

A ZALASZABARI BRONZKINCS ARCHEOMETALLURGIAI VIZSGÁLATÁNAK ELŐZETES EREDMÉNYEI

Kiss Viktória^a, Barkóczy Péter^b, Vizer Zsuzsanna^b

^a MTA Bölcsészettudományi Kutatóközpont Régészeti Intézet, 1014 Budapest Úri u. 49. kiss.viktoria@btk.mta.hu

^b Miskolci Egyetem, Anyagtudományi Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat Zalaszabaron 1998-1999-ben fatelepítés során került elő egy 83 ép és töredékes tárgyat tartalmazó középső bronzkori (Kr. e. 2000–1600/1500) bronz kincslelet. A kincs lelőhelye a mészbetétes kerámia kultúrája legnyugatibbi elterjedési területéhez sorolható. Tanulmányunk a nyersanyag és a készítőtechnika vizsgálatát célozza a tárgyak archeometallurgiai elemzése segítségével. Az eredmények szerint a tárgyak közül néhány öntéssel készült, míg másoknál az öntést követő utólagos megmunkálás, és ezt követő hőkezelés/hőhatás mutatható ki. A nyersanyagban megfigyelt különbségek arra utalnak, hogy a kincs tárgyainak zöme nem egyszerre készült.

Abstract A bronze hoard consisting of 83 artefacts were found in 1998-1999 during forestry activities at Zalaszabar (Zala county), western Hungary. Location of the finds belong to the westernmost distribution of Middle Bronze Age Transdanubian Encrusted Pottery. Our paper focuses upon the archaeometallurgical study of the bronze items through of compositional and microstructure analyses, and chaîne opératoire of local metal production applied by bronzeworkers of western Hungary between 2000 and 1600/1500 BC. Our results shed light on certain aspects of forging and annealing of artefacts following the casting procedure. Discrepancies of raw material suggest that hoard assemblage was produced during several different casting procedures.

Kulcsszavak Bronzkor, kincslelet, archeometallurgia, elemösszetétel elemzés, szövetszerkezet

Key words Bronze Age, hoard, archaeometallurgy, compositional analysis, microstructure

Bevezetés

A Kis-Balaton területén, Zalaszabar határában (Zala megyében) 1998 nyarán Németh József, a Kis-Balatoni Vízügyi Igazgatóság erdésze fatelepítéskor 55 tárgyból álló bronz kincsleletet talált. A következő évben a tavaszi mezőgazdasági munkák során további, a lelet-együtteshez tartozó tárgyak kerültek elő, köztük az elsőként megtalált leletek töredékes részeihez illő darabok is, ami kétségtelenné teszi a kincs összetartozását. A lelőhely a mészbetétes kerámia kultúrája legnyugatibbi elterjedési területéhez sorolható.

A kincs összesen 83 ép és töredékes tárgyat tartalmaz, amelyek között 76 ruhára varrható csüngődísz (11 korongcsüngő, 32 ép, illetve töredékes fecskéfarkcsüngő, 2 fésűcsüngő, 12 fordított szív alakú lemezcsüngő, 2 félhold alakú csüngő, 2 szemüvegspirálszüngő, 14 lemezből és drótból csavart cső-gyöngy, egy lemezből csavart

kéttagú gyöngy), három lemezesfejű ruhakapcsoló tű, egy kartekercs, egy nyakperec bepödrött végének töredéke, egy peremes balta és egy öntőcsap található (1. ábra). A kincs össztömege több mint 1,5 kg (Honti & Kiss 2013).

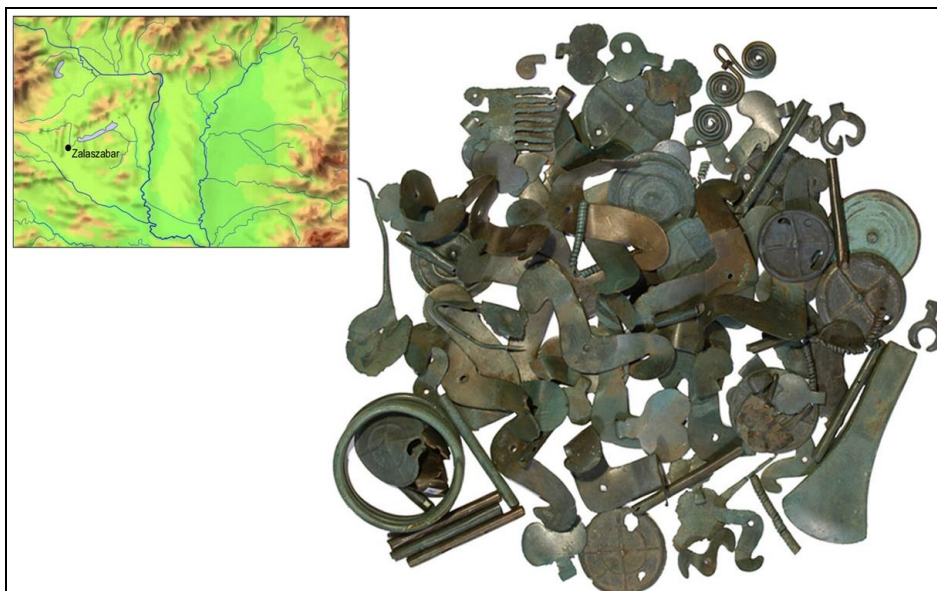
Régészeti elemzés

A sírokból és az eddig előkerült 18 hasonló kincsleletről származó jellegzetes ékszereket tolnánémedi–lengyeltóti kincs-csoportként említi és a középső bronzkorba (Kr. e. 2000–1600/1500) keltezi a régészeti kutatás (Bóna 1958; Mozsolics 1967). Ekkoriban a mészbetétes kerámia kultúrája népessége élt a Dunántúl középső területein. A ruhadíszek pontos viseleti összefüggéseire a mészbetétes kerámia kultúrája hamvasztásos sírjai nem szolgálnak adatokkal, de az edényeken ábrázolt hasonló minták és a Duna magyarországi szakaszától délebbre élő, rokon kultúrák területén megtalálható nősobrocskák ábrázolásai segítsé-

get nyújthatnak a korabeli ékszervelet rekonstrukciójához (Kovács 1986; Honti & Kiss 2000, Abb. 5; Reich 2006; Kiss 2009a; Szabó & Hajdu 2011, 6. ábra).

