

ZRÍNYI-ÚJVÁR RÉGÉSZETI LELŐHELYÉN TALÁLT VASLELETEK ANYAGVIZSGÁLATAINAK EREDMÉNYEI

THE RESULTS OF MATERIAL TESTINGS OF IRON FINDS FROM THE ARCHAEOLOGICAL SITE OF ZRÍNYI-ÚJVÁR*

BARTHA Tibor¹; TÖRÖK Béla²; BARKÓCZY Péter³ & PADÁNYI József⁴

¹Nemzeti Közszolgálati Egyetem – Katonai Műszaki Doktori Iskola, bartha.tibor@uni-nke.hu

²Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportja (ARGUM), bela.torok@uni-miskolc.hu

³Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportja (ARGUM), peter.barkoczy@gmail.com

⁴Nemzeti Közszolgálati Egyetem – Katonai Műszaki Doktori Iskola, padanyi.jozsef@uni-nke.hu

Abstract

During the last decade, numerous archaeological finds were unearthed at the site of Zrínyi-Újvár. These finds are of interest both to military historians and archaeometallurgists.

The majority of the assemblage including artillery and infantry balls (cannon balls, mortar bombs, musket balls) belongs to the Ottoman siege of the fortress in 1664. During the last excavation in 2017, some other finds, musket balls and nails were found in the well of the fortress. This study presents the material characteristics resulted by the examinations on iron finds carried out to date.

There is also an aim of the current study to reveal the production techniques of the artefacts, and to investigate the technological aspects of the examined iron finds from this period.

Kivonat

A Zrínyi-Újvár területén folyó régészeti kutatómunka eredményeként az elmúlt több mint egy évtized során számos olyan lelet került felszínre, amelyek hadtörténeti vonatkozásuk mellett archeometallurgiai szempontból is érdekességet jelentettek. Ezen leletek döntő többségét a vár 1664-es török ostromához köthető tüzérségi és gyalogsági lövedékek alkotják. De felszínre kerültek a 2017-ben feltárt várkút szerkezetéhez használt különféle ácszegek is.

Ebben a tanulmányban – mintegy összegzőként – az eddigi kutatások során előkerült tárgyak közül néhány vas leletmintát vizsgálati eredményeit mutatjuk be.

A vas tárgyakon végzett vizsgálatok során az volt az elsődleges cél, hogy a kémiai összetétel, valamint makro- és mikroszerkezet-vizsgálatok által választ kapjunk az alábbi kérdésekre: az egyes leletminták milyen anyagból és technológiával készültek, valamint, hogy az egyes mintáknál milyen azonosítható gyártási sajátosságokat lehet megállapítani vagy azokra következtetni.

KEYWORDS: ZRÍNYI-ÚJVÁR, IRON FINDS, MATERIAL TESTING, ARCHAOMETALLURGY, MACRO- AND MICROSTRUCTURE

KULCSSZAVAK: ZRÍNYI-ÚJVÁR, VAS TÁRGYAK, ANYAGVIZSGÁLAT, ARCHEOMETALLURGIA, MAKRO- ÉS MIKROSZERKEZET VIZSGÁLATOK

* How to cite this paper: BARTHA T.; TÖRÖK B.; BARKÓCZY P. & PADÁNYI J., (2020): Zrínyi-Újvár régészeti lelőhelyén talált vasleletek anyagvizsgálatainak eredményei / The results of material testings of iron finds from the archaeological site of Zrínyi-Újvár, *Archeometriai Műhely* XVII/2 157-170.

Bevezetés

Zrínyi-Újvár területén folyó kutatómunka eredményeként az elmúlt több mint egy évtized során számos olyan hadtörténeti szempontból fontos tárgy került felszínre, amelyek – történeti vonatkozásuk mellett – archeometallurgiai szempontból is érdekességet jelenthetnek. Ezen tárgyak döntő többsége Zrínyi-Újvár 1664-es török ostromához köthető tűzérési és gyalogsági lövedékek, illetve azok repeszei voltak. A régészeti kutatásból előkerült anyagok a kaposvári Rippl-Rónai Múzeumba, a hadszíntérkutatás anyagai a Hadtörténeti Intézet és Múzeumba kerültek. A területen zajló, átfogó régészeti kutatásokat Vándor László és Költő László vezetik, hadirégészeti kutatásaink ezt támogatják, ennek kiegészítő elemei. A régészeti kutatásokról szóló fontosabb publikációkat a felhasznált irodalmak között soroltuk fel (Vándor et al. 2018 és Vándor 2019).

