

SZKÍTA KORI VASFEGYVEREK MIKROSZERKEZETE ÉS KÉSZÍTÉSI JELLEMZŐI

Török Béla<sup>a</sup>, Barkóczy Péter<sup>b</sup>, Kovács Árpád<sup>b</sup>, Gyucha Attila<sup>c</sup>, Gulyás Gyöngyi<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Miskolci Egyetem, Metallurgiai és Öntészeti Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros

<sup>b</sup> Miskolci Egyetem, Anyagtudományi Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros

<sup>c</sup> Magyar Nemzeti Múzeum, Nemzeti Örökségvédelmi Központ, 1088 Budapest. Múzeum krt. 14-16.

<sup>d</sup> Ásatárs Kulturális, Régészeti Szolgáltató és Kereskedelmi Kft. 6000 Kecskemét, Futár u. 12.

**Kivonat** A Duna-Tisza közén fekvő Bátmonostor-Szurdok lelőhely megelőző feltárása során talált, feltehetően temetkezéshez köthető, szkíta kori leletegyüttesből hat vasfegyver (fokos, csákány, fejsze, balta, lándzsahegy és –hüvelyvég) a korszak tekintetében a Kárpát-medencében is egyedülálló, komplex archeometriai vizsgálatát végezték el a Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportjának (ARGUM) tagjai. A vizsgálatok a Miskolci Egyetem Anyagtudományi Intézet Komplex Képelemző és Szerkezetvizsgáló Laboratóriumában (LISA) zajlottak, számítógép-vezérelt tárgyasztalos optikai mikroszkóppal, energiadiszipatív röntgen-mikroszondával felszerelt pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM-EDS), illetve mikrokeménység-mérővel. A tárgyak anyagvizsgálata alapvetően két kérdésre fókuszált: 1) Anyagát tekintve egyféle, vagy különböző alapanyagból, nyersanyagból készültek-e a tárgyak?; 2) A készítés, alakítás, esetleges hőkezelés technológiájában felfedezhetők-e hasonlóságok, rokon vonások? A vizsgált tárgyak szövetszerkezete és zárványösszetétele alapján, anyagi minőség és feltételezhető készítési technológia vonatkozásában két csoportba oszthatók. A balta, a fejsze és a feltételezhetően fokosként meghatározható tárgy készítési technológiájának alapja több, esetenként akár eltérő karbon tartalmú réteg többszöri felhevítéssel történő összekovácsolása, formára alakítása. A keménységmérések legtöbbször relatíve lágy perlit-ferrites vasanyagról árulkodnak, egyedül a csákány élei tekinthetők keményebb anyagok.

**Abstract** The members of the Archaeometallurgical Research Group of University of Miskolc conducted a complex archaeometric investigation on six Scythian Age iron weapons (a long axe, a pick-axe, a shaft-hole axe, a trunnion axe, a spear-head and a spear-head protector). The analyses are unique in the Carpathian Basin with regards to the period. The artifacts were unearthed from a possible burial context during the preventive excavations at Bátmonostor-Szurdok in the southern part of the Danube-Tisza Interfluvium. The analyses were carried out at the Laboratory for Complex Image and Structure Analyses at the Institute of Materials Science at the University of Miskolc using computer-operated optical microscopy, scanning electron microscopy energy dispersive x-ray spectrometry (SEM-EDX), and micro-hardness testing. The investigations aimed at answering two major questions: 1) Were the objects made of one or multiple types of raw materials? 2) Can similarities be revealed with regards to the technology of production, modeling and the possible heat treatment of the objects? Based on material structure and inclusion composition, the artifacts can be classified into two distinct groups in terms of quality of material and supposed manufacturing technology. The trunnion axe, the shaft-hole axe and the object that might be considered to be a long axe were produced by forging and modeling by means of multiple heat treatments, as evidenced by layers containing different amounts of carbon. The hardness tests are most often indicative of relatively a soft raw iron material with perlit-ferrite, while the blades of the pick-axe alone may be considered to be harder material.

**Kulcsszavak** archeometria, szkíta kori vasfegyverek, optikai mikroszkópia, SEM-EDS, keménységmérés

**Key words** archaeometry, Scythian Age iron weapons, optical microscopy, SEM-EDX, hardness test

**Előzmények, vizsgálati módszerek**

A Bács-Kiskun megyei, a Duna-Tisza közének déli részén, a Duna bal parti, egykori árterének peremén fekvő Bátmonostor-Szurdok lelőhelyen 2009-

2010-ben, a Horvát-magyar gázszállító-vezeték építéséhez kapcsolódóan megelőző régészeti feltárást végeztek a Kulturális Örökségvédelmi Szakszolgálat/Magyar Nemzeti Múzeum Nemzeti Örökségvédelmi Központ IV. sz. Regionális

Irodájának munkatársai. A Gulyás Gyöngyi vezetésével folyt, a vezeték 5 m széles nyomvonalában végzett ásatás során közel 6.400 m<sup>2</sup> terület került feltárássra. A legkorábbi településmaradványok a Kr. e. 3. évezredből, a legfiatalabbak a 18. század végéről származtak.

