

ORDACSEHI-CSEREFÖLD KELTA TELEPÜLÉSÉRŐL SZÁRMAZÓ VASSALAK ÉS VASTÁRGYAK ANYAGVIZSGÁLATA ÉS KÉSZÍTÉS-TECHNOLÓGIAI VONATKOZÁSAI

MATERIALS TESTING AND PRODUCTION TECHNOLOGY INVESTIGATION OF IRON TOOLS AND SLAG FROM A CELTIC SETTLEMENT OF ORDACSEHI-CSEREFÖLD

TÖRÖK BÉLA¹, KOVÁCS ÁRPÁD², BARKÓCZY PÉTER³, KRISTÁLY FERENC⁴

¹ Miskolci Egyetem, Metallurgiai és Öntészeti Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros

^{2,3} Miskolci Egyetem, Anyagtudományi Intézet

⁴ Miskolci Egyetem, Ásványtani és Földtani Intézet

^{1,2,3,4} Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportja (ARGUM)

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

Abstract

Traces of a diversified settlement system of the middle and late La Tène period were found recently in South-West Hungary. The site of Ordacsehi-Csereföld is one of the most important sites of Celtic settlements of the Carpathian Basin due to its 26 buildings, kiln for baking pottery, further objects and its findings of local iron forging. Ten slag samples, nine iron tools and a bloom with slag from the mentioned site were examined by our research team.

The main objectives of examinations were to reveal the material and structural properties of the slag and metal items, the definition of the metallurgical functions of the different pieces of slag, the exploration of the traces of processing and probable heat treatments on the iron tools in order to characterize the technology of local smithing. Most of the examined slags are probably the by-product of the purification in an oxidizing atmosphere intended to separate the slag from the iron after reheating the bloom.

The iron tools are of medium quality, generally made of relatively mild, ferritic, ferritic-perlitic material. However one of the tools has heterogeneous structure containing constituent (martensite) with extreme hardness. The grain size, settlement of inclusions and position of layers containing different volume of perlite served information about the technology of forming. Although the examined iron tools were made from the same bloom by objects, by taking advantage of the heterogeneity of the bloom, they could modify the distribution of carbon in the structure with the help of forging technique when forming edges and points. The planned use usually influenced the forming of the tool.

Kivonat

Az elmúlt években közép és késő La Tène kori, változatos, sűrű településrendszer nyomai kerültek sorra elő Délnyugat-Magyarországon, a Balaton déli partvidékén. A lelőhelyek közül Ordacsehi-Csereföld 26 épülete, edényégető kemencéi, egyéb objektumai, illetve nem utolsó sorban a helyi vasművesség leletanyaga miatt a Kárpát-medence legjelentősebb kelta települései közé tartozik. Kutatócsoportunk az említett lelőhelyről 10 salakmintát és 9 fém tárgyat (eképpapucs, vaspánt, övlánc-tag, fibula, akasztó, kés, lemezdarab és két vasár), valamint egy vashűtőt, illetve egy mellette talált salakdarabot vizsgált meg.

A vizsgálatsorozat fő célja a salakminták és a fém tárgyak kémiai, ásványtani és anyagszerkezeti jellemzőinek feltárása, a salakdarabok metallurgiai funkció szerinti definiálása, illetve a fém tárgyakon végrehajtott megmunkálási, esetleg hőkezelési folyamatok nyomainak megtalálása és a helyi kelta vasműves technológia megfogalmazása volt. A vizsgált salakokból a legtöbb a bucavas újraizbitása utáni oxidáló atmoszférájú, salaktalanító kalapáláskor keletkezhetett.

A vizsgált használati tárgyak közepes igényességgel készültek, általában relatíve lágy, inhomogén szövetszerkezetű, ferrites, ferrit-perlites vasból. Találtunk azonban közöttük kivételes keménységű szövetelemet (martenzitet) tartalmazó, heterogén szerkezetű tárgyat is. Az alakítás technológiájáról a szemcseméret, a zárványok elrendeződése, illetve a változó perlitáhányadú rétegek elhelyezkedése szolgáltatott információkat. Bár a vizsgált vaseszközök tárgyanként egyazon vashűtőből készültek, a vashűtő inhomogenitását felhasználva a kovácsolási technikával módosítani tudták a szövetszerkezetben a karboneloszlást a későbbi használati célnak megfelelően az élek, hegyek kialakításakor. A tervezett igénybevétel rendszerint befolyásolta a tárgy kialakítását.

KEYWORDS: CELTIC IRON TOOLS, SLAG, CHEMICAL ANALYSIS, METALLOGRAPHY, MINERALOGICAL EXAMINATION

KULCSSZAVAK: KELTA VASTÁRGYAK, SALAK, KÉMIAI ANALITIKA, METALLOGRÁFIA, ÁSVÁNYTANI VIZSGÁLAT

Előzmények

Századunk első évtizedében az M7-es autópálya somogyi nyomvonalának építéséhez kötődő megelőző ásatások alkalmával minden eddiginél több kelta település nyomainak kerültek elő. A lelőhelyek közül Ordacsehi-Csereföld (M7 AP S-27. lelőhely) 26 épülete, edényégető kemencéi, egyéb objektumai, illetve nem utolsósorban a helyi vasművesség leletanyaga miatt a Kárpát-medence legjelentősebb feltárt kelta települései közé tartozik (Gallina et al. 2007).

A dunántúli, így a Balatontól délre lévő kelta falvak némelyikének élete, ezzel együtt vasművessége is tovább folytatódhatott a római korban is a Kr.u. 2-3. sz-ig (Gabler, 1989, 1991). Ordacsehin vassalak mellett változatos formájú vastárgyak is előkerültek. A salakleletek mintegy háromnegyedét épületekben, azok feltöltéseiben találták. A leletekből Gallina Zsolt, régész adott át 2011-ben 9 fémtárgyat (ekepapucs, vaspánt, övlánc-tag, fibula, akasztó, két vasár, valamint kés- és lemezdarab), mintegy tucatnyi salakdarabot és később egy vaspucának katalogizált darabot, a közvetlenül mellette talált salakdarabokkal a Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportja (ARGUM) vezetőjének. Tíz salakminta, a bucadarab és egy hozzá tartozó salakdarab, illetve a vastárgyak komplex archeometriai vizsgálata az anyagminőségi, anyagszerkezeti jellemzők meghatározásán túl a feltételezhető technológiai vonatkozásokra is fókuszált.