A tárgyak kormeghatározását megkönnyítette, hogy a területen csupán egyszer, 1664-ben zajlott ostrom. Ezt követően a várat a török felrobbantotta, amelyet a későbbiek során sem építettek újra. Ezért bizonyos, hogy az emlékek, jól keltezhetően az ostromhoz és az azt megelőző évekhez kapcsolhatók.

Az elmúlt évtizedben a kutatási területről előkerült tárgyak döntő hányadát az ólomlövedékek, ágyúgolyók, mozsárbombák, és azok repeszei alkották. A kutatási területen talált tárgyaknak a vizsgálathoz való előkészítését, a vizsgálatokat és azok kiértékelését a Hadtudományi és Honvédtisztviselői Kar, valamint a Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportja (ARGUM) egy közös kutatás keretében hajtotta végre.

A kémiai összetételre, valamint makro-, és mikroszerkezetre irányuló vizsgálatok elsődleges célja a tárgyak alapvető anyagi tulajdonságainak meghatározása volt. Ezen felül fontos célkitűzés volt, hogy a vizsgálati eredmények által, lehetőség szerint minél pontosabb, részletesebb információkat kapjunk az adott tárgyak készítési, gyártási technológiájáról. Ez egyrészt új információk begyűjtését és elméletek megfogalmazását, másrészt korábbi feltételezések megerősítését jelentette.

Az elmúlt évtized vizsgálati szempontjából egy újabb fejezetet nyitott, amikor a 2017 áprilisában, a régészek által feltárt nyolcszögletű, mintegy 15 méter mély várkútból további, a vizsgálat témaköréhez kapcsolódó tárgyak kerültek a felszínre. A kútból nem csak az annak szerkezetét alkotó kútház-, és béléslemek, pallók, gerendák, valamint a kút ácsolatának egyéb elemei kerültek

elő, hanem a feltárás során a kútból kitermelt földben jelentős mennyiségben megtalálhatóak voltak a kút szerkezetének összeállításához használt kovácsolt szegek is.

Ennek köszönhetően 2018-ban a vizsgálatok kibővültek a kútfeltárás során előkerült, a kút építéséhez használt vasszegek archeometriai vizsgálataival.

A szerzők, jelen összegző tanulmánnyal, az elmúlt bő egy évtizedben előkerült vasleletek kiválasztott példányainak anyagvizsgálati eredményeit kívánják bemutatni. A részeredményekről megjelent fontosabb publikációkat a felhasznált irodalmak között soroltuk fel (Bartha 2013; Bartha 2017 és Barkóczy et al. 2012).

A most bemutatott vizsgálatokat 1 db 14 cm átmérőjű, tömör ágyúgolyón, 1 db félbe vágott mozsárbombán, 1 db mozsárbomba repeszen és 3 db vasszegezen végeztük el. A tömör ágyúgolyó a vár sáncától 200 m-re, keletre került elő, az egyik feltételezett török ágyúállás előtt. A mozsárbomba a vár árkából, a mozsárbomba repesze az ostromterületről, míg a vasszegek a kút feltárása során előkerült faanyagból valók.

Eredmények

Ágyúgolyó

Az ágyúgolyó egy kiálló darabjából vettünk kisméretű mintát, amelyből csiszolat készült. A minta vizsgálatát Zeiss AxioVert40 mikroszkóppal végeztük, a felvételek normál és polarizált fényben készültek. Az ágyúgolyót az **1. ábrán** az a. fénykép, annak mikroszerkezetét a b. fénykép mutatja.