A hasonló tárgyak elterjedése és néhány öntőforma, illetve agyag fújtatócső-vég azt bizonyítja, hogy a tolnanémedi kincsek helyben, dunántúli műhelyekben készültek (Kiss 2009b, 6. ábra, 9. ábra). Öt hasonló kincs és néhány sírlelet 116 tárgyán eddig elvégzett színképelemzéses nyersanyagvizsgálatok (a SAM projekt optikai emissziós vizsgálatait; Junghans, Sangmeister & Schröder 1968, Anr. 6399, 6451-59; 1974, 13327–336, 13345–386, 14298–307, 14308–327) szerint a jellegzetes, helyi formakincshez köthető ruhadí-

szek (pl. korong és fecskefarok alakú csüngők) 80%-a ún. Ósenringkupfer fém típusból készült (Kiss 2009b, 200–201, 7–8. ábra). E típus eredete a magas arzén, ezüst és antimon tartalmú fakőércekhez köthető, amely Közép-Európa három ismert, az őskorban is művelt rézérc lelőhelyének (Cseh–Szász-érchegység, Keleti-Alpok és Közép-Szlovákiai-érchegység; Höppner *et al.* 2005) egyikéből származó imporként juthatott a Dunántúlra. A zalaszabari kincs archeometallurgiai vizsgálata segítségével a nyersanyaggal és a készítéstechnikával kapcsolatos kérdéseket vizsgáljuk.



1. ábra. A zalaszabari kincs és előkerülési helye.

Archeometallurgiai elemzés: módszerek és eredmények

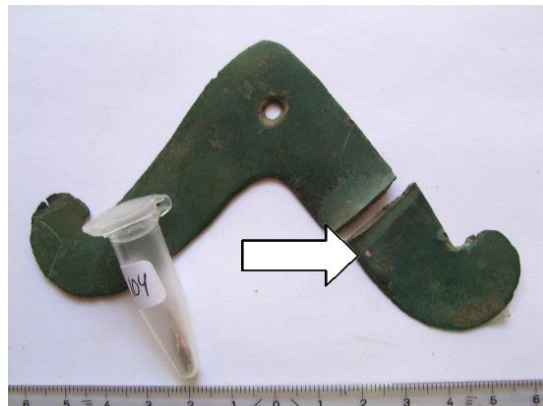
Összetétel elemzés

Az összetétel vizsgálat, és tervezett ólomizotóp elemzés számára a kincs 50 tárgyán történt kis roncsolással járó mintavételezés a Tübingeni Egyetem 2006-ban Ernst Pernicka és Tobias L. Kienlin vezetésével elkezdett projektjéhez (Untersuchungen zur Vermittlung der Zinnbronze nach Mitteleuropa über das Karpatenbecken) csatlakozva. A tárgyak nemespatinával fedett felületébe

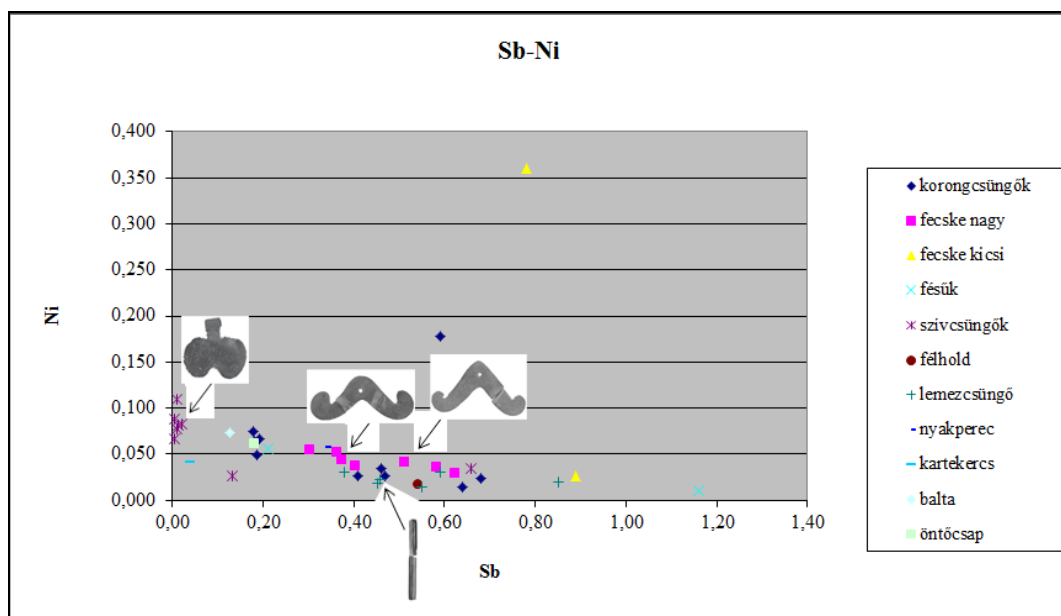
és az alatta levő fémfényes anyagba acél fúróval mélyített, kb. 1 mm széles, 1,5 mm mély fúrásmintából (2. ábra) származó, részben fémfényes „fémmorzákban” energiadiszipatív röntgenfluoreszcens (EDXRF) spektrometria segítségével 14 elem koncentrációját vizsgálták (Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Ag, Sn, Sb, Te, Au, Pb, Bi; a módszer leírásáról ld. Lutz & Pernicka 1996). Tudomásunk szerint ólomizotóp-elemzés eddig nem készült a mintákból. Az eredmények szerint a tárgyak óntartalma 4–8% közé esik (Kiss 2012, 1. ábra). Az elemösszetétel alapján a kincs tárgyai több nyersanyagcsoportba (vö. Krause 2003, Abb.

43) sorolhatók (3. ábra). Ezek részben magas arzén, ezüst és antimon tartalommal, részben alacsonyabb-magasabb nikkel tartalommal jellemezhetők. A szív alakú csüngők az elemösszetétel-diagram alapján azonos nyersanyagból készültek, és azonos nyersanyag felhasználásra utalnak az egy csoportba eső korongcsüngők is (vö. Kiss 2012, 2. ábra).

