

ŐSKORI RÉZ ÉS BRONZ LELETEK METALLOGRÁFIAI ÉS METALLURGIAI VIZSGÁLATA

METALLOGRAPHICAL AND METALLURGICAL INVESTIGATION OF PREHISTORIC COPPER AND BRONZE FINDS

BARKÓCZY PÉTER¹; KOVÁCS ÁRPÁD¹; P. FISCHL KLÁRA²

¹Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, Anyagtudományi Intézet

²Miskolci Egyetem, BTK, Történettudományi Intézet, Őstörténeti és Régészeti Tanszék

E-mail: peter.barkoczy@gmail.com, femkov@uni-miskolc.hu, flklari@gmail.com

Abstract

Examination of three findings (a hammer axe from the Copper Age, a bracelet, and a disc-butted axe from the Bronze Age) was performed by the Research Group on Archeometallurgy of University of Miskolc. This research group is stated by the Department of Prehistory and Archaeology and the Faculty of Materials Engineering of University of Miskolc. The chemical composition, the phase constituents and the microstructure of the findings was examined.

Beyond the common analysis of chemical composition features of the microstructure was examined, and data from the production process were collected (metallurgical processes, casting, cold and hot deformation).

It was stated that the bracelet is produced by casting; the hammer axe and the disc-butted axe give plastic deformation, probably hammering, after casting. Not only the annealed and hammered microstructure but the casted primer microstructures were analyzed by application of different etching techniques. The chemical compositions and structures of inclusions were analyzed by SEM and XRD techniques. The amount, shape and ordering was examined of the inclusion on micrographs.

The afore mentioned results gives a detailed study of producing process of the findings which was compared with the recent data of archeometallurgical research.

Kivonat

A Miskolci Egyetem Őstörténeti és Régészeti tanszéke és a Műszaki Anyagtudományi Kar Anyagtudományi Intézete (Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoport) közös vizsgálati projektjének a bevezető lépéseként 3 régészeti tárgyon (rézkori kalapácsbalta, bronzkori kardisz és nyakkorongos csákány) végeztünk összetétel elemzést, fázisanalízist és metallográfiai vizsgálatot.

Vizsgálatainkban az összetételen túlmenően a mikroszerkezeti jellemzőket is meghatároztunk és a gyártási eljárásra utaló adatokat is gyűjtöttünk (kohósítási, öntési és utólagos meleg- illetve hidegmegmunkálási eljárások).

Megállapítottuk, hogy a kardisz öntéssel készült, a kalapácsbalta és a nyakkorongos csákány öntés után egészében vagy részlegesen megmunkálást is kapott. Különböző maratótechnikákkal vizsgáltuk a mikroszerkezetet, így nem csak a látható kovácsolt mikroszerkezetet, hanem az öntött primer szövetszerkezetet is sikerült vizsgálnunk. Páztázó elektronmikroszkóppal és röntgendiffrakciós vizsgálattal elemeztük a zárványok összetételét és szerkezetét. Mikroszkópi felvételeken elemeztük a zárványok mennyiségét elhelyezkedését és alakját.

A fenti eredmények alapján az összetétel elemzésén túlmenően részletes képet kaptunk a leletek gyártástechnológiájából, amit a korszerű szakirodalmi adatokkal és elméleti megfontolásokkal összevetettünk.

KEYWORDS: COPPER AGE, BRONZE AGE, COMPOSITION ANALYSIS, METALLOGRAPHY

KULCSSZAVAK: RÉZKOR, BRONZKOR, ELEMÖSSZETÉTEL, METALLOGRÁFIA

Bevezetés

A Miskolci Egyetem Őstörténeti és Régészeti tanszéke és a Műszaki Anyagtudományi Kar Anyagtudományi Intézete (Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoport) közös vizsgálati projektjének a bevezető lépéseként 3 régészeti tárgyon (**1. ábra**, részletes leírásukat lásd lejjebb)

összetétel elemzést, fázisanalízist és metallográfiai vizsgálatokat végzett. A vizsgálatokhoz kiválasztott tárgyak különböző régészeti korszakokba sorolhatók. Ezzel a vizsgálatssorozattal kívántuk kialakítani a két tanszék közös munkájának módszertanát, összehangolni a résztvevő kollégák gondolkodásmódját és átgondolni a közös kérdésfeltevés lehetőségeit. Az itt bemutatott

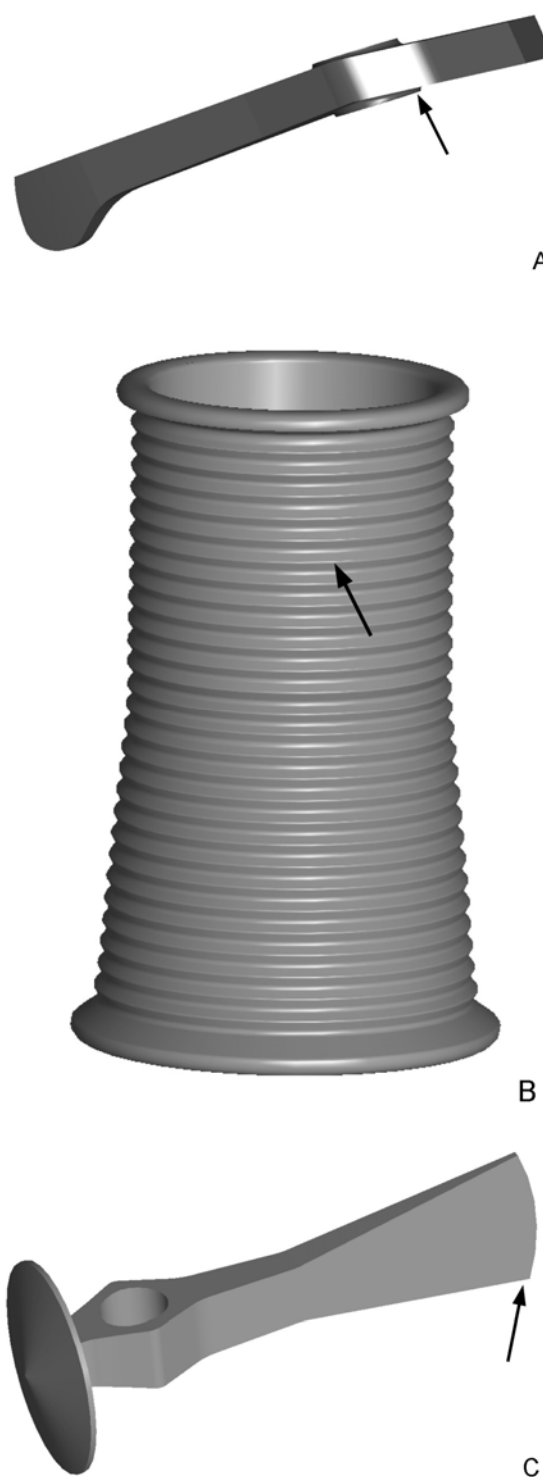
eredmények és nagyobb részt kérdésfelvetések egy nagyobb vizsgálati széria előkészítését képezik.