A minta mikroszerkezetét vizsgálva megállapítható, hogy a szövetkép teljes egészében megfelel a vas-karbon rendszer vas-grafit eutektikumának, ami 4,27tömeg% karbontartalomnál képződik a kristályosodás során. A mintában más fázist a grafiton és befoglaló mátrixon kívül nem lehetett látni. A mikroszerkezeti kép egyértelműen mutatja, hogy a mátrix anyaga nem homogén, polarizált fényben az is jól kivehető volt, hogy a mátrix apró szemcsékből áll. Nagyobb nagyításban a grafit mellett nem ferritet (az α -vas minimális karbontartalmú szöveteleme) találtunk, aminek egyensúlyban kellene lennie, hanem perlitet (ferrit és vas-karbid szabályos lemezes eutektoidja, 0,8% karbon-tartalomnál keletkezik 723°C hőmérsékleten a kristályosodást követő lehűlés során). A perlit kolóniák polarizált fényben is jól megfigyelhetők voltak.



1 ábra: (a) A vizsgált ágyúgolyó; (b) az ágyúgolyó mikroszerkezete

Fig. 1.: (a) The examined cannon ball; (b) the microstructure of the cannon ball

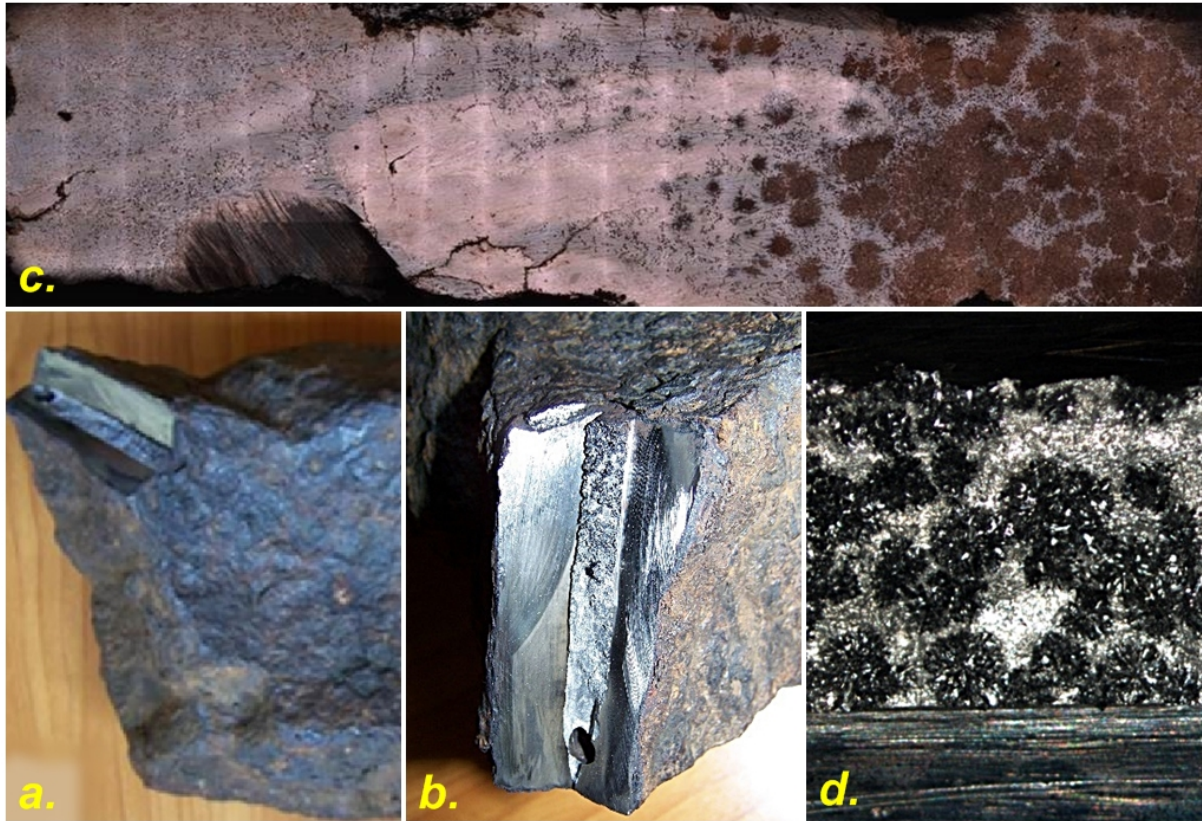
A szövetszerkezet vizsgálat alapján megállapítható, hogy az ágyúgolyó alapanyaga nagy valószínűséggel eutektikus összetételű (4,27tömeg% karbon). A mikroszerkezet alapján következtetni lehet arra, hogy az ágyúgolyó gyártói ismerték ezt az összetételt, miután ez a legalacsonyabb olvadáspontú vas-karbon ötvözet. Ebből és a tárgy jellegéből következik, hogy öntéssel készült. Az ágyúgolyó lassan hűlt, a kristályosodás egyensúlyban volt. Ellenben a hűlés nem elég lassan történt ahhoz, hogy a továbbiakban is egyensúlyi folyamat menjen végbe. Ekkor ugyanis ferritet kellene találnunk a grafit mellett. Ehhez a folyamathoz jelentős karbon diffúzió szükséges, amit – ha gyorsított hűtéssel akadályozunk – akkor az nem megy végbe. Ehelyett perlit kialakulása következik be. A hűlés a kristályosodás után elegendően gyors lehetett, mert sehol nem látható ferrit a mikroszerkezetben. Az így kialakult szövetszerkezetnek, és így az ágyúgolyónak magának is jóval nagyobb a szilárdsága, mint ha ferrit lenne a grafit mellett. Vélemelmezhetően ezzel az ismerettel is rendelkeztek az ágyúgolyó készítői. Ennek megfelelően az ágyúgolyót vagy olyan formába öntötték, ami biztosította számukra ezt a lehülési sebességet, vagy kibontották a golyót a formából, amikor megszilárdult és hagyták, hogy vörösszáz tartományából levegőn hűljön le. Visszatérve a kristályosodásra, – mint később a mozsárbombán és a repeszen is látható lesz – a kristályosodás nem egyensúlyban rideg, alakíthatatlan, a dinamikus