Cikkünkben a tübingeni labor által rendelkezésünkre bocsátott elemzési adatokból csak az EDXRF és a fázisszerkezet vizsgálatnak egyaránt alávetett 4 tárgy összetételét mutatjuk be (3. ábra, 1. táblázat), a további elemösszetétel eredményeket egy későbbi tanulmányban tesszük közzé.



2. ábra. roncsolásos mintavétel (T. Kienlin felvétele).



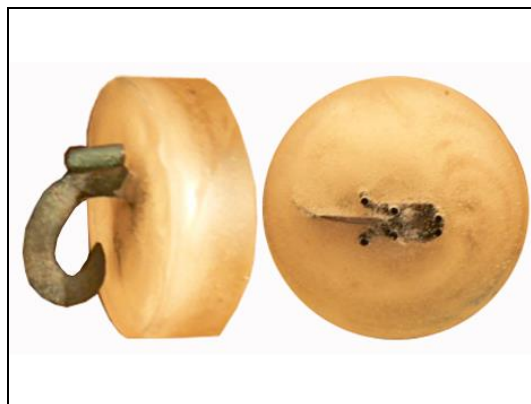
3. ábra. elemösszetétel-diagram a tárgy típusok jelzésével.

1. táblázat. 14 elem koncentrációjának EDXRF elemzési adatai.

Minta	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Sn	Sb	Te	Au	Pb	Bi
2010.2.1.21	0,02	0,01	0,043	92	0,2	0,88	0,005	0,52	5,6	0,51	0,005	0,011	0,01	0,053
2010.2.1.27	0,02	0,01	0,054	92	0,2	0,56	0,005	0,37	6,6	0,36	0,005	0,01	0,032	0,020
2010.2.1.48	0,053	0,01	0,083	93	0,2	0,114	0,005	0,041	6,5	0,022	0,005	0,045	0,016	0,01
2010.2.1.71	0,78	0,01	0,018	94	0,2	0,55	0,005	0,337	6,7	0,453	0,005	0,027	0,122	0,022

Szövetszerkezeti elemzés

Nyolc tárgyon optikai mikroszkópi vizsgálatokat is végeztünk a Miskolci Egyetem Anyagtudományi Intézetének LISA laboratóriumában, mind a szemcse-, mind a fázisszerkezet megismerése céljával (a mikroszerkezet vizsgálat helyét a piros nyíl jelzi az 5-12. ábrákon). A szemcseszerkezet vizsgálat előtt a tárgyat beágyasztuk két-komponensű, hidegen kötő Duracryl műgyantába, ami az így befoglalt tárgyon kis felületi csiszolás elvégzését tette lehetővé. Ennek segítségével a lehető legkisebb roncsolást ejtettük a tárgyakon a műtárgyvédelmi szempontokat is figyelembe véve (4. ábra). Ezt követően a vizsgálandó csiszolt, polírozott felületet sósav és vas-klorid oldatba, illetve kálium-dikromát oldatba mártva marattuk, majd az így előkészített mintákon ZEISS2V axiovert40 optikai mikroszkópi vizsgálatot végeztünk.



4. ábra. a szövetszerkezeti elemzésre előkészített, műgyantába ágyazott bronzcsüngő.

2. táblázat. Vickers keménységmérés eredménye (minták száma/mérés száma alapján).

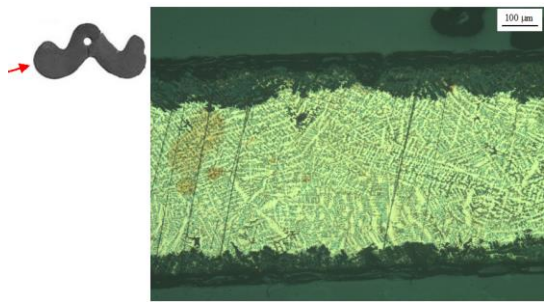
Minta	39	59	48	21	27	78	61	71
1	110	90,5	135	130	101	81,3	221	86,2
2	90,5	91,6	155	122	97,5	91,6	191	81,3
3	124	96,2	150	113	98,7	90,5	149	114

A tárgyak keménységét is megvizsgáltuk kis terhelésű (100g) Vickers keménységméréssel, INSTRON TUKON 2001B berendezéssel. A réz szakítószilárdsága $R_m = 150-200$ MPa, melynek értéke hidegalakítással növelhető 400-500 MPa értékre. A hidegalakítás hatására a szemcseszerkezet torzul és fokozatosan egyre jobban ellenáll a külső alakító erőnek; az anyag keménysége, szakítószilárdsága nő. Az alakítási keményedést a kristályszerkezetben lejátszódó folyamatok okozzák. Egy keményedési határ elérése után a további képlékeny alakításnál elkerülhetetlen a repedések kialakulása és az anyag törése, ezért hőkezelést kell alkalmazni (pl. újrakristályosító hőkezelés, lágyítás). A tárgy keménysége tehát szintén adatokat nyújt a készítése technikai folyamatokra nézve (2. táblázat). A keménységmérés a szövetszerkezet vizsgálatához készített csiszolt felület közepén történt.

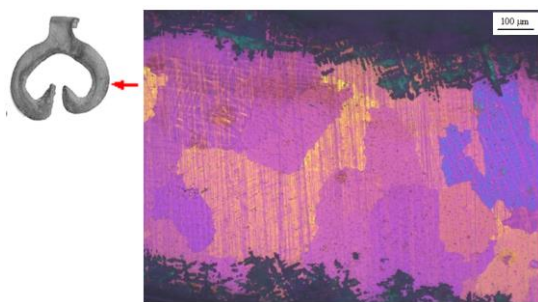
Elsőként egy kisméretű fecskefarok alakú csüngő (2010.2.1.39) és egy félhordalakú csüngő

(2010.2.1.59) szövetszerkezeti képét mutatjuk be. A mikroszerkezetben primer kristályosodásból származó réz-ón szilárdoldat dendriteket figyelhetünk meg, ami azt mutatja, hogy a tárgyak öntéssel készültek, utólagos megmunkálás nélkül (5-6. ábra). A dendritág távolság kicsi, és a dendritágak között erős óndúsulás figyelhető meg, ami gyors lehülési sebességre utal. A tárgyak vékonysága okozta a gyors lehülést. A keménységmérés adata is a gyors hűlésre utal. Hasonló szövetszerkezeti képet láthatunk egy velemi karpertöredék és más, szintén csak öntéssel készült tárgyak esetében (Szabó 1999, 331, 1. kép 4; Kienlin 2010, Fig. A1-13).