Kelta kori vastárgyakat számos alkalommal vizsgáltak az európai archeometriában, a vizsgálatok tárgya leggyakrabban kelta kardok voltak (Lang, 1984; Pleiner, 1993; Buchwald 2005). Sokkal ritkábbak a korszak közhasználatú eszközeiről, vagy éppen vaskohászati műhelyeiről

szóló tanulmányok (Sievers, 1996; Serneels & Maulvilly, 2001). Jelen dolgozat kuriózuma, hogy a Kárpát-medencéből származó kelta leleteket vet komplex vizsgálat alá, valamint az, hogy a leletek szempontjából korszak vasművességének teljes szakmai vertikumában vizsgálódik, a közhasználatú eszköz-késztermékeket, illetve félkész- és melléktermékeket is illetően.

Vizsgálati módszerek

Az salakdarabokból vett mintákat kémiai analitikai vizsgálatnak vetettük alá, illetve a mintáknak egy kivételével az ásványtani összetételét is meghatároztuk röntgen diffraktométerrel (XRD).



1. ábra: Vaspucából letört darab salakokkal
Fig. 1.: Bloom-fragment with slag

A salakminták közül négy esetében csiszolatot is készítettünk, amit pásztázó elektronmikroszkóppal, illetve energiadiszipatív röntgen-mikroszondával (SEM-EDS) vizsgáltunk akár csak az ugyanazon objektumból előkerült, vaspucának vélt leletet, illetve salakdarabokat, amelyek az **1. ábrán** láthatóak.



2. ábra:
Vizsgált vastárgyak a mintavételi
helyekkel (kivéve a IV-et)
Fig. 2.:
Examined iron tools with the
places of samplings (except for IV)

1. táblázat: A vizsgált salakminták kémiai összetétele**Table 1.: Chemical compositions of examined slag samples**

Salak No.	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	C	S
	[w%]												
1	39.03	13.38	18.64	3.44	12.39	1.76	<0.01	0.448	9.521	0.119	0.083	0.65	0.011
2	52.61	7.08	18.58	5.09	2.68	2.07	<0.01	0.203	6.632	0.073	0.025	0.90	0.680
3	18.10	42.45	15.20	4.06	2.72	0.67	0.38	0.203	6.659	0.072	0.239	0.70	0.005
4	36.60	19.30	19.41	5.75	10.75	1.71	<0.01	0.244	4.748	0.118	0.016	0.62	0.012
5	25.69	34.09	10.19	4.86	11.99	1.81	<0.01	0.310	5.709	0.157	0.120	0.21	0.028
6	31.78	32.16	5.45	4.55	10.14	2.09	<0.01	0.392	6.381	0.170	0.009	0.12	0.009
7	45.60	16.08	4.67	7.73	16.44	2.94	<0.01	0.637	3.252	0.296	0.011	0.11	0.010
8	18.21	16.08	54.84	1.59	4.41	1.45	<0.01	0.226	0.527	0.068	0.010	0.34	0.006
9	25.69	19.30	47.56	3.98	0.61	0.86	0.07	0.226	0.515	0.067	0.014	0.41	0.082
10	28.20	39.88	15.21	4.32	8.08	1.29	0.11	0.711	0.857	0.150	0.229	0.52	0.008

A fémtárgyak (**2. ábra**) esetében 2%-os nitállal maratva készített keresztmetszeti csiszolatokat a már említett technikájú elektronmikroszkópos vizsgálat mellett számítógép-vezérelt tárgyasztalos optikai mikroszkóppal is vizsgáltunk, illetve a metszetek vizsgált vágási felületein néhány esetben Vickers-féle keménységértékeket (HV0.1 és HV3) mértünk. Gyakorlatilag teljes metallográfiai képet alkothattunk a vas eszközökről.

Salakdarabok és vasbuca

Tíz salakminta kémiai összetételét vizsgáltuk meg ICP-OES spektrométerrel, a két, illetve három vegyértékű vas különválasztására nedves kémiai módszerrel. Az eredményeket az **1. táblázat** mutatja. A salakdarabok egy kivételével épületből, házból kerültek elő, több mint valószínű, hogy bucatömörítés, kovácsolás melléktermékei. Primer metallurgiai fázisra utaló bucakemencék nyomait nem találták meg.

A vizsgált salakok a legtöbb esetben nagy SiO₂-tartalmú, változó CaO-tartalmú, alapvetően savanyú salakok. A salakok inhomogenitására utal, hogy találtunk ugyanazon házból származó darabokat, valamennyinél relatíve nagy CaO-tartalommal (4, 5, 6 minták) illetve szintén egyazon épületből származó, de eltérő mésztartalmú mintákat (1, 2, 3 minták). A minták vasoxid tartalma egy-két eset kivételével (2, 7 minták) nagy, néha igen nagy (8, 9 minták), ahol a megnövekedett Fe₂O₃-tartalom egykor fémersedett, azóta viszont korrodált vasszemcsék eredménye. A 6-os minta a primer metallurgiai salakoknál korábbi vizsgálataink által leggyakrabban tapasztalt kémiai összetételt mutatja. Feltűnő a minimális, gyakorlatilag elenyésző MnO-tartalom, amely a térségben relatíve közel feltárt

jelentős avar kori vaskohászati centrum jellemzően magas (esetenként 6-8w%-os) MnO-tartalmú salakjaival (Török et al, 2011) összehasonlítva még inkább furcsább. A salakok P₂O₅-tartalma minden esetben alacsony, még az enyhén bázikusabb minták esetében is Ha csak ezt tekintenénk, valószínűsíthető, hogy nem jelentkezett a fémekben melegtörékenységet okozó vas-foszfid eutektikumokkal kapcsolatos probléma.

A salakminták ásványtani vizsgálatának eredményeit a **2. táblázat** tartalmazza. A táblázatban szereplő kémiai képletek az ICDD PDF-2(2005) adatbázisából vett, az onnan azonosított ásványoknál megadott összetételnek felelnek meg. A mintákban a legtöbb ásványi összetevő rosszul kristályosodott, kis krisztallit-méretekkel. Jelentős az amorf anyag hányada, ugyanakkor az egyes kristályos alkotók szerkezetétől függően előfordulhat, hogy a néhány nm-es vagy néhány tíz nm-es krisztalliméretű frakciókat az XRD-vel nem észleljük, ilyen esetben röntgenamorf anyagnak tekintjük őket. Ettől függetlenül az anyagban előfordul(hatnak) olyan amorf anyagok is, amelyek nem alkotnak még nm-es krisztallitokat sem.