hatásoknak nem ellenálló szövetszerkezetet eredményez. Ebben az esetben vélhetőleg azért igyekeztek a grafitos kristályosodást elérni, hogy az ágyúgolyó a dinamikus hatásoknak jól ellenálljon és hatékonyan betöltse feladatát, a rombolást. Az ágyúgolyón jól kivehető az öntőforma osztósíkjának nyoma (Barkóczy et al. 2012).

Repsz

A mozsárbomba repeszből (**2a ábra**) töretminta és csiszolati minta készült. A töretet Zeiss Stereo Discovery v1.2 sztereo mikroszkóppal és Zeiss EVO MA 10 típusú scanning elektronmikroszkóppal (továbbiakban SEM) vizsgáltuk. A csiszolati mintát SiC-os csiszolóváson való csiszolást követően 3µm-es gyémántszemcséket tartalmazó polírozó pasztával políroztuk, majd az elkészült csiszolatot nitallal marattuk. A mikroszerkezetről Zeiss AxioImager M1m mikroszkóppal készültek felvételek.

A repeszből a mintavétel oly módon történt, hogy a külső felülettől a belső felületig láthatóvá váljon a minta mikroszerkezete (**2b ábra**). A mintáról készült mozaikképet a **2c ábra** mutatja. Ezen – de a **2b ábrán** is – jól látható, hogy a repesz belső és külső területe jelentősen eltér egymástól. A töretekéről készült felvételek szintén ezt erősítik meg. A **2d ábrán** eutektikus grafitfészkek láthatók a töretfelületen. Ebből következik, hogy a fénykép kerek sötét foltjait ugyancsak eutektikus grafit alkotja (Barkóczy et al. 2012).