Egy közel 3 x 3 méter alapterületű objektum bontása során az Alföld szkíta korában (Kr. e. 7. század második fele – 4. század második fele) használt fegyverek közel teljes köre felszínre került (összefoglalóan ld. Kemenczei 2001, 21-24; Kemenczei 2009, 35-50.). A leletek között egy akinakesz (rövidkard), két, hosszú köpűvel ellátott vas lándzsahegy, egy vas lándzsahegy, egy vas lándzsahegy, egy kisebb és egy nagyobb méretű, ellentett élű vascsákány, egy feltételezhetően fokosként meghatározható, az Alföld korabeli emlékanyagában eddig ismeretlen típusú vastárgy, egy vasfejsze, egy vasbalta, valamint egy háromélű bronz nyílhegy volt. A fegyverek mellett az objektumban egy kétfülű agyagedény, további vastárgy töredékek, apró, ruhadíszként értelmezhető bronzcsövecskék, valamint – a korszakban szintén nem ismeretlen – csonthenger töredékek is előkerültek. Bár emberi maradványokat a feltárás során nem találtak, az objektum valószínűleg temetkezési szertartással hozható összefüggésbe. A leletanyag az analógiák, illetve az egyik csonthengerből vett minta radiokarbon kormeghatározása alapján a Kr. e. 6-5. századra keltezhető.

A kilenc vaskorabeli fegyvert a Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportjának (ARGUM) tagjai szemrevételezték, metszeteket vágtak ki és hat vastárgy esetében komplex archeometriai anyagvizsgálatot végeztek. A további tárgyak esetében teljes átrozsdásodás volt tapasztalható. A vizsgálandó tárgyak esetében az alábbi képeken piros vonallal megjelölt metszetek kerültek kialakításra (1-7. ábra).



1. ábra. Fokos /S-315-247-3/.



2. ábra. Balta /S-315-247-12/.



3. ábra. Csákány /S-315-247-13/ nyéllyuk síkjával párhuzamos él metszete.



4. ábra. Csákány /S-315-247-13/ nyéllyuk síkjára merőleges él metszete.



5. ábra. Lándzsahegy /S-315-247-370/.



6. ábra. Lándzsahüvelyvég /S-315-247-370/.



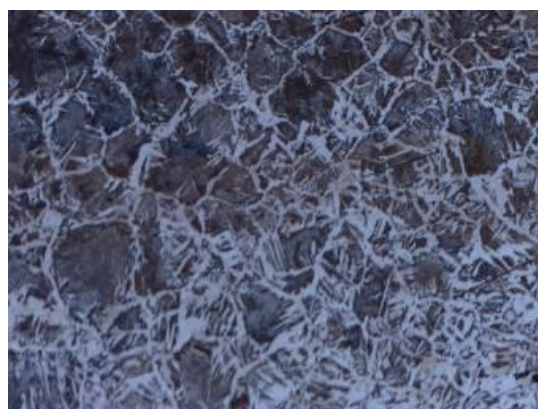
7. ábra. Fejsze /S-315-247-371/.

A derékszögben kivágott metszetek vastagabb vonallal jelölt, hosszabb vágási felületein, illetve a lándzsahegy és a -hüvelyvég keresztirányú metszeteit a jelzett felületeken 2%-os nitállal maratva csiszolatokat készítettünk, amelyeket Zeiss AxioVision Imager számítógép-vezérelt tárgyasztalos optikai mikroszkóppal és Zeiss EVO MA10 pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltunk. Az elektronmikroszkópos (SEM-EDS) vizsgálat során, a salakzárványok esetében több pontban elemspektrumokat határoztunk meg. A metszetek vizsgált vágási felületein pedig több ponton Instron Wolpert mikrokeménység-mérővel Vickers-féle keménységértékeket (HV1) mértünk 1 kg-os terhelés mellett.

#### Vizsgálati eredmények, megállapítások

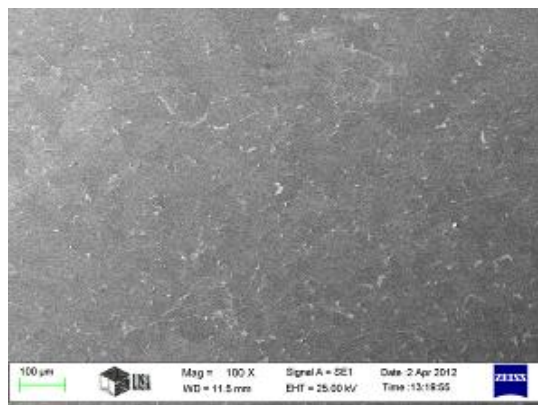
Fokos /S-315-247-3/

A fokos felületén lévő anyagrétegek vizsgálatánál perlitszigeteket körülvevő hálós ferritet tapasztaltunk. Ez a szerkezet akkor jöhet létre, ha nagy karbontartalmú lemezek közé kis karbontartalmú lemezt – lemezeket kovácsoltak. A kovácsolás közben alkalmazott hevítés során a karbon a nagy karbontartalmú lemezből a kisebb karbontartalmú anyagrészekbe diffundált, ez okozza a perlit mennyiségének növekedését a minta széle felé. A ferrit tús szerkezete gyorsított hűtésre utal (8. ábra).

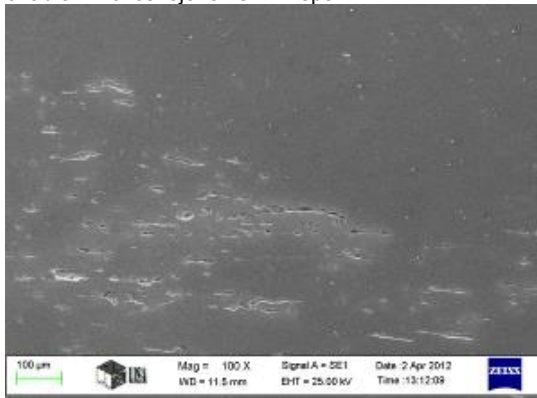


8. ábra. A fokos felszín közeli tús ferrites szerkezete.