A tárgyakat a Herman Ottó Múzeum bocsájtotta a vizsgálatok céljára rendelkezésünkre.

A vizsgált tárgyak

Az első tárgy egy középső rézkori kalapácsbalta (**1a ábra**, HOM Ltsz.: 53.335.1). Közelebbi lelőhelye ismeretlen, biztosan csak annyit tudunk, hogy Borsod megyéből származik. Patay Pál feldolgozása szerint a Székely-Nádudvar típusú kalapácsbalta Monostorpályi variánsa (Patay 1984, 52, Taf. 19/235). Oldalnézetben a test a nyéllyuknál íves, a csákánykar ívelt és a körív alakú penge előtt kiszélesedik, az átmetszet erősen legömbölyített. A kalapácsrészen használat nyoma figyelhető meg. A nyéllyuk alsó részénél karima található. Szoros kapcsolatot mutat a jászladányi típusú ellentett élű rézcsákányokkal (Patay 1984, 51, 54–55), datálása javarészkori (4000–3600 BC).

A második vizsgálat alá vont tárgyunk a borsodgeszti kardíspár egyik darabja (**1b ábra**, HOM Ltsz.: 53.646.2; Bóna 1958, Mozsolics 1967, 131, Taf. 1.9–10). Az öntött, felfelé keskenyedő végű karperecek kívül bordázottak, felülettük belül sima. „Minden második (néha harmadik vagy ötödik) bordát függőleges bevagdosással hangsúlyoztak, ezzel enyhítve a felület egyhangúságát. A csövek két végén a bordák duzzadt peremmé alakítva zárják le a díszítést és az ékszert. A csőkarpereceket lapos öntőmintába öntötték ki, majd az egyenes lemezt hengeralakban összehajtva, végeit összeforrasztották” írja már az első publikálás alkalmával Bóna István (Bóna 1958). Három hasonló, de nem teljesen azonos darabot ismerünk az Északi-középhegység területéről. A nógrádmarcali 2 kardísból egy zárt, egy nyitott végű. A harmadik darab ismeretlen lelőhelyű, szintén nyitott végű. Utóbbi a borsodgesztihez hasonlóan a Herman Ottó Múzeum gyűjteményében található, vagyis feltehetően a megyéből származik (Koós 1989). A tárgytípussal foglalkozó irodalom az említett magyarországi kardíszeket az aunjetitzi kultúra karékszereihez kapcsolja és az Odera és Elba vidéki kapcsolatokat hangsúlyozzák. Bóna István az aunjetitzi kultúra import készítményeinek tartja őket (Bóna 1958, 42). Koós Judit – bár felveti a hazai készítés lehetőségét, mint munkahipotézist – szintén importtárgyként értékeli az ismeretlen lelőhelyű darabot (Koós 1989, 435). Ezt a véleményt foglalja össze Jozef Batora is az aunjetitzi bronzok keleti határzónájának vizsgálatakor (Batora 2001, 267, Abb. 9). A karékszerek hazai megjelenését a hatvani kultúra időszakához kötik.



1. ábra: A vizsgált leletek: 53.335.1 kalapácsbalta (a), 53.646.2 kardísz (b), 53.637.1 balta (c).

Fig. 1.: The examined finds: hammer-axe 53.335.1 (a), bracelet 53.646.2 (b) and pick 53.637.1. (c).

Martin Bartelheim a csehországi aunjetitzi kultúra tárgytypusainak vizsgálatakor a kardíszeket két nagy csoportra bontja (Bartelheim 1998, 84, Taf. 173). A feltehetően idősebb, poncolt és bekarcolt díszű, ún. boroticei típus a morva területekre jellemző. Általában ónszegény rézlemezéből készül. Az öntött, bordázott, de nyitott végű csehországi darabok nyersanyaga már ónbronoz.

Az öntött, bordázott darabok R. Krause szerint az aunjetitzi kultúra északi területéről (észak Csehország és közép Németország) származnak, ezek azonban nyitott végűek. Két zárt, öntött, bordázott karperecet említ, az egyiket Darmstadtból, a másikat Weil im Schönbuchból (Krause 2003, 178–182, Abb. 158–159). Mindkét tárgy kísérőlelet nélküli, ezért egytagú depóleletként értékelhetjük őket (*Einzeldeponierung*). E két karperec tekinthető a borsodgesszi karperecpár legjobb párhuzamának a korábbi kutatók által említett darabok mellett (Bóna 1958, 41; Koós 1989, 27–28). Míg a nyitott, öntött aunjetitzi példányok réztípusa fakóérc (*klassische Ösenringkupfer*), addig a két zárt, említett kardísz összetétele nem ismert. R. Krause feltételezi, hogy azok helyi, délnémet műhelyekben készültek aunjetitzi előképek nyomán és összetételükben feltehetően más rézfajták találhatók (Krause 2003, 182).

Az öntött, bordázott karpereceket az aunjetitzi kultúra (Kr. e. 2300–1600) időszakán belül a fiatalabb horizontba sorolhatjuk (Kre. e. 1800–1600). Ennek alapján a Kárpát-medencében előkerült példányokat – származási helytől függően – mind a fiatalabb hatvani kultúra mind a füzesabonyi kultúra importjaiként vagy helyi utánzataiként értékelhetjük.

A harmadik tárgy a szendrőládi lelőhelyű (**1c ábra**, HOM Ltsz.: 53.637.1) nyakkorongos csákány, mely a nyakkorongos csákányok A1-es, hajdúsámsoni variánsához tartozik (Kemenczei 1966, 7–11, Abb. 3–4; Mozsolics 1967, 33, 35, 36, 158, Taf. 22.1; David 2002, 82, 265, 417, 472). Legjobb párhuzamai, a hajdúsámsoni és a szeghalmi darabok a hajdúsámsoni kincshorizont legkorábbi leletei között jelölik ki a helyét (Kr. e. 1800–1600). A pengén található díszítés záró variánsa párhuzam nélküli.

A hajdúsámsoni kincshorizont tárgytypusait (rövid kardok, nyakkorongos csákányok, nyélcsöves csákányok) helyi, Felső-Tisza vidéki–erdélyi innovációnak és gyártmánynak tarthatjuk. A feltehetően nem egy műhelyben készült, de azonos típusú és hasonló díszítésű, stílusú tárgyak korai, gazdagon díszített csoportja a korabeli társadalom presztízstárgyaiként értékelhető. A hajdúsámsoni kincsek nyersanyagának beszerzési helyéül csak általánosságban az Erdélyi- és a Szlovák érchegység területeit tudjuk megnevezni. Nem

ismert a forma kőből készült öntőmintája. Ilon Gábor öntőmintakatalógusa szerint egy öntőminta töredéke sorolható kérdőjelesen ehhez a típushoz (ezen belül is a B variánsához) Bárcáról (Ilon 2006, 277). Horváth Tünde említ szintén B típusú nyakkorongos csákányokhoz tartozó öntőmintákat (Horváth 2004a, 46; Horváth 2004b, 110, 119) melyek az eredeti publikációban található méretarányok alapján nem sorolhatók a nyakkorongos csákányokhoz (Bartik 1999, 187, Abb. 4.1a–b; Batora 2009, Fig 18.2, Fig. 20.5).