2 ábra: (a) A mozsárbomba repesz; (b) a mintavétel helye a repeszen; (c) a repesz csiszolatáról készített mozaikkép. Jobb oldalon a bomba belső (lőport tartalmazó) részéhez közeli rész; (d) eutektikus grafitfészkek a töretfelületen

Fig. 2: (a) Fragment of mortarbomb; (b) place of sampling on the fragment; (c) mosaic micrograph of the sample of the fragment. The inside surface of the bomb can be seen on the right hand side (where the black powder was placed); (d) eutectic graphite colonies on the surface

Nagyobb nagyításban az is láthatóvá vált, hogy a külső felület közelében ledeburit (vas-karbon 2 tömeg% korbont tartalmazó szilárd oldatának és a vas-karbidnak eutektikuma. 4,3 tömeg% karbon-tartalomnál kristályosodik 1148°C-on) található kevés perlitté átalakult ausztenit (vas-karbon 2 tömeg% korbont tartalmazó szilárd oldata) dendrittel. Ebből következik, hogy a vizsgált repesz öntéssel készült, amire a tárgy jellege is utal. Az összetétele minimális értékkel kisebb, mint az eutektikus összetétel. Vélhetően a mozsárbomba készítői is ezen összetétel elérését tűzték ki célul. A ledeburit befoglaló mátrixa – ami körbe veszi az ausztenit rudakat, – vas-karbid, amelyek később a lehülés során perlitté alakultak át. Ez az elrendeződés nagy keménységet biztosít az anyagnak, ellenben törekeny, a dinamikus hatásokkal szemben nem vagy csak kevésbé ellenálló ötvözet jön létre. A mozsárbomba funkcióját tekintve, a készítőknél vélhetően egy ilyen mechanikai tulajdonságokkal rendelkező ötvözet kialakítása volt a céljuk. Nagy valószínűséggel a készítői is jól ismerték ezt a hatást. Ez a szövetszerkezet csak gyors hűtéssel jön létre, ezért jó hőelvonó képességű formába kellett önteni az öntöttvasat. A mozsárbomba kialakítását

figyelembe véve, a töltéshez alkalmazott üreget mag alkalmazásával kellett létrehozni, ami akkor sem vezet el elég hőt, ha jó hővezető. Ennek megfelelően a belső oldal felé egyre csökkenő lehülési sebesség mellett kristályosodik a fém-tömeg. Így a belső oldal felé haladva a fálvastagság 2/3-ánál megjelenik a perlittel körbe fogott grafit.

Mozsárbomba

A félbevágott mozsárbomba esetén, a bombafalából egy kb. 15x30 mm-es ékalakú minta került eltávolításra. Ebből a már ismertetett módon csiszolat készült, melyet AxioImager M1m mikroszkóppal vizsgáltunk. A mozsárbomba (3. ábra) falából kivett minta szinte mindenben megegyezett a repesznél látható mikroszerkezettel, azzal a különbséggel, hogy kevesebb ausztenit dendrit látható benne. Ebből arra lehet következtetni, hogy ugyanazzal a technikával készítették, mint a repeszt adó mozsárbombát (Barkóczy et al. 2012).



3. ábra: A mozsárbomba metszete

Fig. 3: Full section of mortarbomb

Vasszegek

Miután a vasszegeken is lehetséges volt a roncsolásos anyagvizsgálat, a leletekből mintákat vágunk ki a metallográfiai vizsgálathoz. A minták a vasszegek esetén vékony bakelitárcsával lettek kivágva, ügyelve, hogy azok ne melegedjenek fel kritikus mértékben. A mintákat mechanikusan csiszoltuk, majd políroztuk.

Az előkészített felületről optikai mikroszkópos felvételek és mozaikfelvételek is készültek a Miskolci Egyetem Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetében, Zeiss AxioImager mikroszkóppal. Ezen kívül energiadiszperzív spektrométerrel felszerelt pásztázó elektronmikroszkópos (SEM-EDS) vizsgálatok is történtek.

A két kisméretű szeg esetében szabadon lehetett mintát venni, míg a nagy szeg esetében ügyelni kellett arra, hogy a tárgy a későbbiek során restaurálásra kerül. Emiatt a mintavételi stratégia az volt, hogy a kisméretű szegek esetén keresztmetszetben vizsgáljuk meg a szegek fejét és szárát, így elegendő információt kaphatunk a készítésechnikáról, így a nagyméretű szeg végéről vett kicsiny minta is elegendő, hogy meg lehessen foglalmazni annak készítési módját.