Az elektronmikroszkópos vizsgálat során kiderült, hogy a csiszolaton a fokos fejénél és száránál is a felszín közeli vékony réteg sok perlitet és kevés ferritet tartalmazó, mintegy 0.8% karbontartalmú anyaga mind a fejnél (9. ábra), mind a száránál (10. ábra) az anyag belseje felé karbonban elszegényedik, mintegy 0.3%-ig. Az anyag belsejének vizsgálatakor nagyon kevés perlitet tartalmazó, finomszemcsés ferrites szövetet tapasztaltunk.



9. ábra. A fokos fejének SEM képe.

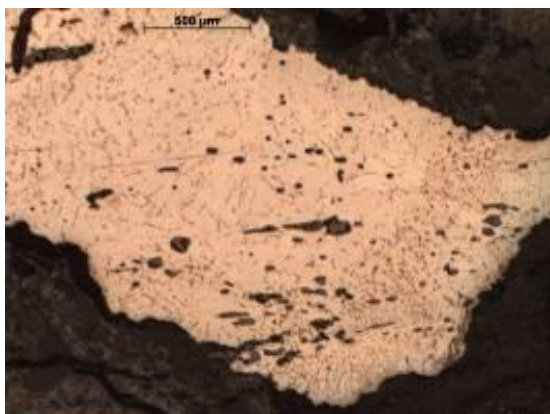


10. ábra. A fokos szárának SEM képe.

A 10. ábrán láthatóak az anyag belsejében (magjában) egyenletesen, sorba rendeződött salakzárványok is. A zárványösszetétel magas foszfortartalmú Ca-Fe-szilikátot mutat: O:19.20%; Fe:17.87%; Si:15.759%; Ca:28.99%; Mn:7.25%; Al:4.28%; K:1.98%, Mg:0.55%; P:2.01%; C:2.11%.

Balta /S-315-247-12/

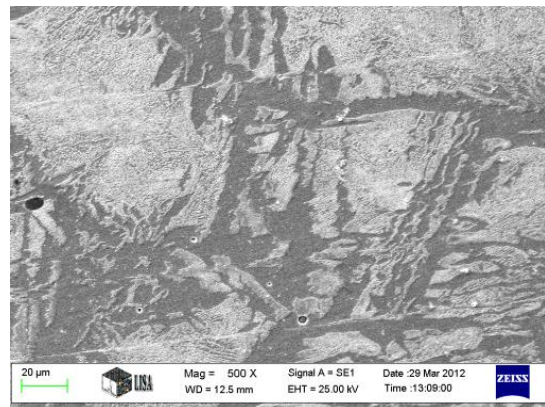
A tárgyból vett mintán kevés fémest rész lehetett vizsgálni. A 11. ábra optikai mikroszkópos képén egymás mellett látható a ferritháló perlit és a finomszemcsés perlit. Vélhetően ez a szövetszerkezet az él kialakítása miatt alkalmazott intenzív képlékenyalakítás miatt jött létre.



11. ábra. A balta optikai mikroszkópos képe.

Az elektronmikroszkópos vizsgálat szintén perlit-ferrites alapszövetet mutat. A 12. ábrán a ferrites rész Widmanstätten jellegű, amelyet az

ausztenites átalakuláskor a perlitszemcsék határán keletkező ferritháló, illetve a perlitszemcsék belseje felé nőtt ferrit-tűk jeleznek. Ez a lassú, szabad levegőn való hűléstől csekély mértékben gyorsabb hűlés eredménye, de a hűlés gyorsasága nem éri el a bainites szövetszerkezethez szükséges mértéket. A balta széle felé a perlit aránya növekszik, a cementit pedig sokkal finomabb szerkezetű, amely valószínűleg a többszöri átkalapálás eredménye. Az alapfém mintegy 0.8% - vagy kevéssel alacsonyabb - karbon tartalmú vas.



12. ábra. Widmanstätten-jellegű ferrit a balta SEM képén.

Az anyag belsejében egyenletesen elhelyezkedő salakzárványok voltak megfigyelhetők. Az egyik zárványról elemspektrum is készült, a zárvány összetétele: O:23.14%; Fe:29.32%; Si:24.29%; Ca:7.76%; Mn:7.98%; Al:2.60%; K:2.39%, Mg:0.82%; P:1.71%. Mindez alapvetően fayalitos ( $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ ) ásványösszetételre enged következtetni, amely a bucakemencék salakjainál is általános (Török 2010).

Csákány /S-315-247-13/

A tárgyról két vizsgálandó csiszolatot készítettünk, átvágva a két, egymáshoz képest derékszögben elforgatott élt. A csiszolatokat a hozzájuk tartozó élnek a nyíllyukhoz képesti iránya alapján „merőleges”, illetve „párhuzamos” mintáknak nevezzük.

Mind a két minta szövetszerkezete már az optikai mikroszkópos vizsgálatnál is jól elkülönült egymástól. A merőleges él anyaga szinte teljesen perlites, a párhuzamos él pedig perlites és szekunder cementites.