Leucit a legtöbb mintában megfigyelhető volt, míg a Ca-Mg-szilikátok jelenléte változó. A tisztán vas-oxidokban a három vegyértékű vas a magnetit alkotója, a két vegyértékű vasat tartalmazó wüstit viszont igen kis méretű kristályokból állt, egy része feltételezhetően röntgenamorf a pordiffrakciós eljárásban. A vas két illetve három vegyértékű jelenlétének arányait illetően az ásványtani vizsgálat jó párhuzamba állítható a kémiai analízissel. Ennek szélsőséges példái a 3-as, illetve vele szemben a 8-as és 9-es salakminták.

2. táblázat: A salakminták ásványtani vizsgálatának eredményei**Table 2.:** Results of the mineralogical investigations of slag samples

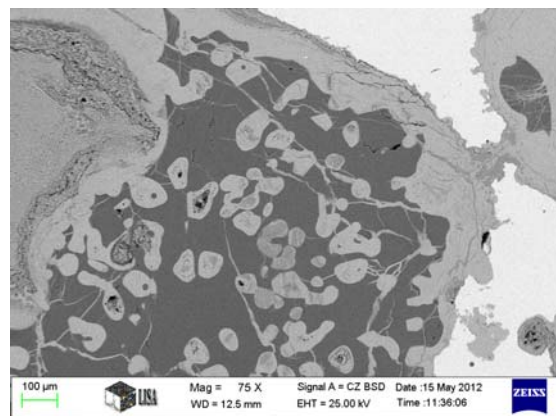
komponens (w%)	salak No.	1	2	3	4	5	7	8	9	10
Augit ($\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mg})\text{Si}_2\text{O}_6$)					14.4		13.8			
Diopszid ($\text{Ca}(\text{Mg},\text{Al})(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_6$)		61.7								
Mg-tartalmú fayalit ($(\text{Fe},\text{Mg})_2\text{SiO}_4$)				21.1				5.0	7.4	23.1
Leucit (KAlSi_2O_6)		2.2		5.6	17.9	10.3	28.2			7.7
Magnetit (Fe_3O_4)		8.9			4.3	7.8		30.0	28.9	10.7
Monticellit (CaMgSiO_4)					22.6	27.8	14.9			14.8
Kvarc (SiO_2)		4.5	20.7					1.7	6.5	
Spinel (MgAl_2O_4)			12.2							
Wüstit (FeO)				17.7		9.1				5.7
amorf		22.7	67.0	55.6	40.8	45.0	43.1	63.3	57.2	37.9

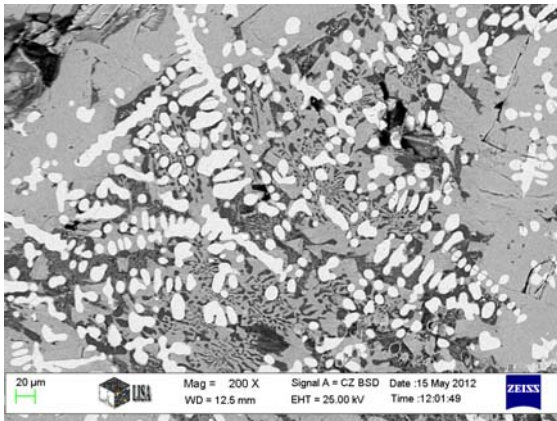
A vizsgált anyagokról általában elmondható, hogy az ősi bucakemencék primer metallurgiai salakjaiban általában mértől relatíve nagyobb a három vegyértékű vasat tartalmazó komponens, amely kémiai analitikában Fe_2O_3 -ként, illetve ásványtanilag magnetiként ($\text{Fe}_3\text{O}_4 = \text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) meghatározott. Mindez a szabad levegőn történő bucatömörítés, illetve a fűtatóval végzett szabadtűzi kovácsolás a bucakemence alapvetően redukáló atmoszférájához képest oxidáló légkörének, illetve a kovácsalakra került, fémesegett vascsappok hosszú idő alatti korróziójának tudható be.

Az azonosított ásványi összetevők közül a Mg-tartalmú kristályos fayalit képviseli a legnagyobb feltételezhető hőmérsékletet (~1200 °C), míg az augit és a diopszid 900 °C, a monticellit pedig legalább 1000 °C körüli hőmérsékletet feltételez. Ez beleillik a direkt úton történő bucavas-készítés 1200-1350 °C-os metallurgiai, illetve a kovácsolás ettől a szakirodalom szerint néhány száz °C-kal alacsonyabb hőmérsékleti viszonyaiba (Buchwald, 2005 /750-1100 °C/; Pleiner, 2006 /750-900 °C/). A fayalit ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) tapasztalataink szerint egyben a bucaeljárási metallurgiai salakjainak legjellemzőbb összetevője is (Gömöri & Török, 2002; Török & Kovács, 2010), viszont jelentős hányada röntgenamorf, amelyet ez esetben célszerű csak vas-szilikátnak nevezni.

A kémiai és ásványtani vizsgálatok salakmintái közül négyen SEM-EDS-vizsgálatot is végeztünk. A vizsgálat során rendszerint heterogén, gázlunkerekkel tarkított szerkezetet találtunk. Egyes, relatíve tömör daraboknál (pl. 1-es minta) nagy, illetve kis Fe- és Ca-tartalmú szilikátok szeparálódása, valamint szigetszerűen elkülönült CaO-dúsulások (mész-szemcsék), másnál (pl. 2-es

minta) jellemzően szivacsos szerkezet volt megfigyelhető. Több esetben (pl. 9-es minta) heterogén közegben beágyazódott fémes vasszemcséket (a **3. ábrán** fehér területek), illetve vas-szilikátos (fayalitos) közegben finom wüstit-dendriteket (pl. 10-es minta) vizsgálhattunk (**4. ábra**). A 9-es minta SEM-EDS vizsgálata nagyon jól alátámasztja, egyben kiegészíti a kémiai és ásványtani vizsgálatok tárgyalásánál kifejtett (re)oxidációs elméletet. Nyilván a salakdarabok felszín közeli fémvas-részecskéi könnyebben oxidálódtak, rozsdásodtak. Mindenesetre a 9-es minta tipikus kovácsalakként definiálható, míg a 10-es minta dendrit-kezdeményei, szerkezete inkább a metallurgiai salakokra emlékeztet (Török & Kovács, 2010), így az inkább az újrahevített buca kovácsolás előtti tömörítése során kikalapált, kipréselt darab lehet.