A **4. ábrán** látható két kisméretű, négyszög keresztmetszetű szeg hossza 86 mm és 82 mm, a nagyobb szeg hossza pedig 145 mm. A fekete nyilak a mintavételek helyeit mutatják, ahol a szegek keresztmetszete négyszög, méretük pedig 4x3 mm, illetve 5x4 mm. A piros nyíllal jelölt helyen (ahol a feltüntetett méret csupán tájékoztató jellegű) a szeg szárának geometriája szintén négyszög, keresztmetszete 8x6 mm.

A nagyobb szeg az egyik – nagy valószínűséggel a kútházhoz tartozó – faelem 25 mm átmérőjű hengeres csapjának biztosító szege volt (**5. ábra**).



4. ábra: A vizsgált vasszegek, a minták leválasztása után. A méretek az eredeti hosszra vonatkoznak.

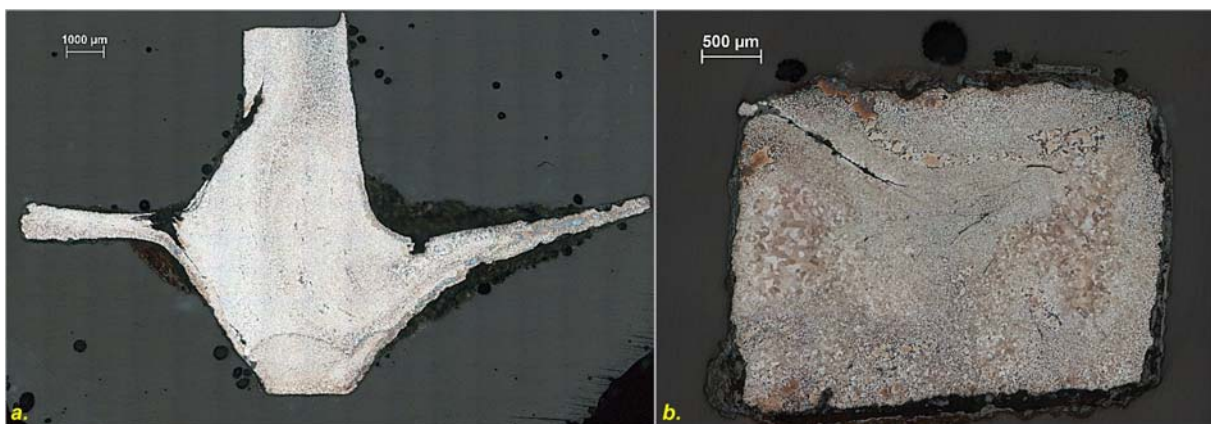
Fig. 4: The examined iron nails, after sampling. Dimensions refer to original length.



5. ábra: A nagyobb szeg, az eredeti fa szerkezeti elemekkel – a facsap és a szeg csapfuratból való kiemelését követően

Fig. 5: The bigger nail with the original wooden structural pieces – wooden peg and iron nail after taking out of the hole

A 86 mm hosszúságú szeg fejrészéről (**6a ábra**) és száráról (**6b ábra**) készültek felvételek. A mozaikfelvételek szemléletesen mutatják a szeg réteges szerkezetét. Látható, hogy különböző karbonattartalmú rétegek kerültek összekovácsolásra, és így alakult ki a réteges szerkezet.