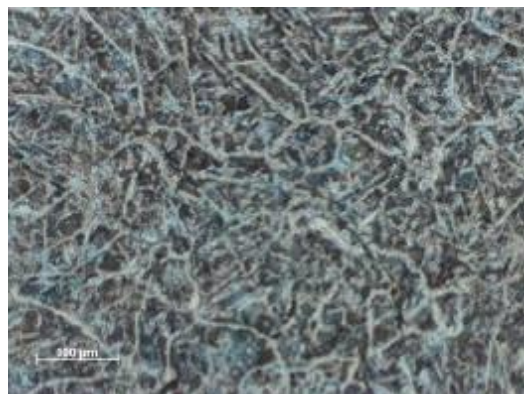
A nyélluk síkjára merőleges és azzal párhuzamos éltől az anyag belseje felé haladva a szövetszerkezet eltér egymástól. A merőleges él esetén a csákány belső, perlites anyagát és az él szövetszerkezetét egy kiterjedt ferrit-perlites sáv választja el egymástól, amelyben a ferritháló mellett a perlitszigetek között is tús, Widmanstätten-jellegű ferrit látható, finom eloszlásban (13. ábra). A sáv keménysége nem tér el a belső területek keménységétől. Vélhetően ezt az élt jobban vagy többször hevítették fel, így nagyobb mértékű és kiterjedésű volt a dekarbonizálódás. A felületen a ferrit a gyártás közben végzett felhevítések következtében jött létre. Valószínűsíthető, hogy az él kialakításánál alkalmazott erőteljes képlékenyalakítás következményeképpen alakult ki a finomszemcsés perlit.

A nyélluk síkjával párhuzamos élben ilyen réteg nem volt fellelhető. Szembetűnő különbség, hogy ebben a metszetben a szövetet szekunder cementit és perlit alkotja (14. ábra). Bár a korrózió miatt a mintavételezés nem irányítható, így nem tudjuk ellenőrizni a dekarbonizálódás mértékét, mindazonáltal a csákány kialakítása során a két élt bizonyosan eltérő hőhatás érte.

A keménységmérésnél is jelentkezett az élektől az anyag belseje felé változó szerkezet, de igazán számottevő különbség csak az élek vége (hegye) és a vastagabb, belső perlites területek között van, a párhuzamos él esetén valamivel nagyobb mértékben. A merőleges él esetén HV1(él):327; HV1(belső):255; a párhuzamos él esetén HV1(él):384; HV1(belső):228. A vizsgált tárgyak közül a csákánynál találkoztunk a legmagasabb keménységértékekkel.

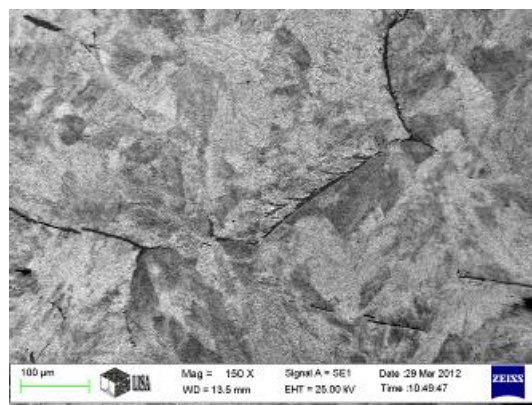


13. ábra. A csákány merőleges élének optikai mikroszkópos képe.



14. ábra. A csákány párhuzamos élének optikai mikroszkópos képe.

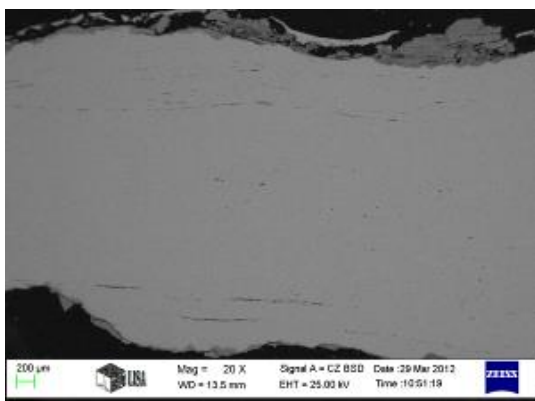
Mindezt megerősítette és további információkkal töltötte meg az elektronmikroszkópos vizsgálat. A merőleges metszet anyagának belseje felé már a ferritháló is megfigyelhető, a ferrit helyenként tús, Widmanstätten-jelleggel keletkezett (15. ábra).



15. ábra. Ferritháló a csákány merőleges metszetének SEM képén.

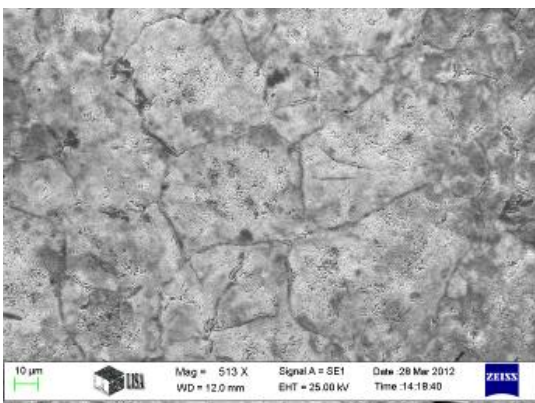
Zárványok ezúttal nem a minta közepén, a belső területeken, hanem a felület közelében voltak megfigyelhetők (16. ábra). Közöttük találtunk alakítható CaMnSi-domináns zárványt éppúgy, mint átmeneti jellegű, relatíve magasabb Fe-tartalmú, illetve nem alakítható, összetöredezett, kifejezetten Ca-szilikát alapú salakzárványt.

A vas karbontartalma 0.8% körüli értékre tehető, illetve a nyélluk közelében kissé elszegényedik karbonban az anyag, de értéke még itt is 0.7-0.8% közötti lehet.



16. ábra. Salakzárványok a csákány merőleges met-szetének SEM képén.

A párhuzamos metszet csiszolatának szövete perlit és szekunder cementit (17. ábra). A nyíllyuk felé haladva ebben az esetben is mérsékelten csökken az anyag karbontartalma, de az él környékének karbontartalma még magasabb, 1.2% körüli. A zárványok elhelyezkedése ennél a csiszolatnál sokkal egyenletesebb a merőleges metszethez képest (18. ábra) és csak alakítható Al-Ca-Mn-szilikátos komplex salakzárvány volt kimutatható.