Mintavétel és vizsgálati módszer leírása

A mikroszerkezeti- és fázisösszetétel vizsgálatokhoz a mintavételi eljárás roncsolásos módszerrel történt. Mindegyik leletből egy 1–2 gramm tömegű mintát vágunk ki. A mintavétel helyének megállapításakor két alapvető szempontot vettünk figyelembe. Egyrészt a tárgyak műtárgy jellegét, esztétikai értékét és későbbi kiállíthatóságát, másrészt az elsődlegesen megfogalmazott kérdéseinkre keresett válaszokhoz legalkalmasabb felületeket. Így a rézkori kalapácsbalta esetében a nyéllyuk alsó, peremes részéből vettük a mintát. Egyrészt itt érte a baltát a legkevesebb beavatkozás használat közben, másrészt ez esetben kérdéses volt a nyéllyuk (öntés során öntőmaggal vagy utólagos eljárással készült-e) és ezen keresztül a tárgy kialakításának a módszere.

A kardísz esetében a tárgy egy helyen, az öntvény közepében sérült volt. Így itt a mintavétel helyét ez határozta meg.

A nyakkorongos csákánynál a szintén a már sérült élrész sarkából vágunk mintát az **1c ábrán** megjelölt helyen. A tárgy e helyen már sérült volt, a minimális mintavételi lehetőség miatt az innen vett mintából nyerhettük a darabra vonatkozó legtöbb nem felületi információt. Az így nyerhető ismeretek nem vetíthetők teljes egészében a tárgy készítési eljárására, az eredmények értékelésekor figyelembe vettük, hogy a tárgy jellege presztízsz funkciót sugall.

Mivel a vizsgálatok nem felületi vizsgálati módszerrel történtek a felület közeli óndúsulás hibalehetőségét kizárhatjuk a vizsgálatok esetében (Szabó 2010, Porter & Easertling 1996).

A mintákat műgyantába ágyaztuk úgy, hogy az egyik vágott felületet tudjuk vizsgálni. A leletek restaurálására korábban sor került. A restaurálási folyamat során olyan vegyszermaradványok kerülnek a felületre, amelyek zavarják az alkalmazott elemanalitikai eljárást, ezért a lelet belső összetételét reprezentáló felületet vizsgáltuk.

A minták mikroszerkezetét optikai mikroszkópi technikával vizsgáltuk. A mintát polírozás után sósav és vas-klorid elegyében marattuk. A primer szövet kimutatására ammónium-kloriddal történő

maratást alkalmaztunk (ASM International 2004). A felvételeket Zeiss AxioImager mikroszkóppal készítettük. Az előkészített minták átlagos és lokális összetétel elemzését AMRAY 1830I energiadiszipatív mikroszondával felszerelt pásztázó elektron-mikroszkóppal (SEM-EDX) végeztük el a Miskolci Egyetem LISA (www.matsci.uni-miskolc.hu) laboratóriumaiban. Az EDX analízisnél ultravékony berillium ablakot alkalmaztunk, azaz az oxigén és annál nagyobb tömegszámú elemeket tudjuk kimutatni. Az analízisnél az összes olyan elem mennyiségét vizsgáltuk, mint a lelet összetételét, amelyet a berendezés számottevő mennyiségben kimutatott. A berendezések kalibrációja a gyártó által előírt etalonokkal és módon történt.

Eredmények

Összetétel elemzés:

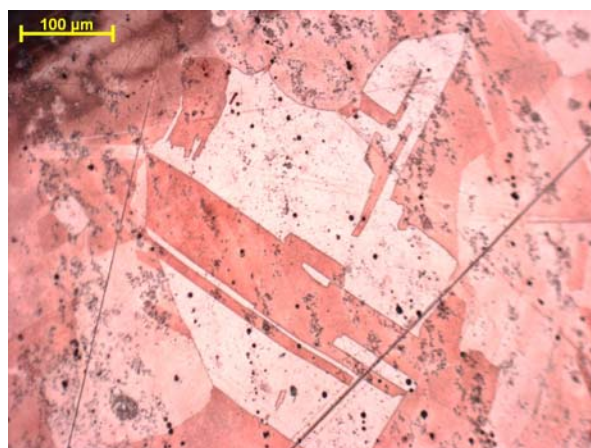
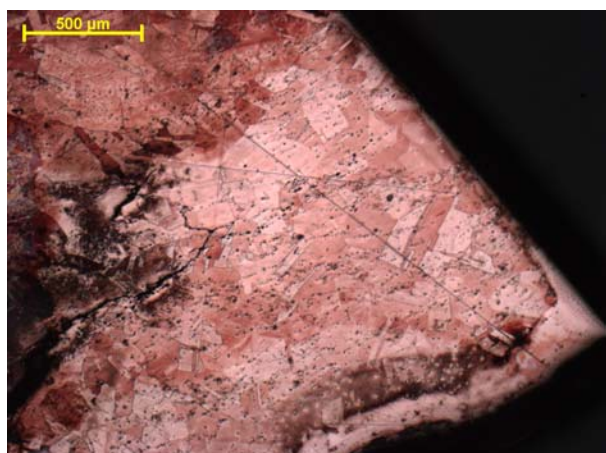
A kiválasztott tárgyak mindegyikéről készült összetétel elemzés a SAM projekt keretében OES módszerrel (Krause 2003, ANR 12963, 12970, 12979). Ez a vizsgálat a tárgy felületéről vett mintában zajlott, ahol a korrózió és a restaurálási eljárás által szennyezett volt a lelet.

Jelen vizsgálat célja elsősorban nem átlagos elemösszetétel-elemzés volt, mégis érdekesnek tartjuk bemutatni a SAM projekt által mért adatok összehasonlítását a jelen mérés eredményeivel (**1. táblázat**).

1. táblázat: A vizsgált tárgyak elemösszetételének összevetése a korábbi elemzéssel

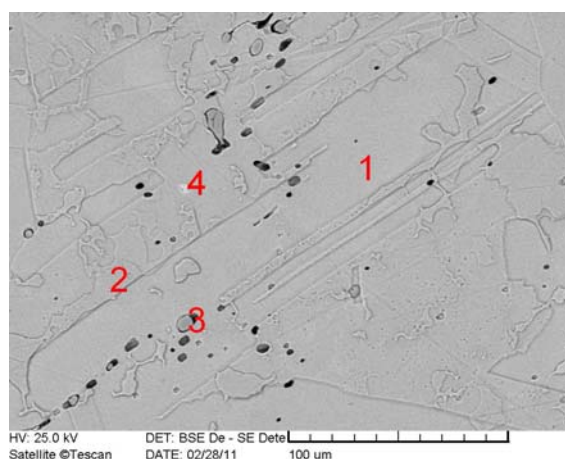
Table 1.: The chemical composition of the examined objects and the results of the earlier analysis

lelet	mérés	Sn (%)	Sb (%)	Ag (%)	Ni (%)	As (%)	Bi (%)	Pb (%)
53.335.1	SAM	–	0,006	0,01	0,001	–	–	–
	LISA	–	0,49	0,31	–	–	–	–
53.646.2	SAM	2,5	2,8	0,03	0,58	0,19	–	–
	LISA	3,39	2,81	0,53	1,6	–	–	–
53.637.1	SAM	5	0,1	0,09	0,5	0,72	0,006	0,01
	LISA	6,07	–	0,46	0,94	1,17	–	–