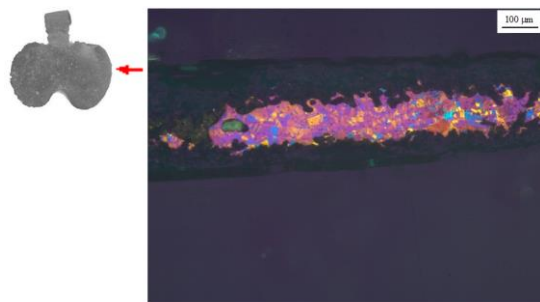
A következő vizsgált tárgy egy szív alakú csüngő (2010.2.1.48). A mikroszkópi felvételen apró újrakristályosodott szemcséket látunk, ami az öntést és megmunkálást követő hőkezelésre (lágyításra, fesztelenítésre) utal (7. ábra). Ezt igazolja a tárgy kis keménysége is.



5. ábra. A 2010.2.1.39. minta mikroszerkezete kromátos maratás után.



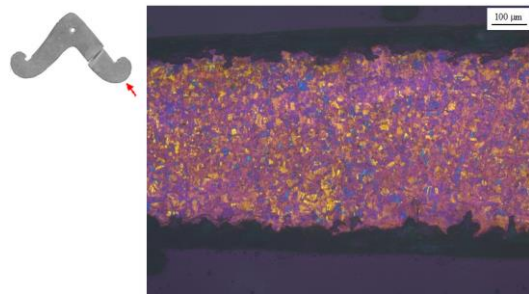
6. ábra. A 2010.2.1.59. minta mikroszerkezete kromátos maratás után.



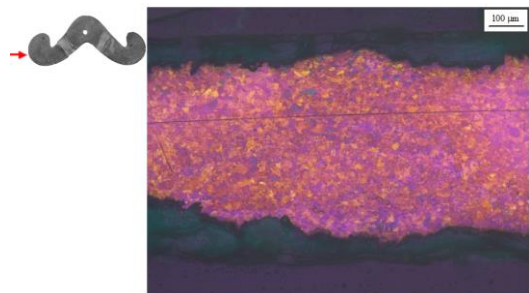
7. ábra. A 2010.2.1.48. minta mikroszerkezete kromátos maratás után.

Két kissé eltérő formájú, nagyobb méretű fecskefarok alakú csüngőt is vizsgáltunk (2010.2.1.21, 27). A kincsben előkerült 26 nagyméretű fecskefarok csüngő közül néhánynak a szinte teljes mértékben azonos alakja arra utal, hogy ezeket azonos öntőformában készítették. A hasonló alakú csüngők kissé eltérő vége az öntést követő kalapálást jelez, vélhetően az öntési sorjáktól eltávolításával összefüggésben. A minták mikroszerkezetében látható nagyon apró, újrakristályosodott szemcsék arra utalnak, hogy az

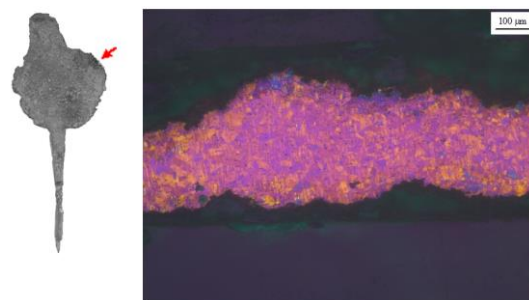
öntést követő megmunkálás után hőkezelés érte a tárgyat (8-9. ábra). Ezt igazolják az alacsony (az egyik darabnál az öntött tárgyakéval egy tartományba eső) keménység értékek is.



8. ábra. A 2010.2.1.21. minta mikroszerkezete kromátos maratás után.



9. ábra. A 2010.2.1.27. minta mikroszerkezete kromátos maratás után.

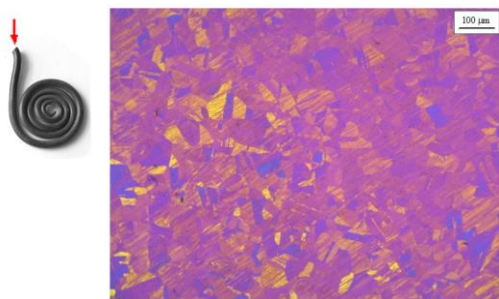


10. ábra. A 2010.2.1.78. minta mikroszerkezete kromátos maratás után.

A lemezesfejű tűnél (2010.2.1.78) a fejrész vizsgáltuk. A mikroszerkezetben finom újrakristályosodott szemcséket láthatunk (10. ábra), ami arra utal, hogy a kör alakúra kalapált fejrész a megmunkálást követően hőkezelték. A rend-

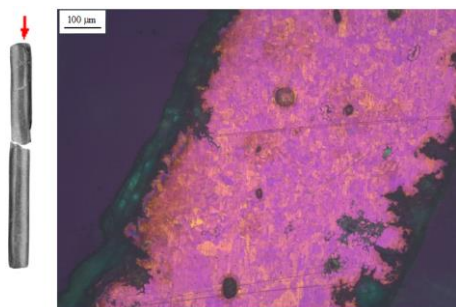
kívül alacsony keménység érték a tárgy teljes kilágyulását mutatja.