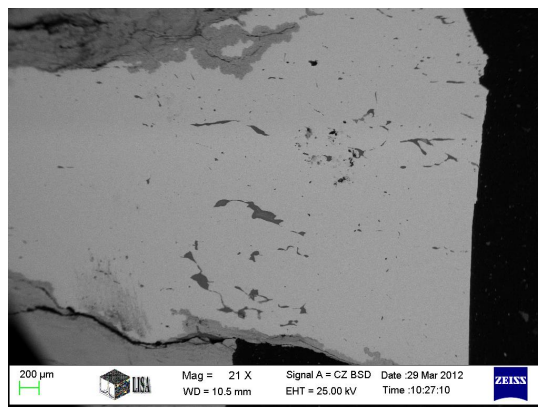


17. ábra. A csákány párhuzamos met-szetének SEM képe.

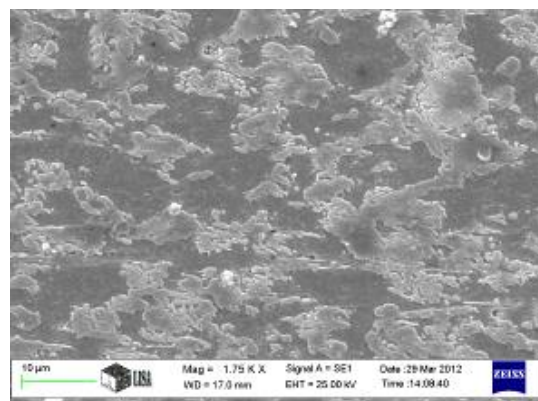
#### Lándzsahegy és -hüvelyvég /S-315-247-370/

A lándzsahegy optikai mikroszkópos szövetcépét vizsgálva heterogén szerkezetet tapasztaltunk. A majdnem teljesen perlites részek mellett egy ferritet nagyobb hányadban tartalmazó ferrit-perlites szövet is azonosítható. A két szövet karbontartalma között jelentős eltérés nem

jelentkezik. A többi, apró fémrészletet tekintve, valószínűsíthetően inhomogenitásból adódik ez a különbség. Az alapszövet nagyon sokszor átkalapált, sokat alakított, durva ferrit-perlites szerkezetű (19. ábra). A fém karbontartalma 0.6-0.8% körüli értéken lehet.



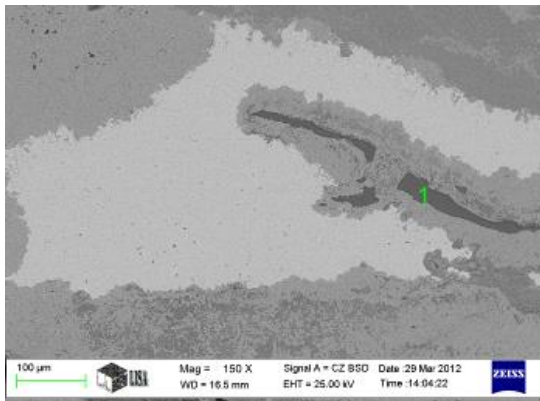
18. ábra. Salakzárványok a csákány párhuzamos met-szetének SEM képén.



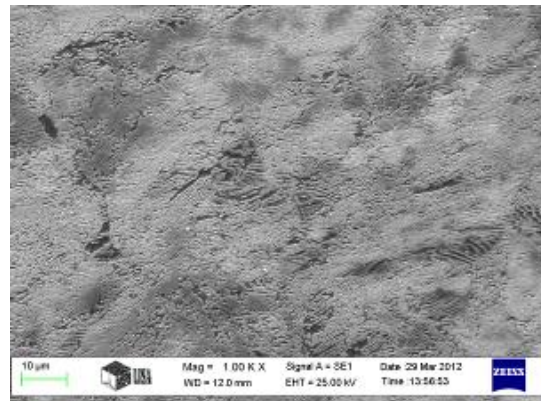
19. ábra. A lándzsahegy SEM képe.

A salakzárványok elhelyezkedése egyenletes volt a minta középső régiójában (20. ábra). A zárványok jellemzően sok mangánt és alumíniumot tartalmaztak és relatíve nagy volt a Ti-tartalmuk is. Az 1 pontban vizsgált zárvány összetétele: O:26.07%; Fe:9.47%; Si:33.30%; Ca:7.34%; Mn:7.55%; Al:9.43%; K:5.36%; Mg:0.75%; Ti:0.73%.

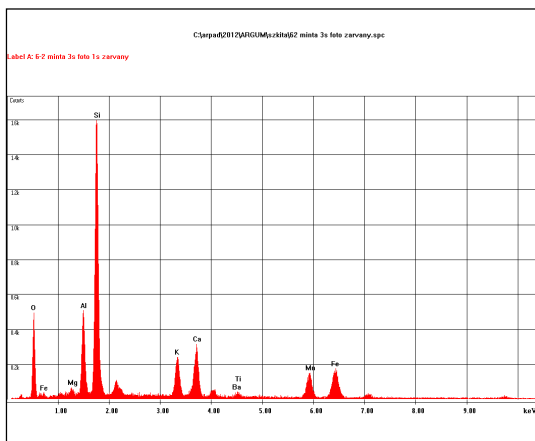
Az elemspektrum (21. ábra) nyomelemként báriumot is jelez, de számszerű értéket a gép nem tudott adni, annak csekély mennyisége miatt.