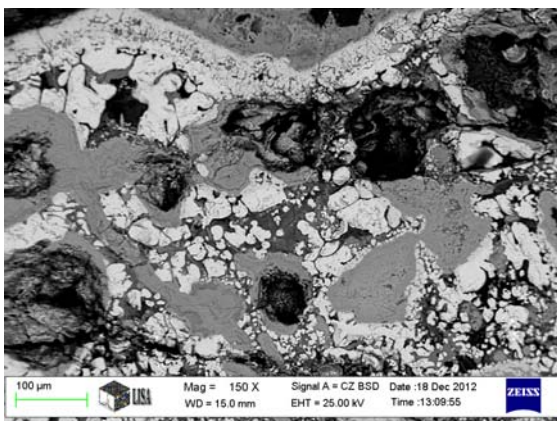
**3. ábra:** Vasszemcséket tartalmazó salakminta elektronmikroszkópos képe**Fig. 3.:** SEM micrograph of a slag sample with iron grains



4. ábra: Vas-oxid dendriteket tartalmazó salakminta elektronmikroszkópos képe

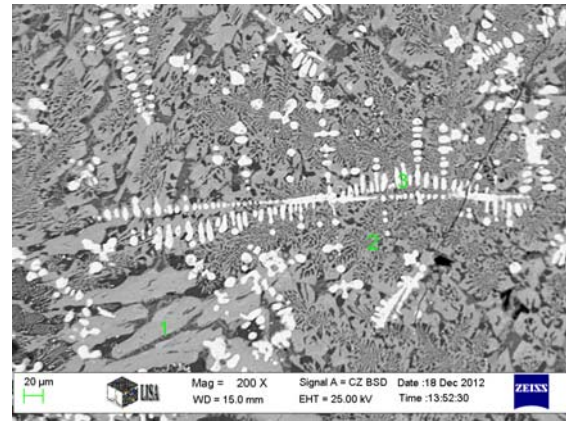
Fig. 4.: SEM micrograph of the a slag sample with iron-oxide dendrites

Aránylag ritkán adódik lehetőség korabeli vasbucadarab vizsgálatára. Az ásatáson egyedülként bucaröggként feltételezett, az **1. ábrán** látható darabot - egy-két salakdarabbal együtt- erősen lemélyített épületben találták. SEM-EDS-vizsgálata annyiban igazolta a feltevést, valóban az újraízzított buca tömörítésekor letört, erősen salakos darabról lehet szó. Az **5. ábra** rendszámérzékeny („backscatter” elektronokkal készített) elektronmikroszkópos képén heterogén szerkezet látható, amelynek heterogenitását leginkább a vas és az oxigén - tehát a fémes és oxidált vas - arányának változása adja. A Si-tartalom 1-2%-os jelenléte mellett a több helyen tapasztalható Ni-dúsulás említendő. A legvilágosabb foltok gyakorlatilag részben reoxidálódott – amely egyben a darab jellemző rozsdaszínét is adja – vasrögök. A hozzá tartozó, talán a bucából tömörítéssel kipréselt és lepattant salakdarab SEM-képe (**6. ábra**) tipikus metallurgiai salak szerkezetét mutatja, fayalitos közegben (2) wüstit-dendritekkel (3), dendritisírákkal, helyenként CaO-dúsulásokkal (1).



5. ábra: Vasbucából letört darab SEM-képe

Fig. 5.: SEM micrograph of a bloom-fragment



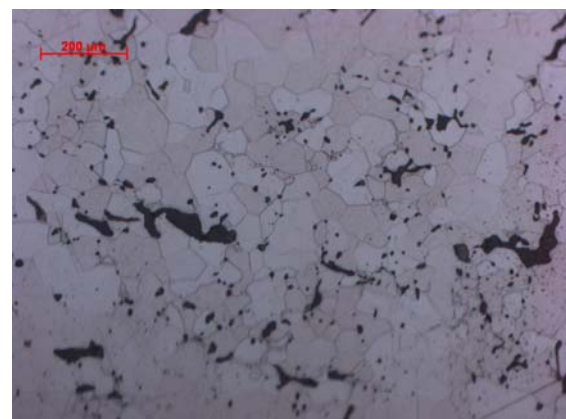
6. ábra: Bucadarab mellett talált salakminta elektronmikroszkópos képe

Fig. 6.: SEM micrograph of a slag sample found from the side of bloom-fragment

Vastárgyak

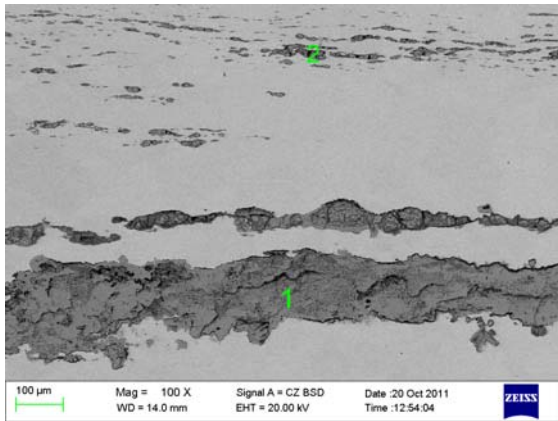
A fém tárgyak optikai mikroszkópos vizsgálata során többször - pl. a **2. ábrán** látható fibula töredék (I) és övlánc-tag (II) esetében - ferrites alapszövetben homogén méretű poliédres szemcséket figyelhettünk meg (**7. ábra** - övlánc-tag). Az apró zárványok sávos szerkezetbe való rendeződése a képlékenyalakítás - kovácslás - eredménye.

A fibula-töredék (I) esetében a SEM-EDS vizsgálat is kimutatta a homogén ferrites alapszövetet, illetve az alakítás irányába rendeződött, lapos zárványokat (**8. ábra**) amelyek közül az ábrán 1-gyel jelölt vastagabb zárvány gyakorlatilag vasoxid (reve), a 2-vel jelölt apróbb bezáródás pedig fayalitos salak. A lágy, ferrites alapszövet a keménységmérés alkalmával is igazolódott, mindössze 133 HV0.1 értéket mérhettünk.