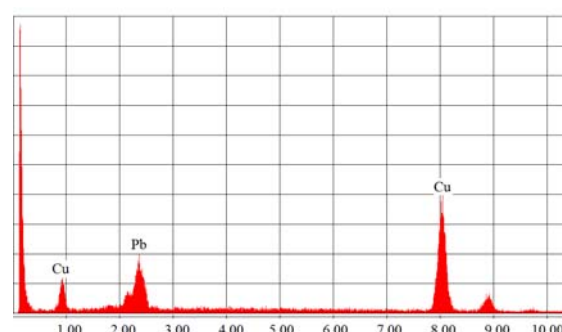
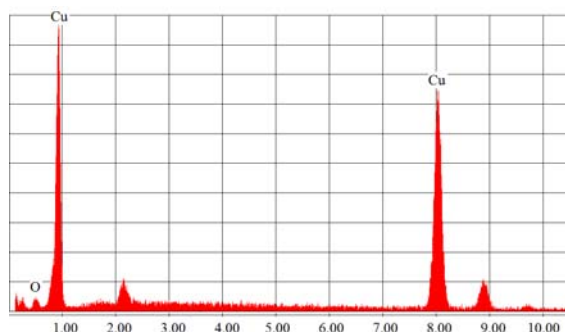
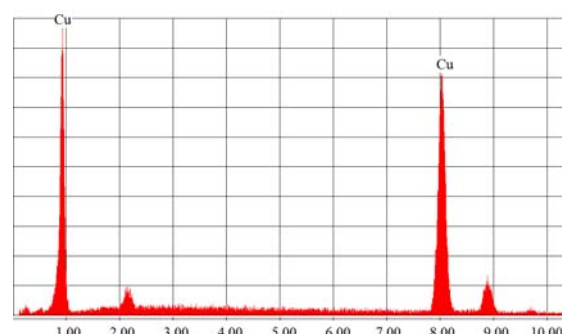
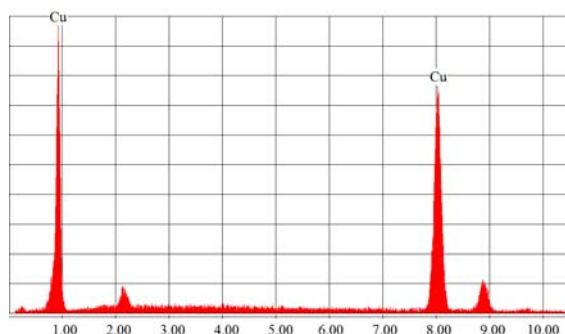
2. ábra: A kalapácsbalta mikroszerkezete

Fig. 2.: The microstructure of the hammer axe



3. ábra: A kalapácsbaltá mikroszerkezetének pásztázó elektronmikroszkópi vizsgálata. A mikroszerkezetről készített visszaszórt elektron kép (a), (b)–(e) rendre az 1–4 pontok lokális elemzésének spektrumai.

Fig. 3.: The SEM-EDX analysis of the microstructure of hammer axe. A backscattered electron image of the microstructure (a), and the energy spectrum of the local analysis of the points 1-4 in order (b)-(e).



Mikroszerkezeti vizsgálatok eredményei:

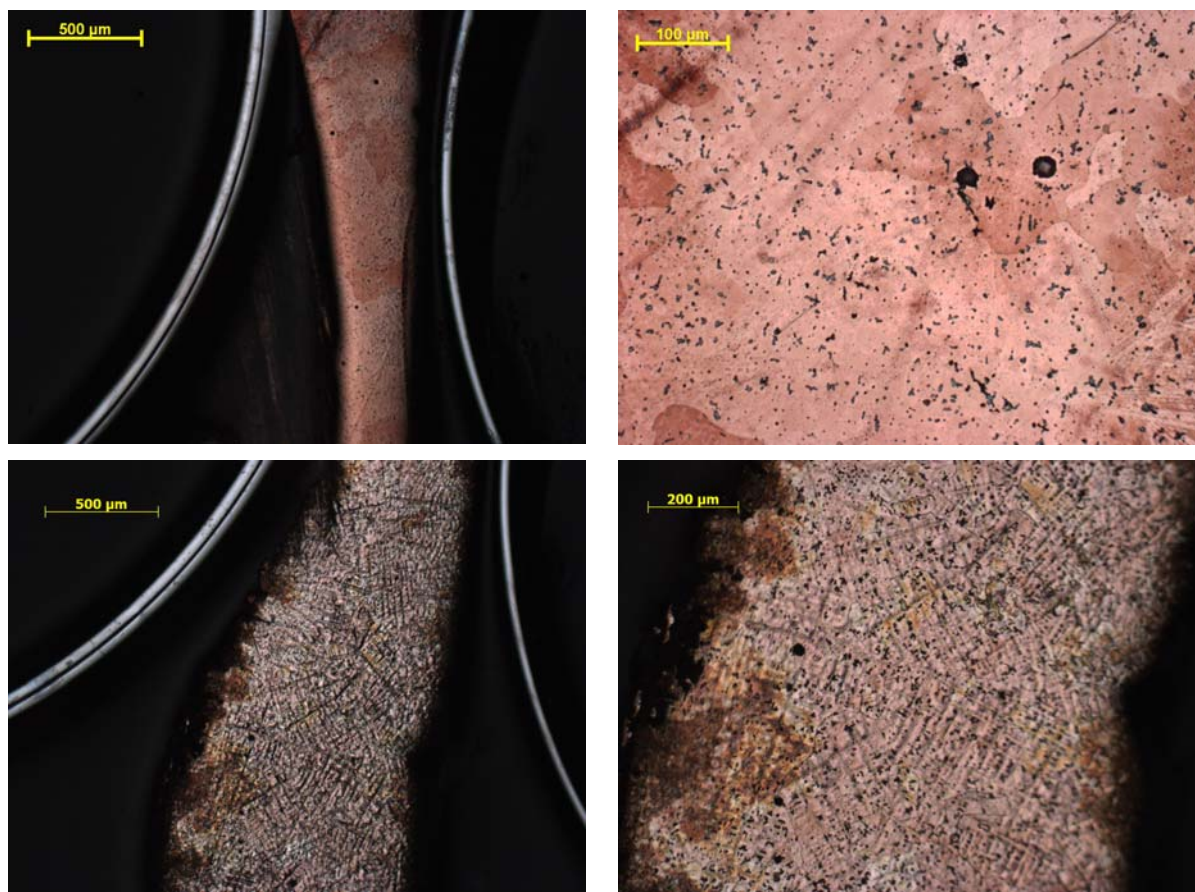
A 2. ábrán a kalapácsbaltá mikroszerkezetét mutatjuk be. Nagyméretű (~100–200 µm) szemcsékből áll a mikroszerkezet, ami a lágyított rézre jellemző ikerhatárok szelnek át. Magas hőmérsékleten kovácsolt rézötvözetek szemcseszerkezetére jellemző ez a megjelenési forma (ASM International 1990d).