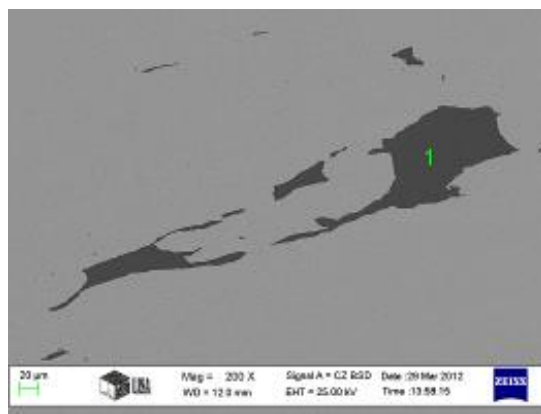
20. ábra. Salakzárvány a lándzsahegy SEM képén.



22. ábra. A hüvelyvég SEM képe.



21. ábra. Salakzárvány elemspektruma (20. ábra 1).

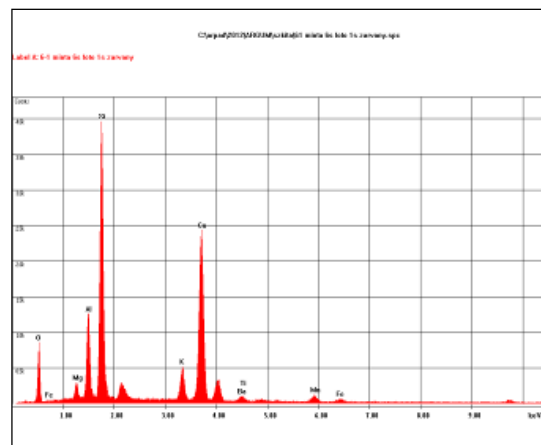


23. ábra. Salakzárvány a hüvelyvég SEM képén.

A hüvelyvég anyagát tekintve tiszta perlit. Nagyobb nagyításban nem számottevő mennyiségű ferritsziget is található. A perlit szerkezete finomnak mondható. A hüvelyvég kevésbé korrodált, mint a lándzsahegy. Az alapszövet szinte kizárólag lemezes perlit, elvéve található egy-két ferrit sziget (22. ábra).

A fém karbon tartalma kb. 0,8%. A minta középső részén egyenletes eloszlásban, relatíve nagyméretű zárványok találhatók (23. ábra), amelyek igen magas Ca-tartalommal, jellemzően Al-Ca-szilikát alapúak, viszont ez esetben már találtunk mérhető Ba-csúcsot is (24. ábra). Az 1 pont zárványösszetétele: O:25.10%; Fe:0.86%; Si:30.59%; Ca:24.41%; Mn:1.91%; Al:9.14%; K:4.04%; Mg:1.98%; Ti:0.54%; Ba:1.43%.

A keménységmérések a lándzsahegy perlites részénél 192HV1. A hüvelyvég esetében a relatíve homogén perlites szövet keménysége 291HV1.



24. ábra. Salakzárvány elemspektruma (23. ábra 1).

Fejsze /S-315-247-371/

Ebből a tárgyból két helyről metszettünk mintát: a nyéllyuk keresztmetszetében, illetve az élre merőlegesen. A nyéllyuk élre merőleges metszetének 50-szeres nagyítású, optikai mikroszkópos mozaikképe a 25. ábrán látható.



25. ábra. A fejsze nyéllyuka metszetének optikai mikroszkópos képe.

A hurok réteges szerkezetű, amely rétegek nagyobb nagyításban még inkább azonosíthatók. Ebből következően több réteget (lemezt) kovácsoltak össze, amelyeket hurokká hajtva alakították ki a nyéllyukat, illetve a fejsze fejét. Ennek nyomai az élből vett mintán is megtalálhatók voltak. A minta anyagának szélén és közepén más-más a szövetszerkezet. A minta két szélén relatíve nagyobb karbon tartalmú, perlites szövetszerkezet, míg a közepén periodikus ferrit-perlites szövetszerkezet látható. A két szövetszerkezet között folyamatos az átmenet. A felvételekből 6-9 eltérő vastagságú réteg becsülhető, a határuk elmosódott. A ferrit-perlites rétegben tús szerkezetű Widmanstätten-ferrit található.

Az anyag belső rétegeiben nagyobb szemcsenagyságú sávok láthatóak, amelyeket apró szemcsészerű vékony rétegek kötnek össze (26. ábra). Valószínűleg ezek a sávok a lemezek határait kijelölik, itt kovácsolódtak össze a rétegek. Mindezt az ezekben a rétegekben található sok zárvány is alátámasztja. A fejsze éléből vett mintában is megfigyelhető a réteges szerkezet (27.

ábra). A nyéllyukhoz képest kevesebb réteg látható és az apró szemcsészerű terület is jobban szétterjed az él környékén. Ez valószínűsíthetően az él kialakításánál alkalmazott intenzívebb képlékenyalakításnak köszönhető.



26. ábra. A fejsze réteges szerkezete optikai mikroszkópos képen.

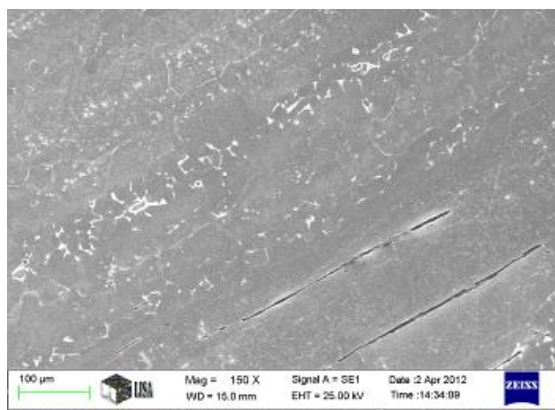


27. ábra. A fejsze élének réteges szerkezete.