7. ábra: Övlánc-tag (II) csiszolatának optikai mikroszkópos képe

Fig. 7.: Micrograph of polished sample of the chain-belt piece (II)

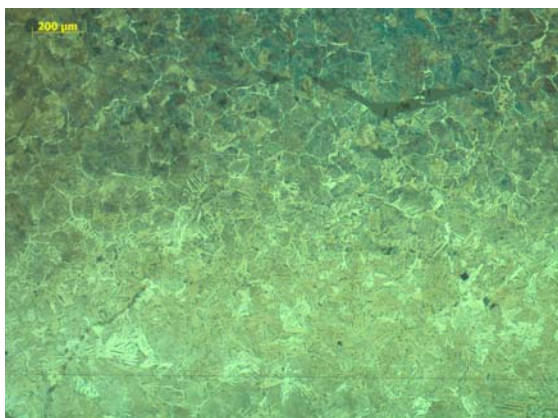


8. ábra: Zárványok a fibula-töredék (I) SEM-képen

Fig. 8.: Inclusions on the SEM micrograph of the brooch-fragment (I)

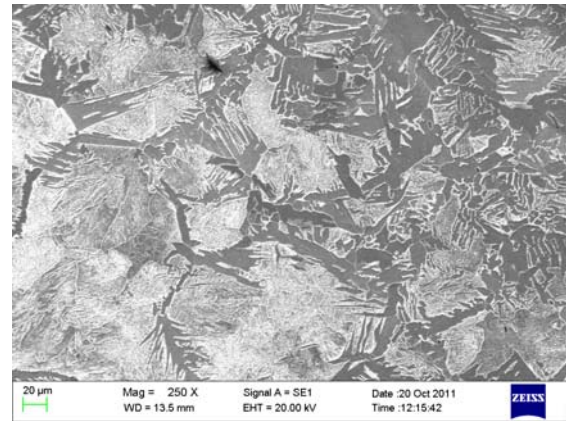
Mindez jellemző az övlánc-tag (II) alacsony C-tartalmú (0.1-0.2%) szintén homogén, ferrites szövetszerkezetére is. A szétlapított, illetve csepp alakban sorba rendeződött fayalitos zárványokat itt is megtaláltuk.

A szűrőeszközök - a **2. ábrán** látható vas árok (III, VII) - esetében finom, lemezes perlit az alapszövet. A (III) ár mintájának optikai mikroszkópos szövetszerkezete a **9. ábrán** látható. A SEM-vizsgálat alkalmával a (III) esetében ~0.8% C-tartalmú, homogén perlitest szerkezetet Widmanstätten-ferrittel - amelyet a relatíve lassú hűlés eredményeként az ausztenites átalakulásakor a perlit szemcsék határain keletkező ferritháló, illetve a perlit szemcsék belseje felé nőtt ferrit-tűk jeleznek (**10. ábra**) - illetve a (VII) esetében 0.6-0.8% C-tartalmú perlit-ferrites, helyenként kilággyult szövetet találtunk szferoidites perlitel (**11. ábra**). Utóbbi szövetszerkezet hatása a darabnál mért közepes keménységértéknél (232 HV0.1) is igazolódott.



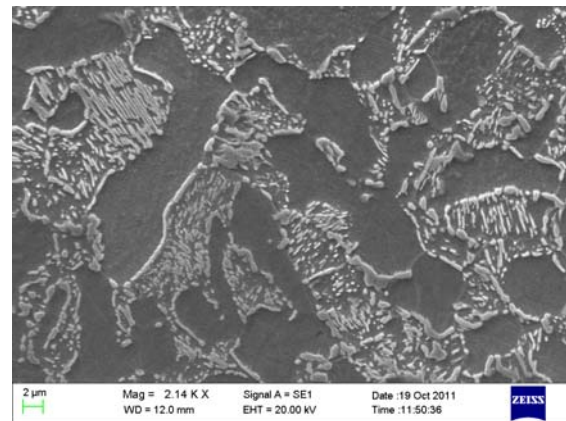
9. ábra: Vas ár (III) csiszolatának optikai mikroszkópos képe

Fig. 9.: Micrograph of iron piercel (III)



10. ábra: Perlit-Widmanstätten-ferrites szövet vas ár (III) elektronmikroszkópos képén

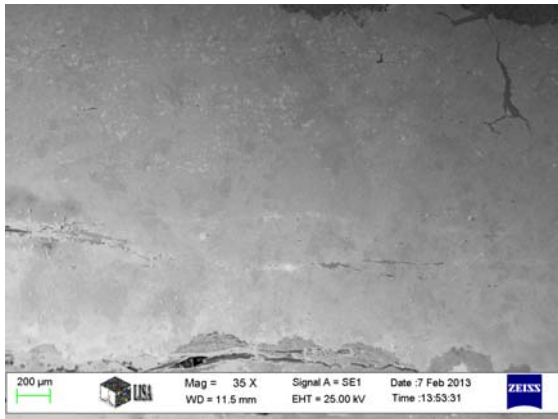
Fig. 10.: Perlitic-Widmanstätten-ferritic texture on SEM micrograph of iron piercel (III)



11. ábra: Szferoidites perlitet tartalmazó szövetszerkezet vas ár (VII) SEM-képen

Fig. 11.: SEM-micrograph of iron piercel with spheroid pearlite (VII)

A szintén lapos, vékony keresztmetszetű, a **2. ábrán** VI-tal jelölt vaspánt **12. ábrán** látható elektronmikroszkópos képe nagyon inhomogén szemcseméretű ferrit-perlites szövetszerkezetet mutat. Ennél a tárgynál – a fibula-töredékhez hasonlóan – a zárványok két fajtája különböztethető meg, a kalapálás hatására ellapult, relatíve vastagabb, durva, tiszta vas-oxid (reve), illetve a sorba rendeződött, pöttyszerű salakzárványok. Az egyik salakzárványból vett átlagos elemspektrum (**13. ábra**) a következő összetételt mutatta (wt%): O:16.80%; Al:3.97%; Si:9.89%; P:3.38%; K:0.90%; Ca:5.69%; Mn:2.17%; Fe:57.20%. A foszfor-tartalom itt viszont jelentősnek mondható, amely azzal magyarázható, hogy a relatíve nagyobb bázikuságú (CaO/SiO₂) bucasalakok esetében az érc esetleges foszfortartalmának jelentős része a salakba (illetve a salakzárványba) kerülhet, mindez reakciókinetikailag biztosított.