A szövetszerkezetben apró fekete zárványok láthatók. Ezek azonosítására elektronmikroszkópi vizsgálatot is végeztünk.

Az elektroszkópi vizsgálatok kimutatták, hogy az alapfémbe nincs jelen a réz mellett jelentős mennyiségű ötvöző. A kalapácsbaltát feltehetően termérszéből olvasztották össze. Az optikai mikroszkópi vizsgálatkor észlelt zárványok réz oxid zárványok (3d ábra spektrumában a réz vonalai mellett megjelenik az oxigén vonala is), amelyek az

olvasztási–öntési folyamat során kerülhettek a kalapácsbaltá anyagába. Nagyon kevés, magas ólomtartalmú zárvány ugyancsak található volt a mikroszerkezetben (3e ábra spektrumában a réz vonalai mellett megjelennek az ólom vonalai is). A kalapácsbaltá anyagának átlagos összetételét az 1. táblázatban közöljük.

A kardízból vett minták mikroszerkezetete a 4. ábrán látható. A primer szövet maratása felfedi az öntött szerkezetre jellemző dendriteket (ASM International 2004). Látható, hogy mind a szemcsék mérete, mind a dendritág távolság nagyon apró, ami az öntés után bekövetkező gyors hűtésre utal (ASM International 1990e). A kardízt öntéssel készítették, a gyors hűlést a minta csekély falvastagsága okozza. 4.d. ábrán ebben a szerkezetben is zárványok láthatók egyenletes eloszlásban, amelyeknek az alakja jelentősen eltér az előző lelet mikroszerkezetében látottól.



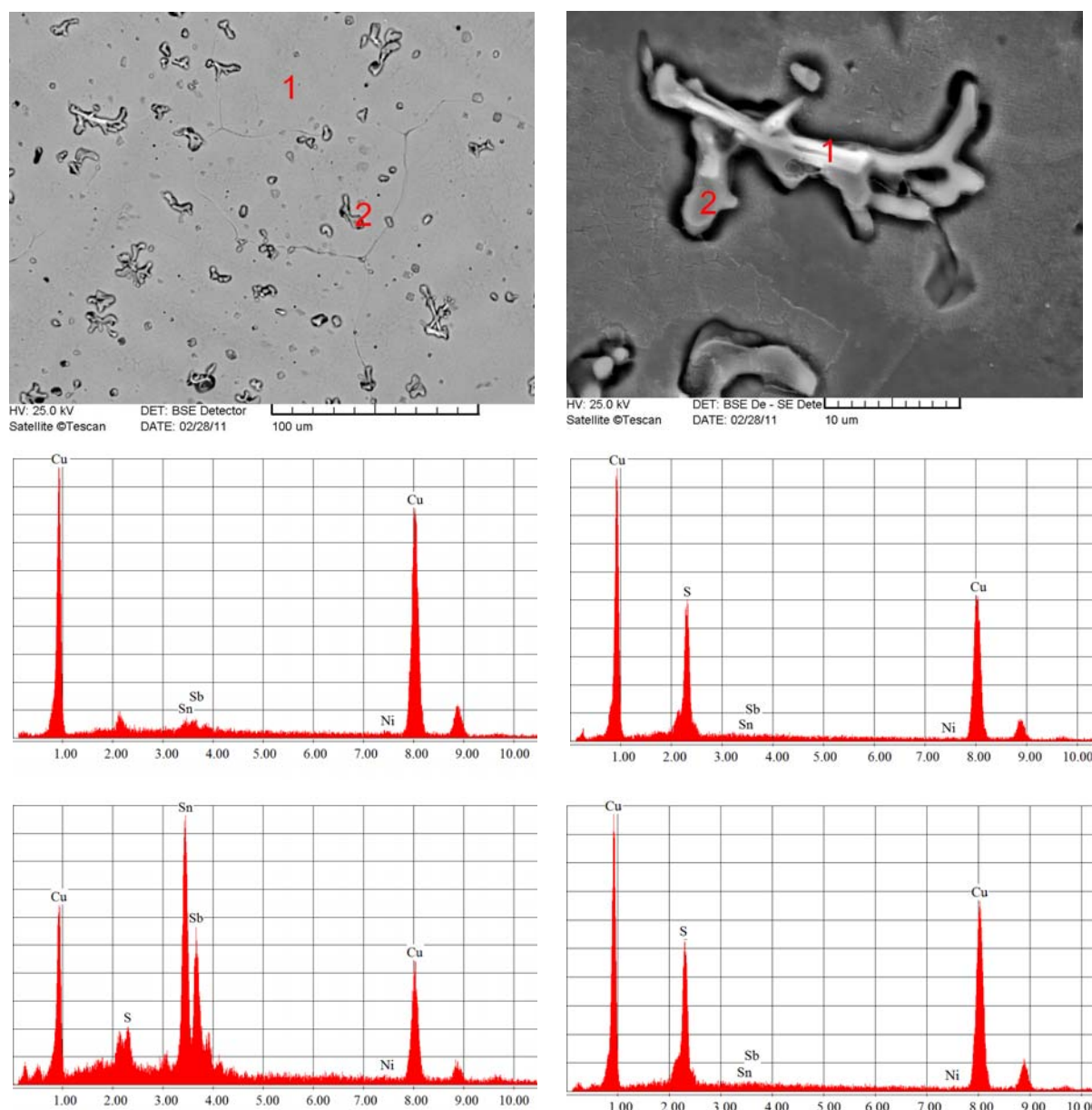
4. ábra: A kardisz mikroszerkezete. A sósav és vas-klorid elegyével történő maratás a szemcseszerkezetet fedti fel ((a) és (b) fotók), amíg az öntött szerkezetre jellemző dendritok az ammónium-kloridos maratással tehetők láthatóvá ((c) és (d) fotók).

Fig. 4.: The microstructure of the bracelet. The etching with the solution of HCl and FeCl₂ reveals the grain structure (a, b). The etching with ammonium-chloride shows the dendrites as in the casted microstructures (c, d).

Mind a mikroszerkezetet, mind a zárványokat részletesebben megvizsgáltuk pásztázó elektronmikroszkóppal (**5. ábra**). Az alapfém réz mellett ónt, antimon és nikkelt tartalmaz (**5b ábra**). A részletes összetételt az **1. táblázat**ban adjuk meg. A zárványok összetett alakúak, lekerekített kontúrokkal, ami alacsony olvadáspontú vegyületfázisra utal (ASM International 1990a, 1990b). A kristályosodás befejező fázisában keletkezhetett. Látható, hogy két jól elkülöníthető részre bomlik: a gerincre és a nyúlványokra. A nyúlványok leginkább réz-szulfidból állnak (**5f ábra**), a gerinc inkább az ón és az antimon kénnel alkotott vegyületeiből (**5e ábra**). Ezek azt mutatják, hogy az alapanyag a réz szulfidos érceiből kohósodott, amelyben az ón és az antimon kísérő ásvány formájában volt jelen (Davenport et al. 2002).

