban használt vaseszközök anyagminősége is alapvetően befolyásolhatta az adott közösség életmódját.

*

A publikáció a Miskolci Egyetemen zajló TÁMOP 4.2.1.B-10/2/KONV-0001-2010 program keretén belül készült.

Irodalom

- 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. *Materials Characterization* **40** Elsevier Science Inc. New York 73–96.
- BUCHWALD, V. F. (2005): Iron and steel in ancient times. *The Royal Danish Academy of Sciences and Letters*, Copenhagen p. 106–107, 242, 304.
- DILLMANN, P. & L'HÉRITIER, M. (2007): Slag inclusion analyses for studying ferrous alloys employed in French medieval buildings: supply of materials and diffusion of smelting processes. *Journal of Archaeological Science* **34** 1810–1823.

LA SALVIA, V.; MIHOK, L.; BÓNA I. & GÖMÖRI J. (1999): Metallographic analysis of „Lombard” swords. *Archeometallurgy in the Central Europe. Archeologický ústav Slovenskej Akadémie Vied, Nitra, Kassa & Hutnícka fakulta TU Kassa*.180–186. ISBN 80-88709-08-3.

TÖRÖK B. (2008): Alföldi jellegű egykori településeken feltárt 10. és 13. századi vaskohászati emlékek archeometallurgiai vizsgálata. Archaeometallurgical examinations of finds from medieval settlement sites dating from the 10th and 13th centuries, in the areas of the Hungarian Plain. *X. Bányászati és Kohászati Konferencia kiadványa*, Nagyszeben, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság 99–105.

TÖRÖK B. (2010): Crystallization of Iron Slags Found in Early Medieval Bloomery Furnaces.

Materials Science Forum 649 (2010) Trans Tech Publications, Switzerland p. 455–460. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.649.455.

TÖRÖK B. & KOVÁCS Á. (2009): Avar vastárgyletek szövetszerkezetének elektronmikroszkópos vizsgálata. Examinations of metallographic structure of Avar iron finds by electron microscope. *XI. Bányászati és Kohászati Konferencia kiadványa*, Máramarossziget, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság p. 91–95.

TÖRÖK B. & KOVÁCS Á. (2011): Materials Characterization of Iron and Slag Finds of the Early Medieval Avar Metallurgists. *Proceedings of the 15th International Metallurgy & Materials Congress* (11-13 November 2010), Istanbul 386–397.