A fejsze két metszetének keménységvizsgálatai során a keménységértékek a réteges szerkezet ellenére is csak szűk tartományú szórást mutattak, 216HV1 értékkel.

Az elektronmikroszkópos vizsgálat alapján a nyéllyuk réteges szerkezete: felszín közeli réteg – természetesen a rozsdá alatt – relatíve magas, mintegy 0.8% karbon tartalmú, perlitben gazdag réteg, vékony ferrithálóval, majd az anyag belseje felé haladva kb. 0.5-0.3% C-tartalmú rétegek váltakoznak periodikusan, amelyek szintén perlit-ferritesek, csak a szövetelemek aránya változik folyamatosan a felszíni réteghez képest kiterjedtebb ferrites területekkel (28. ábra).

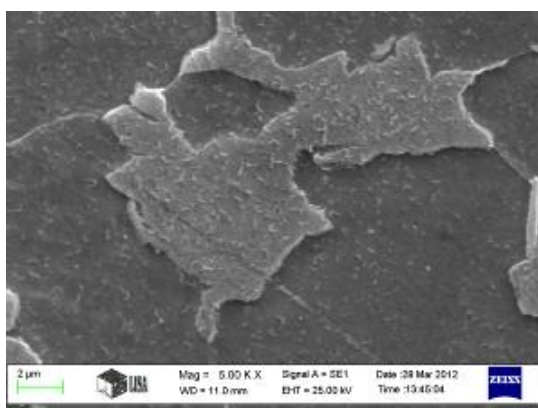




28. ábra. A fejsze-nyéllyuk réteges szerkezete SEM képen.

A szétlapult zárványok a hurok alakját követve, szintén réteges szerkezetet mutatnak. A zárványok igen magas vastartalmúak, vas-szilikát (fayalit) mellett – tekintve, hogy több, valószínűleg különböző C-tartalmú (legalábbis a felszíni és belső rétegeket tekintve mindenképp) összekovácsolt rétegről van szó -, vélhetően korróziós vas-oxid – amely eredetileg kovácsolásból származó reve volt - is előfordulhat bennük. A zárványok P-tartalma szintén magasnak mondható.

Az erősen korrodált élből kivágott metszet alapszövege az él környezetében perlit-ferrites. Az él hegyének közelében a perlit cementitje nagyon összetöredezett, ami többszöri alakításra utal (29. ábra). A szövetszerkezet mely az anyag belseje felé haladva egyre kevesebb perlitet tartalmaz. A minta C-tartalma a többi vizsgált tárgyéhoz képest aránylag alacsony, 0,4% körüli.



29. ábra. Összetöredezett cementit a fejsze élének SEM képen.

A szinte mindenhol megjelenő zárványok elhelyezkedése egyenletes volt, összetételük a nyéllyuk metszeténél vizsgált zárványokhoz hasonlóan főként Fe-szilikátból álltak.

### Konklúziók a korabeli technológiát illetően

A bátmonostori leletegyüttes archeometriai vizsgálatsorozata az Alföld középső vaskori, illetve a tágabb régió hasonló időszaka tekintetében is eddig egyedülállónak számít.

A vizsgált vastárgyakra vonatkozó alapvető megállapításokat és megjegyzéseket az alábbi táblázatban összesítettük (1. táblázat).

Valamennyi vizsgált tárgy erősen korrodált, ötvözetlen, gyakran heterogén szerkezetű perlit-ferrites acélszerű bucavasból készült. A tárgyak vasában a karboneloszlás rendszerint inhomogén, ugyanakkor rendszerint relatíve nagy – 0,8% körüli, illetve a csákány egyes részein ennél is nagyobb – C-tartalom feltételezhető. Ez alól csak a fejsze anyagának belső régiói kivételek. Az általunk vizsgált somogyi avar kori vastárgyak (kések, tűk, ásópapucs, lánc, stb.) (Török & Kovács 2009) karbontartalmától általánosságban nagyobb, illetve a szintén általunk vizsgált kelta kori vaseszközök (kés, akasztó, ekepapucs, vas árák, stb.) (Török & Kovács 2013) legtöbbjénél is némileg nagyobb C-tartalmú anyagokról beszélhetünk.

Az első kérdés megválaszolásához leginkább a salakzárványok vizsgálata adhat információkat. A külföldi archeometallurgiai szakirodalomban több tanulmány is foglalkozik kifejezetten a fémtárgyakban található salakzárványok elemzésével, kategorizálásával (Blakelock *et al.* 2009; Buchwald & Wivel 1998; Dillmann & l'Héritier 2007). Hasonló módon vizsgált szkíta vastárgyakról nincs tudomásunk, viszont a jelen vizsgálatsorozat tárgyaiban talált salakzárványok zömének összetétele eléggé különbözik az eddig általunk vizsgált kárpát-medencei – igaz későbbi korokból származó – vastárgy-leletek zárványaitól. Gyakran talákoztunk kiemelkedően nagy Ca-tartalmú, ugyanakkor relatíve kis Fe-tartalmú zárvánnyal (a fokos, a csákány és a lándzsahüvelyvég esetében), amely az igen nagyszámú, főként Közép- és Kelet-Közép-Európából (Svájc, Csehország) származó kelta vastárgyak zárványai esetén sem gyakori (Buchwald 2005), nem beszélve az általunk korábban vizsgált pannóniai avar vastárgyak (Török & Kovács 2010), illetve egy Alföldről

származó gepida vaskard salakzárványairól (Török & Kovács 2011). Eseteinkben a bázikus oxidokat – CaO, MnO – alkotó elemek gyakori magas értéke a salakzárványokban nem megszokott a későbbi korok kovácstermékeinél. Mindazonáltal a foszfort tekinthetjük az egyik vízválasztó elemnek az alapanyagot illetően, amely a felhasznált vasércből származó „metallurgiai örökség”. Ebből a szempontból a fokos, a balta és a fejsze sorolható egy csoportba. Ezen kívül a jellemző szövetszerkezet hasonlósága is egy csoportba indukálja ezt a három vizsgált tárgyat.