A nyakkorongos csákány mikroszerkezete mutatja a legösszetettebb képet (**6. ábra**). A szemcseszerkezeten látható, hogy nagyon apró ekvixiális

szemcsékből áll a szerkezet, amelyben bőven láthatunk iker határokat (**6b ábra**). Ez arra enged következtetni, hogy a balta képlékeny alakításon esett át, majd hőkezelték (Cotterill & Mould, 1982). Valószínűleg kovácsolás során vagy hidegen kovácsolták, vagy elhűlt a darab meleg kovácsolás közben, az utolsó lépés bizonyosan a darab hőmérsékletének megemelése volt (Verő & Káldor 1996). A primer szöveten (**6c** és **6d ábra**) látható, hogy az öntött szerkezet nagyon kis mértékű alakítást szenvedett. Ez nem következik a használatból (az élből vettük a mintát), mert a szemcseszerkezete újrakristályosodott jelleget mutat, ami arra enged következtetni, hogy a technológia folyamat során kapta az alakítást, majd a hőkezélést (Verhoeven 1975). A balta mikroszerkezetében is zárványok láthatók (**6b ábra**). A zárványok mérete és alakja eltér az eddig látottaktól, ezért pásztázó elektron-mikroszkópi vizsgálattal is megelemeztük. A zárványok eloszlása egyenletes.

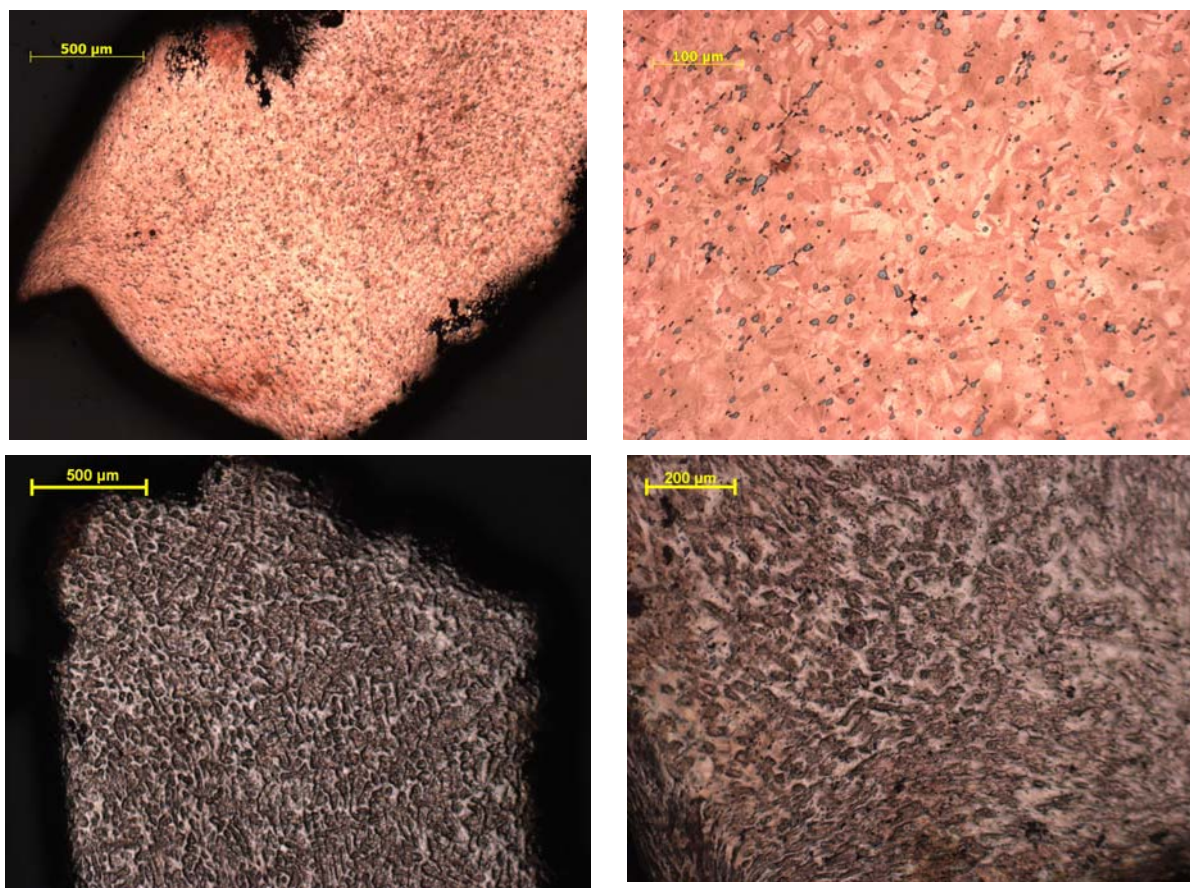


5. ábra: A kardísz mikroszerkezetének pásztázó elektron mikroszkópi elemzésének eredményei.

Fig. 5.: The results of the SEM-EDX analysis of the microstructure of bracelet

A pásztázó elektronmikroszkópi vizsgálatok feltárták, hogy az alapfém jelentős ón tartalmú és kevés nikkelt is tartalmaz (részletes összetételt az 1. táblázatban közlünk). A zárványokról kiderült, hogy réz-szulfid (**7. ábra**). Ez arra enged következtetni, hogy szulfidos ércből kohósították (Kékesi et al. 1990). Az alakja jelentősen eltér a kardísz esetén látott zárványok alakjától. A zárványok alakja gömbszerű. Az elszenvedett alakváltozás és az azt következő hőkezelés hatására gömbösödött be a zárvány, ami újabb bizonyítéka annak, hogy öntés után a baltát még külön hőkezelték (ASM International 1990c).

Ennek oka a balta felületén és a 6.a. ábrán látható. A balta felületét díszítés borítja, egy vésett minta, amely helyenként már lepattogzott. A balta élét mindenképpen kovácsolták. A minta alapja egy kalapácsolt réteg, amely művelettel felkeményítették a felületet, hogy pontosabban ki tudják alakítani a mintát. Ez a művelet nem eredményes a kovácsolt élen, csak ha előtte kilágyították. A kalapácsolás nyomai, és a kalapácsolt réteg jól látható, a **6a ábrán**. Az alakított réteg, és a lágy alapszövet között korróziós potenciálkülönbség alakul ki, ami elég ahhoz, hogy ennyi év alatt a korrózió megtámadja a két réteg közötti határfelületet, és lepattogjon néhol a díszítés a 6.a. ábrán látható mechanizmus szerint.