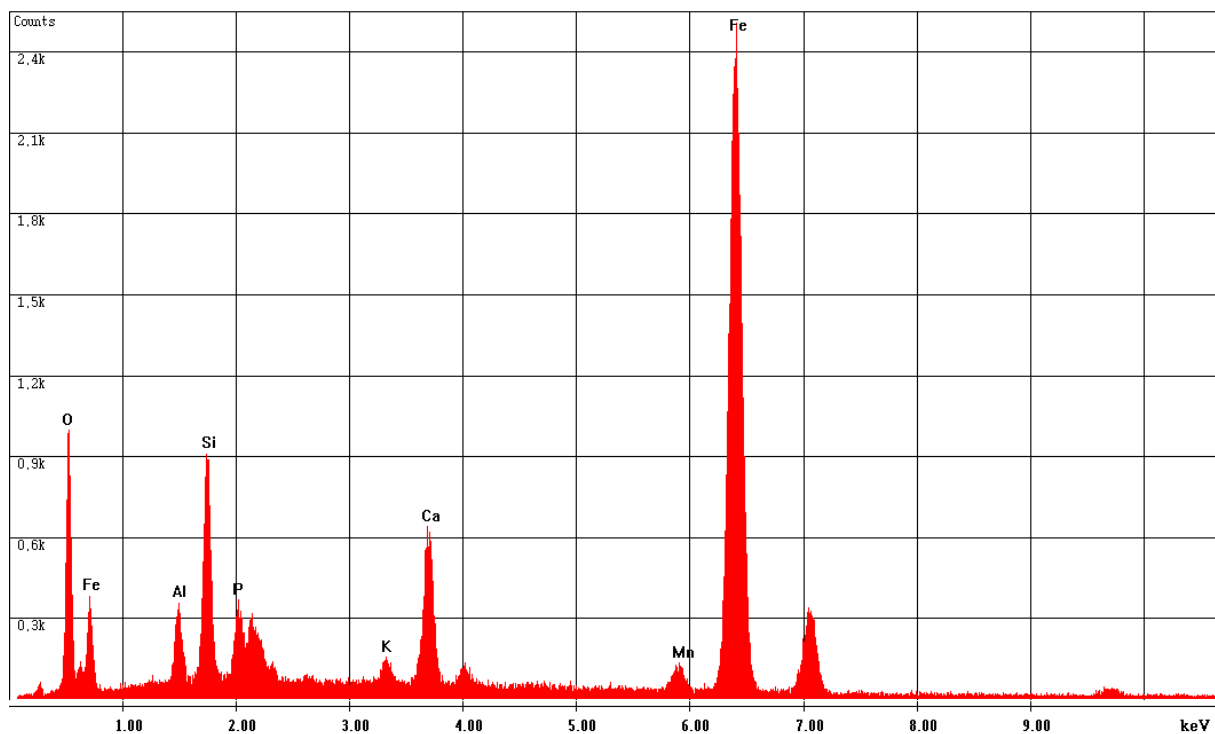
12. ábra: Vaspánt (VI) elektronmikroszkópos képe

Fig. 12.: SEM micrograph of iron band (VI)

A régészeti vasleletek salakzárányaival, illetve azok anyagvizsgálatából leszűrhető technológiai következtetésekkel több tanulmány is foglalkozik (Buchwald & Wivel, 1998; Blakelock et al, 2009), a zárványszerkezet, illetve –összetétel vonatkozásában a foszfortartalom gyakran kiemelt tényező (Buchwald, 2005). A tárgyat főként az egyik oldalán üthették, ahol inkább a ferrit a jellemző és itt található a lágyabb anyagba belevert zárványok is. A viszonylag kevés és durva perlit teljesen szétkalapált, széttöredezett cementitlemezeket tartalmaz. A nagyobb mértékben perlitest oldalt kevesebb alakítást kapott. A lassan hűlt, többször felhevített, egyik oldalról többször kalapált tárgy anyaga így inhomogén szerkezetű, ugyanakkor a keménységmérések tanulsága szerint egymástól nem jelentősen különböző keménységű lett (101-104 HV3).

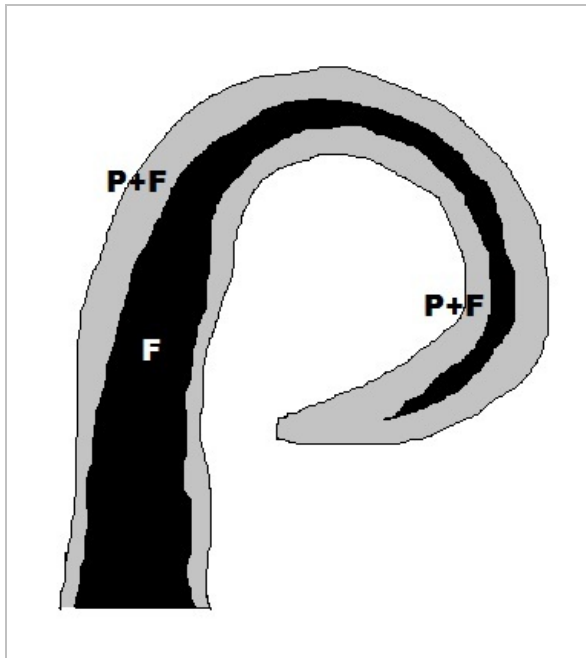
C:\arpad\2013\argum\20130207 potlas\ordacsehi\vaspant11 2s foto salak.spc

Label A: vaspant11 2s foto salak



13. ábra: Vaspántban lévő salakzárvány átlagos elemspektruma

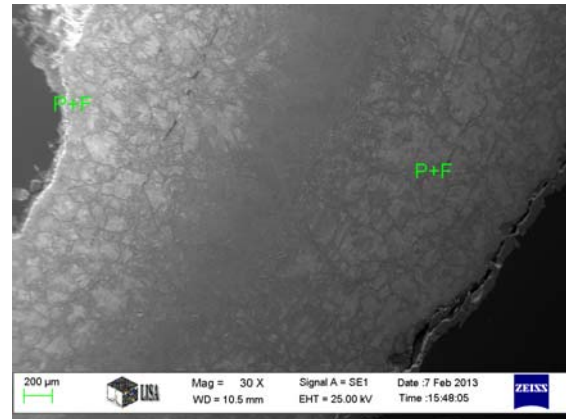
Fig. 13.: Average element spectrum of slag inclusion in iron band