Ugyanakkor szövetszerkezetük alapján a csákány, illetve a lándzsahegy és a hüvelyvég is rokonságot mutatnak egymással. Zárványösszetételük sem cáfolja mindezt, bár a

lándzsahegy hüvelyvég zárványában lévő bárium eléggé „exkluzív” összetevő. Mindhárom tárgy valószínűleg mindig csak egyféle anyagból készült. A csákány esetében külön említést érdemel a két él szövetszerkezetének eltérő alakulása. Az anyagot A<sub>1</sub> hőmérséklet (723 °C) felé hevítve intenzíven, többször átkovácsolták, majd relatíve gyorsan lehűtötték, de azért még nem edzésnek megfelelő hűtési sebességgel. Szekunder cementitet egyedül itt találtunk, ez a szövetelem egyébként az általunk vizsgált, korai középkori vastárgyakon sem szokott megjelenni. A csákány vasbucája eredetileg relatíve nagy C-tartalmú lehetett inhomogén eloszlásban. Az alapos átkalapálás a lándzsahegy esetén is bizonyos.

1. táblázat: A vastárgyak vizsgálati eredményeinek összefoglalása.

Vizsgált tárgy	Szövetszerkezet	Zárvány	Megjegyzés	HV1
Vasfokos (S-315-247-3)	Finomszemcsés perlit, kevés hálós ferrit	Magas P-tartalmú Ca-Fe-szilikát	Ugyanolyan anyagból készült, mint a balta és a fejsze.	n.a.
Vasbalta (S-315-247-12)	Perlit, Widmanstätten-ferrit, finomszemcsés cementit	Magas P-tartalmú Fe-szilikát	Többszöri hevítéssel valószínűleg több réteget kovácsoltak össze, mint fejsze esetében.	erősen szórt
Vascsakány (S-315-247-13)	Perlit, Widmanstätten-ferrit illetve perlit, szekunder cementit	Ca-Mn-szilikát, Ca-Fe-szilikát, Ca-szilikát, illetve Al-Ca-Mn-szilikát	A két él eltérő kezelése. A lándzsahegy anyagával rokon alapanyag.	merőleges él: 255; 327 párhuzamos él: 228; 384
Vas lándzsahegy (S-315-247-370)	Perlit, durva ferrit-perlit	Al-Mn-szilikát, relatíve magas Ti-tartalommal	Sokszor átkalapált szerkezet. Anyaga nagyon hasonlít a csákányéhoz.	192
Lándzsahegy hüvelyvég (S-315-247-370)	Lemezes perlit, nagyon kevés ferrittel	Ca-Al-szilikát, magas báriumtartalommal	Egy fajta, jól átkovácsolt anyagból készült.	291
Vasfejsze (S-315-247-371)	Ferrit-perlit, Widmanstätten-ferrittel	Magas vas- és P-tartalmú Fe-szilikát (fayalit?), korróziós vasoxid	Többszöri alakítás nyomai. Több réteg összekovácsolásával készülhetett. A fokos anyagával rokon alapanyag.	216

A balta és a fejsze készítési technológiájának alapja több – esetenként akár eltérő C-tartalmú - réteg többszöri felhevítéssel történő összekovácsolása, formára alakítása. Anyagi minőség és kialakítási technológia szempontjából a fokos sorolható még ebbe a csoportba, amelynél valószínűleg kevesebb számú réteget dolgoztak össze.

A keménységmérések változatos eredményt hoztak. Legtöbbször relatíve lágy vasanyagról árulkodnak, egyedül a csákány élei tekinthetők keményebb anyagnak. A csákány mellett a lándzsahegynél találoztunk az él, illetve a hegy környékén a belső anyagtól határozottan keményebb vassal. Ugyanakkor nem szabad megfeledkeznünk arról, hogy a vizsgált tárgyak

felszínei az elmúlt mintegy 2500 évben jelentős korrózióknak voltak kitéve.

#### Felhasznált irodalom

- Blakelock, E., Martín-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, 73–96.
- Buchwald, V. F. 2005. Iron and steel in ancient times. *Historisk-filosofiske Skrifter* 29.
- 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.
- Kemenczei T. 2001. Az Alföld szkíta kora. In: Havassy P. (Szerk.) *Hatalmasok viadalokban. Az Alföld szkíta kora. Gyulai katalógusok* 10, 9–36.
- Kemenczei, T. 2009. Studien zu den Denkmälern skytisch Geprägter Alföld Gruppe. *Inventaria Praehistorica Hungariae XII*.
- Török, B. 2010. Crystallization of Iron Slags Found in Early Medieval Bloomery Furnaces, *Materials Science Forum* 649, 455–460.
- Török B., Kovács Á. 2009. Avar vastárgyletek szövetszerkezetének elektronmikroszkópos vizsgálata. XI. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia kiadványa, 91–95.
- Török, B., Kovács, Á. 2010. 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.
- Török B., Kovács Á. 2011. Kora középkori gepida kard archeometallurgiai vizsgálata. *Archeometriai Műhely* 8/4, 337–343.
- Török B., Kovács Á., Barkóczy P., Kristály F. 2013. Ordacsehi-Csereföld kelta településéről származó vassalak és vastárgyak anyagvizsgálata és készítés-technológiai vonatkozásai. *Archeometriai Műhely* 10/1, 23–32.