6. ábra: A nyakkorongos csákány mikroszerkezete. A sósav és vas-klorid elegyével történő maratás a szemcseszerkezetet teszi láthatóvá ((a) és (b) fotók), az ammónium kloridos maratás a primären kristályosodott szövetet mutatja ((c) és (d) fotók).

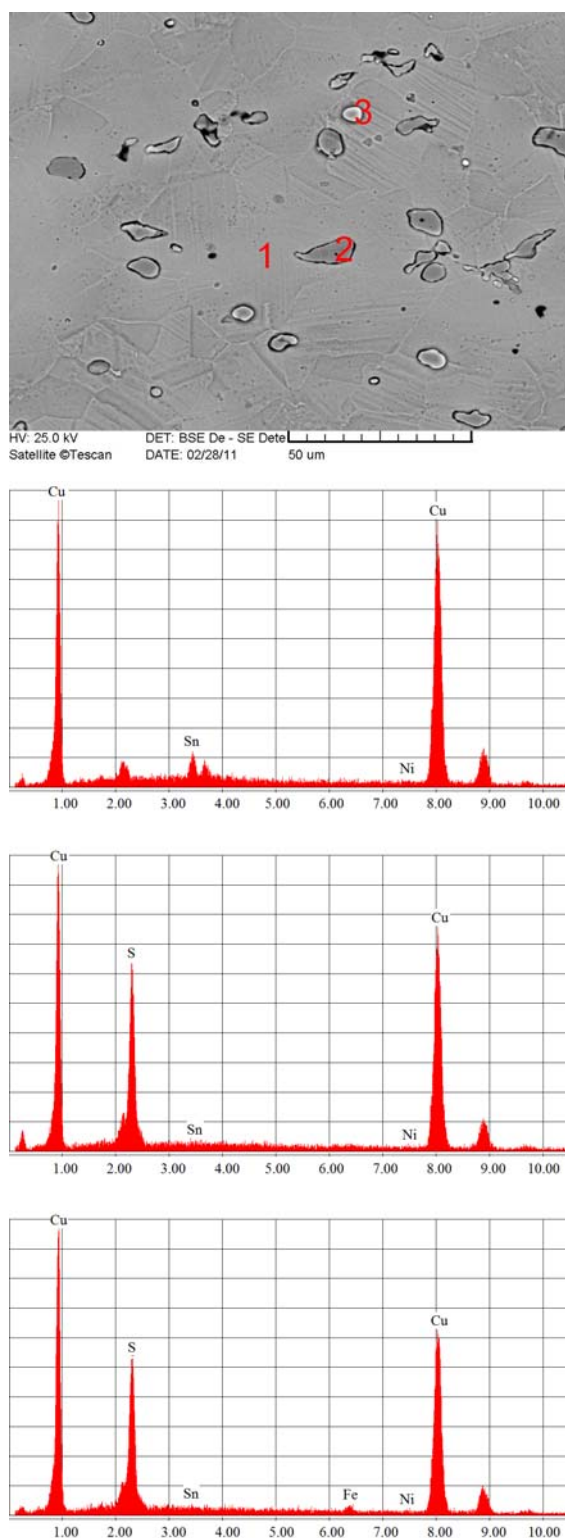
Fig. 6.: the microstructure of the pick with neck disc. The etching with the solution of HCl and FeCl₂ reveals the grain structure (a, b). The etching with ammonium-chloride shows the primarily solidified structure (c, d).

Történeti konklúzió:

A rézkori kalapácsbalták és ellentett élű csákányok előállításával kapcsolatban sokáig többféle elképzelés élt. A tárgyak öntéséhez nem fért kétség, bár öntőformákat a mai napig nem ismerünk a Kárpát-medence és a Balkán területéről. A nyéllyuk kialakításával kapcsolatban a maggal történő öntés mellett az öntés utáni meleg állapotban történő átfűrés, átlukasztás merült fel megoldásként (Patay 1984, 10–13; Boroffka 2009, 251–252; Kienlin & Pernicka 2009, 270–271). N. Boroffka foglalta össze legutóbb az ellentett élű csákányok készítésével kapcsolatos elképzeléseket és közölt több, egyrészes, a nyéllyuk kialakításához öntőmaggal rendelkező agyag formát a Kaszpi-tenger déli partjáról és attól keletre levő területekről. Ezek az öntőminták fiatalabbak mint a Kárpát-medence java rézkora, de meglétük nagyban valószínűsíti hasonló használatát a vizsgált időszakban. Java rézkori hiányukat magyarázhatja, hogy az agyag

mintákat csak egyszer lehet öntésre használni, így igen kicsi a valószínűsége, hogy régészeti kontextusban felismerhetően megmaradjanak. A közölt daraboknál N. Boroffka felhívja a figyelmet, hogy ezek valószínűleg sohasem voltak használatban (Boroffka 2009).

A borsodi kalapácsbaltá nyéllyukának pereméből vett minta metallográfiai vizsgálata öntést és öntés utáni magas hőmérsékleten végzett megmunkálást állapított meg. A tárgy előállításának technológiája megegyezik a T. L. Kienlin és E. Pernicka (2009) által rézkori tárgyakon végzett vizsgálatok során megállapított 1. horizont technológiájával. A szerző a rézkori fémművesség vizsgálatokor két technológiai és kronológiai horizontot különített el (Kienlin 2008, 89–101; Kienlin & Pernicka 2009, 262–270). Az első horizont újrakristályosodott mikrostruktúrája melegen alakított vagy lágyított, de erre a horizontra jellemző, hogy a végső hideg megmunkálás hiányzik a tárgyaknál.



7. ábra: A 6. ábrán látható mikroszerkezet pásztázó elektronmikroszkópi elemzése.

Fig. 7.: The SEM-EDX analysis of the microstructure showed on Fig. 6.

Ebbe a horizontba sorolja a jászladányi típusú csákányokat és többek között a Szakálhát típusú baltákat is. Mindez kronológiailag a Kárpát-medence java rézkorával esik egybe, melybe az általunk vizsgált borsodi darab is jól illeszkedik

Kienlin 2. horizontjánál a végső technológiai művelet egy részleges, vagy teljes hideg megmunkálás. Ebbe a horizontba a Hunyadihalom csoporttól (Furchenstich, proto-Boleráz, Baden, Kostolac) a rézkor végi Vučedol kultúráig és a bronzkori Makó kultúráig sorolják az anyagi műveltségek fémművességét. Ez utóbbi horizontra a kétrészes öntőminták és a fakőércek használata valamint a többszöri hőkezelés-lágyítás és kovácsolás majd a végső hideg megmunkálás (felületkialakítás és élkeményítés) technológiai együttese jellemző. Tudatosan alkalmazzák az alakítás-lágyítás egymásutáni technológiai lépéseit (Hosford & Caddell 2007).

Kienlin és Pernicka szerint a rézkor és a bronzkor határán kevésbé a nyersanyagkülönbségek (tisztaréz és szulfidos ércek) a meghatározók hanem inkább az alkalmazott technikai újítások, eltérések.