14. ábra: Akasztó (IV) hurokrészének sematikus rajza

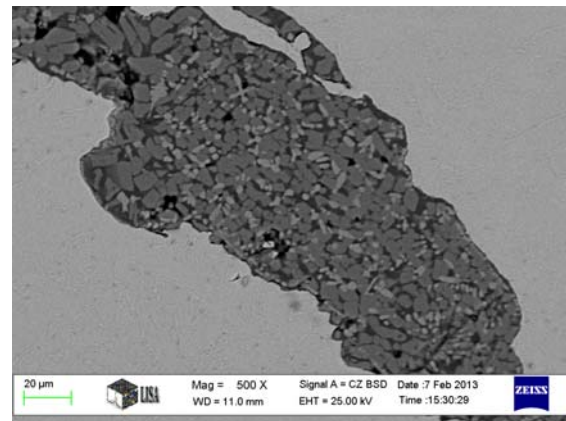
Fig. 14.: Schematic drawing of the loop of a hanger (IV)

Változatosabb képet ad a **2. ábrán** IV-gyel jelölt akasztó hurokrészének vizsgálata. A metszet közepén, a hurok szárától a behajlított végéig haladva egyre keskenyebb belső sávban lágyabb, ferrites szerkezet figyelhető meg, míg a két szélén – tehát a tárgy felületén – a hurok kanyarodásával egyre vastagabb perlit-ferrites szövetszerkezet a jellemző, ahogy az a **14. ábra** sematizált rajzán látható. A jellegzetes, szendvics-szerű szerkezet a **15. ábra** SEM-képén is jól megfigyelhető. A legnagyobb alakítást elszenvedő, vastagabb perlites zónájú hurokrész szövetszerkezetének kialakulásakor szerepet játszhatott a relatíve vékonyabb keresztmetszete miatti könnyebb hevithetősége, illetve a faszénből eredő karbon-diffúzió, bár ez utóbbi igen lassú folyamat, inkább csak kis határfokú elméleti lehetőség, mint gyakorlatilag meghatározó tényező. Sorba rendeződött, elnyúlt zárványokkal ez esetben is találkozunk. Egy zárványról (**16. ábra**) elemspektrumot is felvettünk, amelynek összetétele (wt%): O:18.82%; Al:5.49%; Si:17.34%; P:0.64%; K:2.77%; Ca:2.61%; Mn:0.80%; Fe:51.54%. Említésre méltó a foszfor alacsony, illetve az alumínium és a faszénhamuból is származható kálium relatíve magas értéke. Az eltérő szövetszerkezet ez esetben a keménységméréseknél is megmutatkozott. A középső ferrites sáv 98,5 HV3 értéke mellett a keményebb, perlites héjban 158 HV3 értéket mértünk.



15. ábra: Réteges szerkezet az akasztó hurokrészének elektronmikroszkópos képén

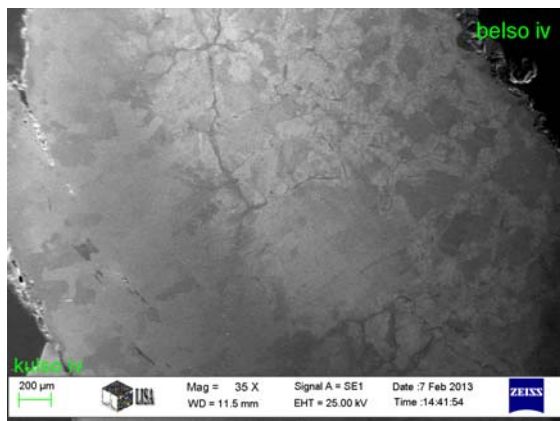
Fig. 15.: Layered structure on the SEM micrograph of the loop of a hanger



16. ábra: Zárvány elektronmikroszkópos képe

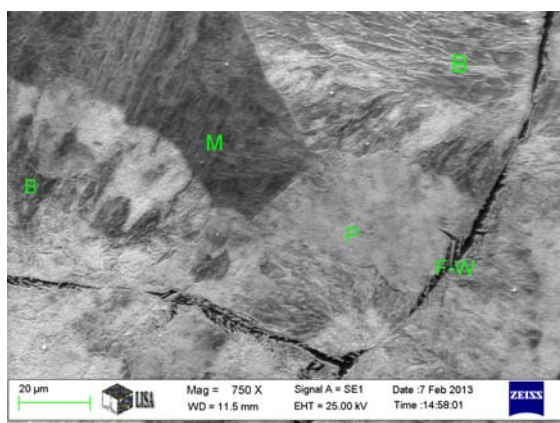
Fig. 16.: SEM micrograph of an inclusion

A vizsgált vastárgyak legjellegzetesebb és metallográfiai is legérdekesebb darabja a **2. ábrán** V-tel jelölt ekepapucs. Az elhegyesedő végtől 3 cm-re lévő, ívben hajlított keresztmetszet csiszolatát vizsgáltuk elektronmikroszkóppal. Magas hőmérsékletről a nagyon eldurvult ausztenit lassan hűlt, azonban mégsem annyira lassan, hogy ne tudott volna kialakulni egy nagyon heterogén, ferrithálós, eltérő C-eloszlású, a metszet külső-középső-belső ívében más és más szövetelemeket tartalmazó szövetszerkezet (**17. ábra**). A mintegy 0.8% C-tartalmú keresztmetszet belső ívében keményebb, kívül tisztán ferrites, lágyabb. Középen nagyrészt Widmanstätten jellegű ferrit-háló mellett igen sok a perlit. A belső ív területein néhol hirtelen, már edzésszerű hűtést feltételezve az át nem alakult, maradék ausztenitből igen kemény martenzit képződött, amely eddig egyáltalán nem volt jellemző szövetelem az általunk szép számmal vizsgált szkíta, gepida, és avar fegyvereken, vaseszközökön (Török & Kovács, 2011).