A töredékes szemüvegspirál csüngő (2010.2.1.61) mikroszerkezetében is újrakristályosodott szemcséket láthatunk (11. ábra). Azt nem lehet eldönteni, hogy az alapul szolgáló huzalt milyen képlékenyalakítási eljárással (kalapálás vagy húzás) készítették, mert az alakítás utáni hőkezelés eltüntette a megmunkálás nyomát a mikroszerkezetből. Szabó Géza a korszak metallurgiai adataiból kiinduló megfigyelései a kalapálást valószínűsítik (Szabó 1993, 195, 198, 202). A nagy keménység adat ugyanakkor arra utal, hogy a spirál kialakítására végzett hőkezelés a tárgy középső részére kisebb hatással volt (Szabó 2013, 38, 5. t. 29).



11. ábra. A 2010.2.1.61. minta mikroszerkezete kromátos maratás után.

Az utolsó tárgy egy lemezből készített csőgyöngy (2010.2.1.71). Az alap lemezt öntés után hőkezelték, majd kalapálták, hogy a cső alakot hajlítással elkészítsék (12. ábra). A mikroszerkezet és a kis keménység egy ezt követő hőkezelést/hőhatást mutat.



12. ábra. A 2010.2.1.71. minta mikroszerkezete kromátos maratás után.

Fázisszerkezet elemzés

A fázisszerkezetre vonatkozó eredmények alapján a nyersanyag szempontjából is különböző csoportokat tudunk kimutatni. Elsőként a négy, elemösszetételei adattal is jellemezhető tárgy fázisszerkezetét mutatjuk be. Az egyik nagyobb méretű fecskefarok alakú csüngőnél (2010.2.1.21) apró szürke zárványok figyelhetők meg a nagyobb nagyítású felvételeken; jellegükből és színükből következően ezek réz-szulfid zárványok). Ezek a zárványok a kohósítás során kerülnek az anyagba, a tárgy anyaga ebből a szempontból meglehetősen tiszta. A zárványok nagyon aprók, és a többi lelettel összevetve kis mennyiségben vannak jelen az alapanyagban (13. ábra).

A másik fecskefarok alakú csüngő (2010.2.1.27) mikroszerkezetét tekintve hasonlít az előző ugyanilyen tárgyra, de az apró réz-szulfid zárványok mennyisége nagyobb, mint az előzőekben bemutatott hasonló tárgy esetében. Ez arra utal, hogy nem ugyanazon alapanyagból készült (14. ábra).

A szív alakú csüngő (2010.2.1.48) zárványszerkezetét megnézve nagyméretű, az alakításnak megfelelően elnyújtott zárványokat látunk a szerkezetben (15. ábra). Mennyiségüket tekintve a nyersanyag a nagy zárványtartalmú csoportba sorolható.

A lemezből készített csőgyöngy (2010.2.1.71) mikroszerkezetét nagyobb nagyításban vizsgálva is alig találunk pár apró réz-szulfid zárványt. Maga az alapanyag ebből a szempontból nagyon tisztának látszik (16. ábra).

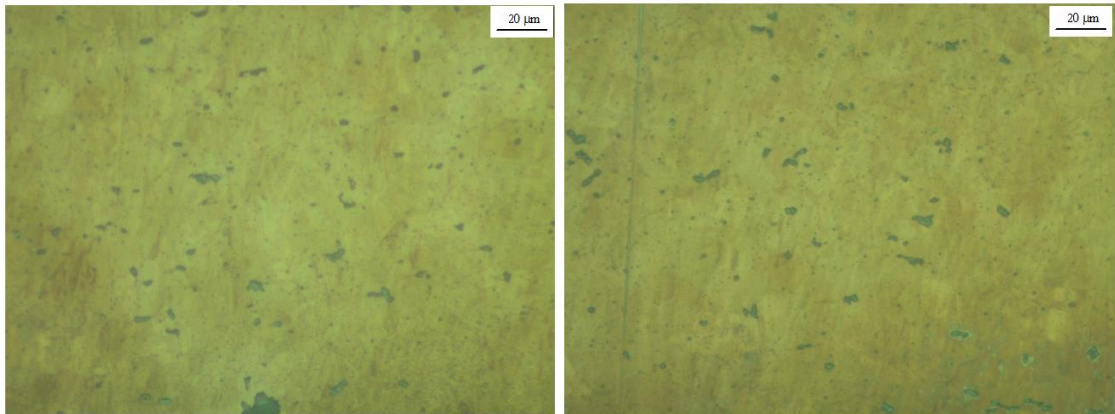
A további négy tárgy is a réz-szulfid zárványok méretének és mennyiségének hasonló eltéréseit mutatja. A fentiek révén két készítőtechnikai, és azokon belül két-két nyersanyagcsoport azonosítható:

- 1) öntött,
- 2) öntés után megmunkált, hőkezelt,
 - a) nagy réz-szulfid tartalmú, és
 - b) kis réz-szulfid tartalmú nyersanyagból

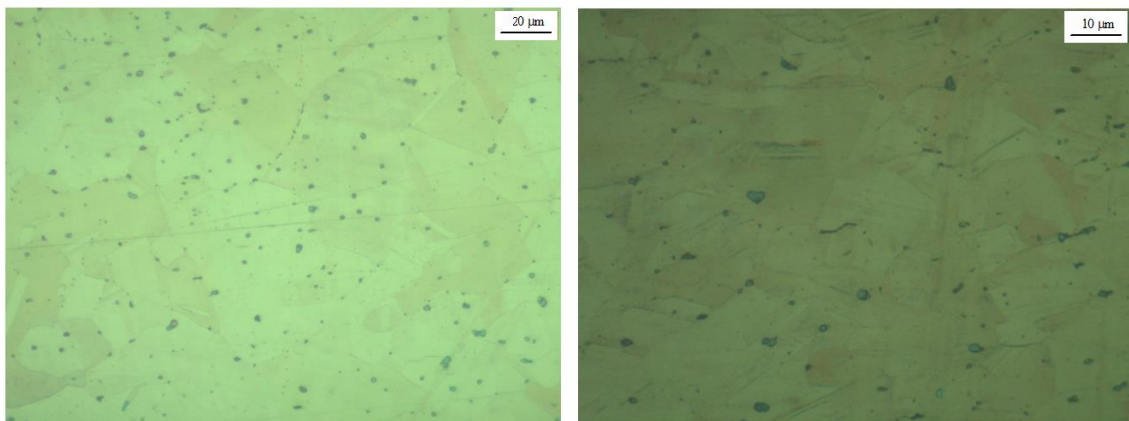
készült tárgyak.