Két másik vizsgált tárgyunk azonos időhorizontban keletkezett a Reinecke szerinti korabronzkor fiatalabb szakaszában (RB A2; magyar terminológia szerint: középső bronzkor közepe). Összetételük alapján az ónbronzzok közé soroljuk őket.

Mindkét tárgy öntött. A kardísz funkciójánál fogva nem igényelt öntés után további metallurgiai beavatkozást.

A tipológiai kutatások (zárt, öntött példány) és az anyagösszetétel-elemzés (eltérő réznyersanyag mint az anyaterületen) alapján a kardíszt aunjetitzi előképek alapján helyben gyártott tárgynak is tarthatjuk. Ez az interpretáció eltér a dolgozat elején bemutatott eddigi véleményektől, melyek szerint a kardísz import tárgy.

A nyakkorongos csákány esetében összetett gyártási folyamatot rekonstruálhattunk. Az alapfém jelentős óntartalma alapján szulfidos ércből, tudatos ötvözéssel készült tárgyról beszélhetünk.

Irodalom

- ASM INTERNATIONAL (1990a): Metals Handbook vol. 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, ASM International.
- ASM INTERNATIONAL (1990b): Metals Handbook vol. 3, Alloy Phase Diagrams, ASM International.
- ASM INTERNATIONAL (1990c): Metals Handbook vol. 4, Heat Treating, ASM International.
- ASM INTERNATIONAL (1990d): Metals Handbook vol. 14, Forming and Forging, ASM International.
- ASM INTERNATIONAL (1990e): Metals Handbook vol. 15, Casting, ASM International.
- ASM INTERNATIONAL (2004): Metals Handbook vol. 9, Metallography and Microstructures, ASM International.
- BARTELHEIM, M. (1998): Studien zur böhmischen Aunjetitzer Kultur – Chronologische und chorologische Untersuchungen. *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* 46.
- BARTÍK, J. (1999): Die Metallgiesserei der Maďarovce-Kultur. In: BÁTORA, J., PEŠKA, J. (Eds.): *Aktuelle Probleme der Erforschung der Frühbronzezeit in Böhmen und Mähren und in der Slowakei*. Nitra 183–193.
- BÁTORA, J. (2001): Die Frage der östlichen Vorbereitungsgrenze der sog. Aunjetitzer Bronzen. In: GANCARSKI, J. (ed.): *Neolit i początki epoki brązu w Karpatach polskich*. Krosno 251–272.
- BÁTORA, J. (2009) Metallurgy and Early Bronze Age Fortified Settlements in Slovakia. Metalurgia a opevnené sídliská zo staršej doby bronzovej na Slovensku. *Slovenská Archeológia* 57 195–219.
- BÓNA I. (1958): Bronzkori öntött kardiszek Borsodgesztről. Bronzezeitliche gerippten Armstulpen aus Borsodgeszt. *Herman Ottó Múzeum Évkönyve* 2 41–44.
- BOROFFKA, N. (2009): Simple technology: Casting Moulds for Axe-adzes. In: KIENLIN, T. L. & ROBERTS, B. W. (eds.): Metals and Societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway. *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* 169 246–256.
- COTTERILL, P. & MOULD, P. R. (1982): *Recrystallization and Grain Growth in Metals*, Surrey University Press, London.
- DAVENPORT, W. G., KING, M., SCHLESSINGER, M. & BISWAS, A. K. (2002): Extractive Metallurgy of Copper, Pergamon Press, Kidlington, Oxford 57–71.
- DAVID, W. (2002): Studien zu Ornamentik und Datierung der bronzezeitlichen Depotfundgruppe Hajdúsámson-Apa-Ighiel-Zajta. [Bibliotheca Musei Apulensis](http://www.bibliotheca-musei-apulensis.it/), 18.
- HORVÁTH T. (2004a): Néhány megjegyzés a vatyai kultúra fémművességéhez – Technológiai megfigyelések a kultúra köeszközein. Die Metallkunst der Vatya-Kultur technologische Beobachtungen an ihren Steingeräten. *Communicationes Archaeologicae Hungariae*, 11–64.
- HORVÁTH T. (2004b) A vatyai kultúra településeinek kőanyaga. Komplex régészeti és petrográfiai feldolgozás *PhD disszertáció*. <http://www.archeo.mta.hu/hun/munkatars/horvathunde/vatya2.pdf>.
- HOSFORD, W. M & CADDELL R. M. (2007): *Metal Forming – Mechanics and Metallurgy*. Cambridge University Press, Cambridge. 182–193.
- ILON G. (2006): Bronzezeitliche Gussformen in dem Karpatenbecken. In: KOBAL, J. (ed.): *Bronzezeitliche Depotfunde – Problem der Interpretation*. Ushhorod, 273–301.
- KEMENCZEI T. (1966): Bronzkori fejszék a miskolci múzeumban. *A miskolci Herman Ottó Múzeum Közleményei* 7 7–11.
- KÉKESI T., PÁSZTOR G. & SZEPESSY A. (1990): *Színesfémek metallurgiája*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 80–170.
- KIENLIN, T. L. (2008): Tradition and Innovation in the Copper Age Metallurgy: Result of a Metallographic Examination of Flat Axes from Eastern Central Europe and the Carpatian Basin. *Proceedings of the Prehistoric Society* 74 79–107.
- KIENLIN, T. L. & PERNICKA, E. (2009): Aspect of the Production of Copper Age Jászladány Type Axes. In: KIENLIN, T. L. & ROBERTS, B. W. (eds.): Metals and Societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway. *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* 169 258–276.
- KOÓS J. (1989): Ritka bronzkori kardisz a Herman Ottó Múzeumban. Ein seltenes bronzezeitliches Armband im Museum herman Ottó in Miskolc. *Herman Ottó Múzeum Évkönyve* 27 431–437.
- KRAUSE, R. (2003): *Studien zur kupfer- und frühbronzezeitlichen Metallurgie zwischen Karpatenbecken und Ostsee*. Vorgeschichtliche Forschungen 24.
- MOZSOLICS A. (1967): *Bronzefunde des Karpatenbeckens – Depotfundhorizonte von Hajdúsámson und Kosziderpadlás*. Budapest.

PATAY P. (1984): Kupferzeitliche Meißel, Beile und Äxte in Ungarn. *Praehistorische Bronzefunde* IX.15. München.

PERNICKA, E. (1995): Gewinnung und Verbreitung der Metalle in Prähistorischer Zeit. *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums* 37 21–129.

PORTER, D. A. & EASTERLING, K. E. (1996): *Phase Transformation in Metals and Alloys*. Chapman & Hall, London, 237-239.

SZABÓ G. (1998): Szabó Géza vizsgálatai. *Iparrégészeti és Archeometriai Tájékoztató*. <http://www.ace.hu/iramto/98szabovizsg.html>.

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

VERHOEVEN, J. D. (1975): *Fundamentals of Physical Metallurgy*, Wiley & Sons, New York, 325–362.

VERŐ J. & KÁLDOR M. (1996): *Fémtan*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 184–213.

WASEDA, Y. & ISHIKI, M. (2002): *Purification Process and Characterization of Ultra High Purity Metals*. Springer, London.