17. ábra: Ekepapucs (V) keresztmetszetének elektronmikroszkópos képe

Fig. 17.: SEM micrograph of cross-section of plough-shoe (V)



18. ábra: Heterogén szövetszerkezet az ekepapucs (V) nagyobb nagyítású SEM-képén

Fig. 18.: Heterogeneous structure on the SEM micrograph of the plough-shoe (V) at higher magnification

A **18. ábrán** lévő SEM-képen jól megfigyelhető a heterogén szerkezet valamennyi szöveteleme: a Widmanstätten-ferrit (F-W), a finom szemcseméretű perlit (P), a bainit (B), amely a perlit és martenzit közötti átmeneti szövet, az előbbiétől gyorsabb, de martenzit-tűk keletkezését még nem eredményezően gyors hűlés eredménye, illetve maga a martenzit (M). A heterogén szerkezet a keménységmérőskor is megmutatkozott; a ferrites külső ív 149 HV₃, illetve a középső régió finom szemcséjű perlitben dúsabb szövetének 155 HV₃ értéke mellett a martenzites rész kiemelkedően kemény volt, 585 HV₃ értékkel. A főként itt is a lágyabb, ferrites részben található salakzárványokat ez esetben is vizsgáltuk. Egy vas-oxid dendriteket tartalmazó zárványról felvett elemspektrum összetételében – a vaspánt zárványához hasonlóan – szintén relatíve magas a P-tartalom: O:18.49%; Al:4.45%; Si:13.46%; P:3.48%; K:1.79%; Ca:3.00%; Mn:2.23%; Fe:53.09%.

Készítés-technológiai vonatkozások

A vizsgált salakokból a legtöbb a bucavas újraiztítása utáni oxidáló atmoszférájú, salaktalanító kalapáláskor, illetve akár a kovácsoláskor keletkezhetett. A relatíve magas Fe₂O₃-, illetve a kis MnO- és P₂O₅-tartalom is erre utal. Némelyik minta finom dendrites szerkezete a metallurgiai salakokra emlékeztet. A vélhetően az újraiztított vasbuca tömörítő, salaktalanító kalapálásának kezdetekor letört salakos bucadarab, illetve a mellette talált salakdarabka jól illeszkedik a fémalakítás technológiai sorának elejére, miszerint ezek a kohósítás utáni első, még a bucakemencében kialakult (mellék)termékek. A következő a műveleti sorban a már említett 10 vizsgált salak, amelyek javarészt az épületekben (kovácsműhelyekben?) zajló fémalakítás melléktermékei.

A vizsgált használati tárgyak közepes igényességgel készültek, a többsége relatíve lágy, inhomogén szövetszerkezetű, ferrites, ferrit-perlites vasból. Nincs olyan szisztematikus alakítás-technológia, mint amelyet például általunk korábban vizsgált kárpát-medencei szkíta vasfegyvereknél (lándzsa, fokos, csákány) tapasztaltunk. Ugyanakkor van köztük más korszakok, más népek vastárgyainak vizsgálatokor nemigen tapasztalható, kivételes heterogenitású, igen kemény szövetelemet (martenzitet) tartalmazó darab is. Bár a vizsgált vaseszközök tárgyanként egyazon vasbucából készültek, a vasbuca inhomogenitását felhasználva a kovácsolási technikával módosítani tudták a szövetszerkezetben a karboneloszlást a későbbi használati célnak megfelelően az élek, hegyek kialakításakor. Ebben esetenként – főleg a vékonyabb keresztmetszetű anyagoknál – elméletileg a sorozatos újrahevítés alatti faszénből eredő karbondiffúzió is közrejátszhatott kisebb mértékben. A tervezett igénybevétel rendszerint befolyásolta a tárgy kialakítási technológiáját.

A publikáció a Miskolci Egyetem TÁMOP 4.2.1.B-10/2/KONV-0001-2010 programja keretén belül készült. A vizsgálatokat és következtetéseket tartalmazó, teljes részletességű anyagot az Ordacsehi-Csereföld lelőhely ásatásáról megjelenő hosszabb tanulmánykötet tartalmazza.

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*. Historisk-filosofiske Skrifter 29, The Royal Danish Academy of Sciences and Letters, Copenhagen 113–124, 132, 159–180.

GABLER, D., (1989): The survival of La Tène settlements in the Roman period. *Roman Frontier Studies* **III**. 424–429.

GABLER, D., (1991): The Shaping of the Life of the Late La Tène Settlement in the Roman Period. *Antaeus* **19-20** 57.

GALLINA, Zs.; MOLNÁR, I. & SOMOGYI, K. (2007) Ordacsehi-Csereföld. In: Kiss, V; Belényesy, K & Honthi, Sz. (eds) *Gördülő idő – Régészeti feltárások az M7-es autópálya Somogy megyei szakaszán Zamárdi és Ordacsehi között*. Somogy Megyei Múzeumok Igazgatósága – MTA Régészeti Intézete, 200–202.

GÖMÖRI, J. & TÖRÖK, B., (2002): Technical Examination of the Early Medieval Ferrous Metallurgical Finds from Hungarian Sites. In: Jerem, E. & T. Biró, K. (eds.) *Archaeometry 98, Proceedings of the 31st Symposium*, Archaeolingua, British Archaeological Reports (*BAR*) *International Series* **1043 (II)**, 375–381.

LANG, J. (1984): The technology of Celtic iron swords. In: Scott, B.G. & Cleere, H., *The craft of the blacksmiths*, 61–72.

PLEINER, R. (1993): *The Celtic swords*. Clanderon Press, Oxford 1–196.

PLEINER, R. (2006): *Iron In Archaeology – Early European Blacksmith*. Archeologický ústav AV ČR, Praha 54.

SERNEELS, V. & MAULVILLY, M. (2001): The Early La Tène Metallurgical Workshop at Sévaz FR/Switzerland: An attempt of quantification. In: Mihok, L. (ed.) *Archaeometallurgy In The Central Europe III. Acta Metallurgica Slovaca* **7** 268–277.

SIEVERS, S. (1996): Manching im Lichte neuer Grabungsergebnisse. In: Jerem, E., Leeb, K., Neugebauer, A., Urban, W., Herman, O., *Die Kelten in der Alpen und an der Donau*. Archaeolingua, *Studien zur Eisenzeit im Ostalpenraum* **I**. 327–333.

TÖRÖK, B., GALLINA Zs. & KOVÁCS Á., (2011): Ironmetallurgy of the pannonian avars of the 7-9th century based on excavations and material examinations, In: A. Hauptmann, D. Modarressi-Tehrani, M. Prange (eds.) *International Conference Archaeometallurgy in Europe III, Abstracts; Metalla, Sonderheft* **4** Bochum 64–65.

TÖRÖK, B. & KOVÁCS, Á., (2010): Crystallization of Iron Slags Found in Early Medieval Bloomery Furnaces, *Materials Science Forum* **649** 455–460.

TÖRÖK, B. & KOVÁCS, Á., (2011): Materials Characterization of Iron and Slag Finds of the Early Medieval Avar Metallurgists, In: Gür H. (ed.) *Proceedings of the 15th International Metallurgy & Materials Congress*, Istanbul, 386–397.

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