1a: 2010.2.1.59; 1b: 2010.2.1.39;

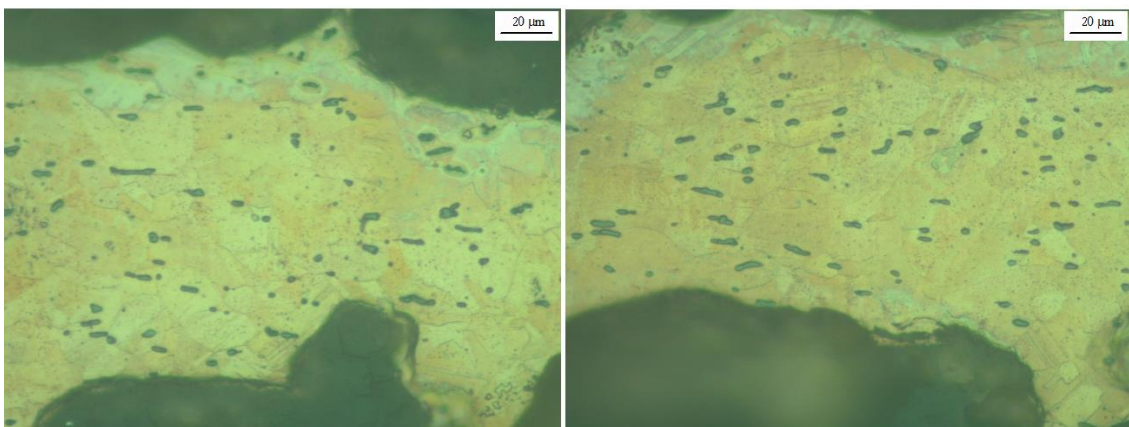
2a: 2010.2.1.27, 48, 78; 2b. 2010.2.1.21, 61, 71.



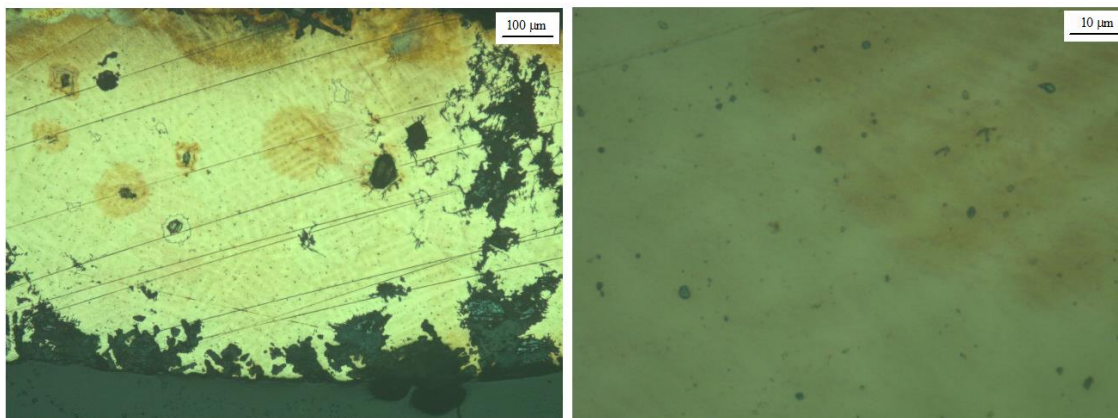
13. ábra. A 2010.2.1.21. minta mikroszerkezete vas-kloridos maratás után.



14. ábra. A 2010.2.1.27. minta mikroszerkezete vas-kloridos maratás után.



15. ábra. A 2010.2.1.48. minta mikroszerkezete vas-kloridos maratás után.



16. ábra. A 2010.2.1.71. minta mikroszerkezete vas-kloridos maratás után.

Kovácsolási kísérlet

Az archeometallurgiai szakirodalom eddigi adatai szerint a melegen megmunkált/kovácsolt bronz ötvözetek és a hidegen megmunkált, majd hőkezelt (lágýtott) bronz ötvözetek között mikroszkópi vizsgálattal nem tudunk különbséget tenni (Scott 1991; Kienlin 2008, Fig. 15; Kienlin 2010, 31, 44, Fig. 3.21; Szabó 2013, 118). Melegalakításnál azonban nagyméretű újrakristályosodott szemcséknek kell keletkezniük (Pásztor–Szepessy–Kékesi 1990). Ennek igazolására kísérleti megmunkálási/kovácsolási vizsgálatot is végeztünk. CuSn₆ kereskedelmi bronz ötvözetből 80x80mm-es lapokat vágunk ki, a lapok vastagsága 15mm-es volt. Az így elkészült lapokat különböző hőmérsékleteken (750°C, 800°C, 850°C, 900°C, 950°C) 7,5 mm-esre munkáltuk meg több ütéssel. A 950°C-os mintában a dúsulások miatt helyi megolvadások keletkezhetnek, mert az első ütésre apró darabokra hullott szét. A többi mintát sikerült megmunkálni/kovácsolni, és metallográfiai vizsgálathoz előkészíteni a leletek előkészítésénél leírt módon. A mikroszerkezetet azonban nem lehetett vizsgálni optikai mikroszkópon, mert olyan nagyok lettek a szemcsék, hogy szabad szemmel láthatóvá váltak. Sztereomikroszkóppal 8x-os nagyítást beállítva készítettünk felvételeket (17. ábra). Mivel hasonló mikroszerkezettel nem talákoztunk a zalaszabari tárgyak vizsgálata során, így véleményünk szerint a bemutatott bronzkori ékszereket nem melegen munkálták meg.

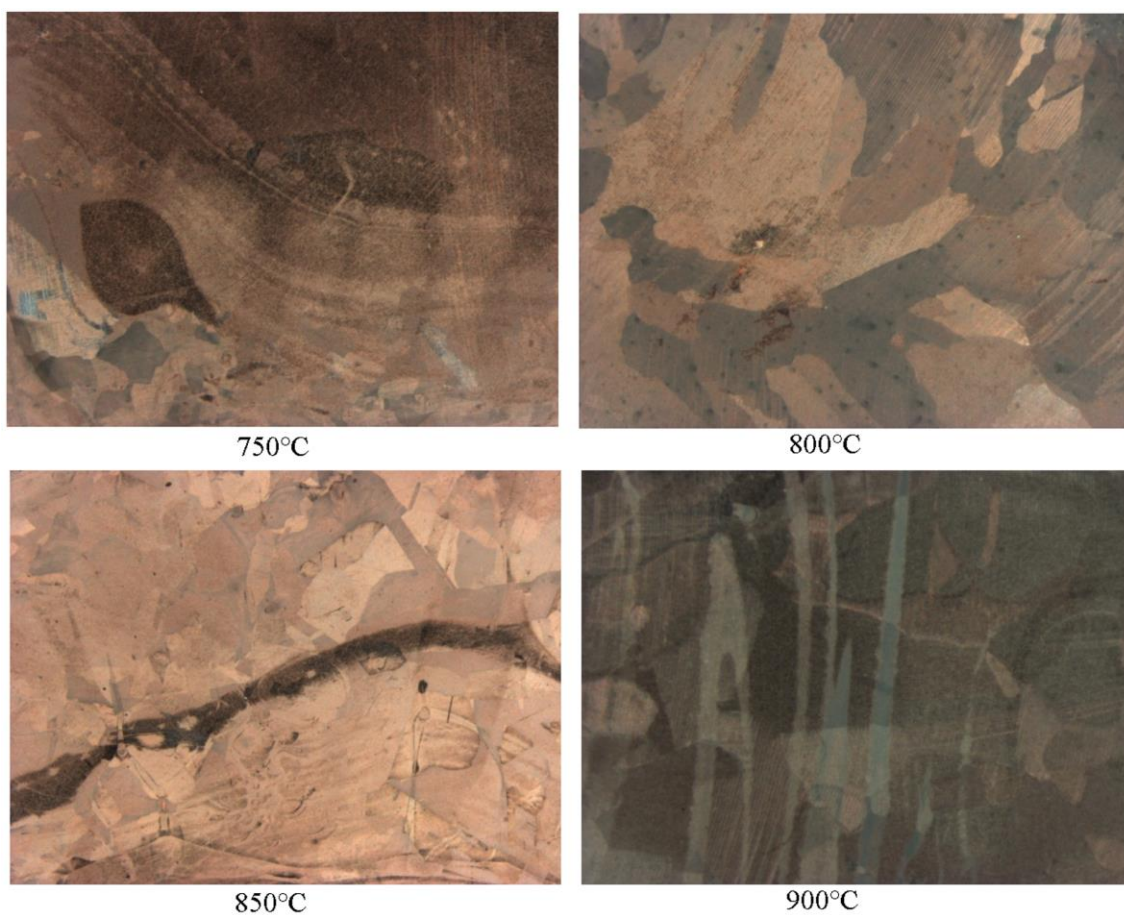
Az eredmények értékelése

A nyersanyagban megfigyelt különbségek arra utalnak, hogy a kincs tárgyainak zöme nem egyszerűen készült. Néhány tárgynál azonban az elemösszetétel és a forma azonossága alapján (pl. négy korongcsüngő esetében: vö. Kiss 2012, 2. ábra) valószínűsíthető, hogy egyazon munkafolyamat során, azonos nyersanyagból készültek (3. ábra). A szulfidérces eredetet mindenek előtt a szövetszerkezeti képeken nagyobb mennyiségben látható szulfid-zárványok bizonyítják (2010.2.1. 27, 48). A nyersanyag az arzén, az ezüst és az antimon kissé magasabb aránya miatt fakóérces érctelepről származhat, ahol – amint azt a 2010.2.1.71-es tárgy magasabb vastartalma mutatja – kalkopirités ércek is lehettek (Czajlik 2012, 41). A nyersanyag pontosabb azonosításához vezető utat további ásványtani, fázisösszetétel, és izotópgeokémiai vizsgálatok jelölhetik ki.

A zalaszabari kincs metallurgiai és metallográfiai elemzése fontos adatokkal szolgál a készítőtechnika megismeréséhez. Az eredmények azt igazolják, hogy a tárgyak közül néhány öntéssel készült, míg másoknál az öntést követő utólagos megmunkálás és hőkezelés/hőhatás mutatható ki. Az öntés utáni megmunkálás a legtöbb esetben az ékszerek rögzítésére–felvarrására szolgáló függesztőfülek kialakítását szolgálta az alapanyag elnyújtásával és hajlításával, emellett az esetleges öntési sorják eltüntetését is célozta. Minél nagyobb a bronzok ötvözőanyag-tartalma, a lemezalakítási műveletek végrehajtása annál nehezebb

hőkezelés nélkül. Ebből következően az alakított tárgyknál a műveleti sorrend a következő lehetett: öntést követő hőkezelés, majd a kívánt megmunkálás kalapálással. Az archeometallurgiai szakirodalomban több alkalommal megfigyelték, hogy a megmunkált tárgyak ezután újabb hőkezelést kaptak fesztelenítés/lágyítás céljából. Hasonló, öntés utáni megmunkálást és hőkezelést mutat egy velemi díszített karika és mellette számos más tárgy szövetszerkezeti képe (Szabó 1999, 331, 335, 1. kép 2; Kienlin 2010, Fig. A1-15). A zalaszabari kincsben két tárgy (a lemezből csavart

cső-gyöngy és a lemezesfejű tű: 2010.2.1.71, 78) esetében az öntött tárgyakénál alacsonyabb értéket mutató keménység azonban nem lágyításra, hanem inkább a tárgy másodlagos égésére utalhat. További problémát jelent, hogy a végső hőkezelés/hőhatás a zalaszabari tárgyak esetében eltüntette az alakítás (a kalapálással elnyújtott szövetszerkezet) nyomát, illetve ez a szövetszerkezeti vizsgálat helyén nem volt kimutatható. Mindezek pontos értelmezése a későbbi kutatások feladata lesz.



17. ábra. A melegen kovácsolt CuSn₆ minta mikroszerkezete 8x-os nagyításban.

Köszönetnyilvánítás

A zalaszabari tárgyak elemösszetétel adatai felhasználásának lehetőségéért az Ernst Pernicka és Tobias L. Kienlin vezetésével folyó tübingeni kutatási programnak tartozunk köszönettel. A tanulmányunk kéziratához fűzött hasznos megjegyzésekért köszönet illeti Czajlik Zoltánt és Szabó Gézát is.

Felhasznált irodalom

- Bóna, I. 1958. Chronologie der Hortfunde vom Koszider-Typus. *Acta Archaeologica Scientiarum Hungaricae* 9, 211–243.
- Czajlik Z. 2012. A Kárpát-medence fémnyersanyag-forgalma a későbronzkorban és a vas korban. *Talentum Könyvek, ELTE Bölcsészettudományi Kar*. Budapest.
- Honti, Sz., Kiss, V. 2000. Neuere Angaben zur Bewertung der Hortfunde vom Typ Tolnanemedi. *Acta Archaeologica Scientiarum Hungaricae* 51, 71–96.
- Honti, Sz., Kiss, V. 2013. Bronze hoard from Zalasabár. New data on the study of the Tolnanemedi horizon – Part 2. In: Anders, A., Kulcsár, G. with Kalla, G., Kiss, V., V. Szabó, G. (eds.): *Moments in Time. Papers Presented to Pál Raczky on his 60th Birthday. Ősrégészeti Tanulmányok/Prehistoric Studies I*. Budapest, 739–755.
- Höppner, B. Bartelheim, M., Huijsmans, M., Krauss, R., Martinek, K. P., Pernicka, E. & Schwab, E. 2005. Prehistoric copper production in the Inn Valley (Austria), and the earliest copper in Central Europe. *Archaeometry* 47, 293–315.
- Kienlin, T. L. 2008. Früheres Metall im nordalpinen Raum. Eine Untersuchung zu technologischen und kognitiven Aspekten früher Metallurgie anhand der Gefüge frühbronzezeitlicher Beile. *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* 162. Bonn.
- Kienlin, T. L. 2010. Traditions and Transformations: Approaches to Eneolithic (Copper Age) and Bronze Age Metalworking and Society in Eastern Central Europe and the Carpathian Basin. *BAR International Series* 2184. Oxford.
- Kienlin, T. L. 2013. Copper and Bronze: Bronze Age Metalworking in Context. In: Fokkens, H. & Harding, A. (eds.), *The Oxford Handbook of the European Bronze Age*. Oxford Handbooks in Archaeology. Oxford.
- Kiss, V. 2009a. The Life Cycle of Middle Bronze Age Bronze Artefacts from the Western Part of the Carpathian Basin. In: Kienlin, T. L. & Roberts, B. (Eds.) *Metals and Societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway*. *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* 169. Bonn, 328–335.
- Kiss, V. 2009b. A fém nyersanyag-felhasználás kérdései a Dunántúl kora és középső bronzkorában – Questions of the use of metal as raw material in the Early and Middle Bronze Age of Transdanubia. In: Ilon G. (Szerk.) *ΜΩΜΟΣ VI. Őskoros Kutatók VI. Összejövedele. Nyersanyagok és kereskedelem*. Szombathely, 197–212.
- Kiss V. 2012. Arany, réz és bronztárgyak kutatása a középső bronzkorig. Az archeometallurgia aktuális kérdései – The study of gold, copper and bronze artefacts until the Middle Bronze Age. *Current questions of archaeometallurgy*. *Archeometriai Műhely* 9, 61–74.
- Kovács, T. 1986. Ein Beitrag zur Untersuchung der bronzezeitlichen Verbindungen zwischen Sudtransdanubien und der unteren Donaugegend. *Folia Archaeologica* 37, 99–115.
- Krause, R. 2003. Studien zur kupfer- und frühbronzezeitlichen Metallurgie zwischen Karpatenbecken und Ostsee. *Vorgeschichtliche Forschungen* 24. Rahden/Westfalen.
- Lutz, J., Pernicka, E. 1996. Energy dispersive X-ray analysis of ancient copper alloys: empirical values for precision and accuracy. *Archaeometry* 38, 313–323.
- Mozsolics, A. 1967. Bronzefunde des Karpatenbeckens. *Depotfundhorizonte von Hajdúsámson und Kosziderpadlás*. Budapest.
- Pásztor G., Szepessy A., Kékesi T. 1990. *Színesfémek metallurgiája*. Budapest.
- Reich, Ch. 2006. Das Gräberfeld von Szeremle und die Gruppen mit inkrustierter Keramik entlang mittlerer und unterer Donau. *Berliner Beiträge zur Vor- und Frühgeschichte* 13, 1–2. Berlin.

- Scott, D. A. 1991. *Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals*. Singapore.
- Szabó G. 1993. Fémmegmunkálási nyomok a Regöly-Veravár késő bronzkori leletegyüttes tárgyain. *Wosinsky Mór Múzeum Évkönyve* 18, 169–224.
- Szabó G. 1999. Adatok a velemi késő bronzkori ónbronzoak archaeometallurgiai vizsgálatához – Beiträge zu den archäometallurgischen Untersuchungen der spätbronzezeitlichen Zinnbronzen von Velem. *Savaria* 23/4, 329–357.
- Szabó G. 2013. A dunántúli urnamezős kultúra fémművessége az archaeometallurgiai vizsgálatok tükrében – The metallurgy of the Transdanubian Urnfield Culture in light of archaeometallurgical investigations. *Specimina Electronica Antiquitatis – Libri 1*, Pécs.
http://okor.tti.btk.pte.hu/files/tiny_mce/SEA-L/SEA-L_1_GSzabo_archaeometallurgy.pdf
- Szabó G., Hajdu T. 2011. A mészbetétes edények díszítésének szimbolikája a bonyhádi vegyes rítusú bronzkori temető embertani leleteinek feldolgozása tükrében – Symbolism of the ornaments of encrusted pottery in the light of anthropological finds from the Bronze Age mixed-rite cemetery at Bonyhád. *Anthropologiai Közlemények* 52, 85–108.