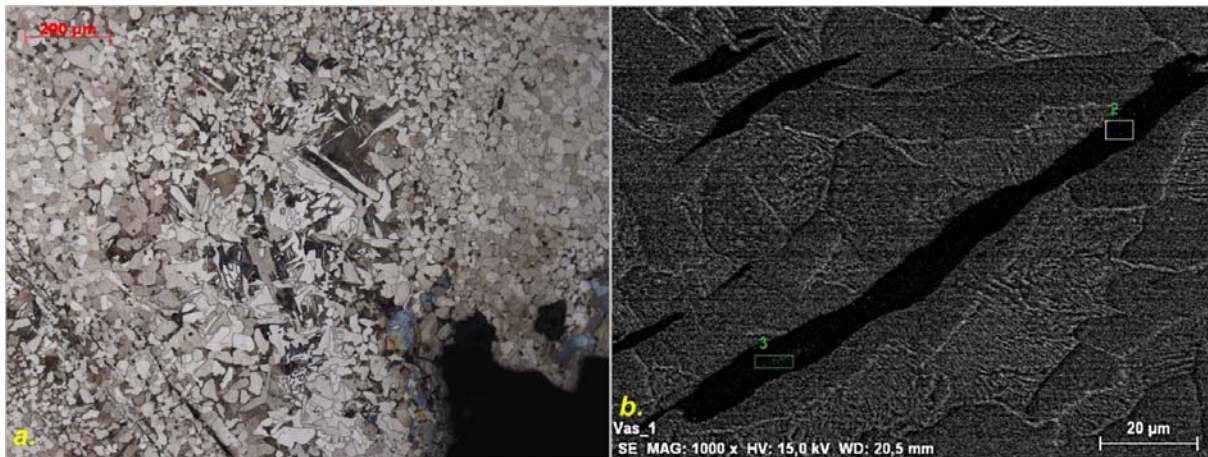


6a ábra: A 86 mm-es vasszeg fejrészéről készült mozaikfelvétel; **6b ábra:** A 86 mm-es szárának keresztmetszetéről készült mozaikfelvétel

Fig. 6a: OM-micrograph of the head of the 86 mm long iron nail; **Fig. 6b:** OM-micrograph of the shank of the 86 mm long iron nail

A teljesen perlitmentes, nagy szemcsés, ferrites területtől a ferrit-perlites sávokig többféle szövetszerkezetet találunk. A ferrit gyakorlatilag az α -vas minimális karbonattartalmú szöveteleme (gyakorlatilag lágyvas), a perlit pedig a ferrit és a cementit (vas-karbid, FeC_3) eutektoidja, az előzőnél keményebb szövetelem, nyilván magasabb karbonattartalommal. A minta nagyon heterogénnek bizonyult, így átlagos karbonattartalomról nemigen van értelme beszélni. Ami azonban szembetűnő, hogy jelentős mennyiségű karbonat tartalmazó területeket nem lehet látni, a teljes keresztmetszetekben a ferrit hányada mindenhol magas. A réteges szerkezetre az ad magyarázatot, hogy a primer alapanyagot, a karbonattartalom eloszlásában rendszerint heterogén, salakzárványokkal igencsak tarkított vasbucát előzetesen próbálták minél jobban homogenizálni. Ez azt jelenti, hogy a tömörített, salaktalanított bucát többször – akár 10-15-ször is – átkovácsolták, hajtogatták, közben kovács-hegesztették, a későbbi kívánt termék könnyebb kialakítását elősegítendő, vékonyabb rudat vagy lemezformájú előgyártmányt készítettek belőle.

Az is előfordult, hogy több vasbucá darabot kovácshegesztettek össze egy darabbá és azt homogenizálták többszörös hajtogatással. A késztermék – jelen esetben maga a vasszeg – elkészítésénél az újbóli felhevítéskor azonban gyakran előfordul, hogy a réteges szerkezet ugyan megmarad, de a kovácshegesztés nyomai diffúzió útján elmosódnak, eltűnnek. Vastagabb keresztmetszetű tárgyknál jellemző, hogy a belső részen még megmaradnak a kovácshegesztés nyomai a viszonylagosan vastagabb rétegeknél, a rétegek pedig a felszín felé egyre vékonyodnak. Így tehát, már maga az előgyártmány alapanyaga heterogén, réteges, amiből azután a szeget a kívánt szárhosszal és keresztmetszettel alakították ki.



7a ábra: A 86 mm-es vasszeg fejrészében, a fejrész „vállában” készült felvétel; **7b ábra:** A 86 mm-es vasszegben található hosszú, megnyúlt (2-es és 3-as számmal jelölt) zárványok SEM-EDS képe

Fig. 7a: OM-micrograph of the „shoulder part” of the head of the 86 mm long iron nail; **Fig. 7b:** SEM-EDS micrograph of elongated inclusion (Nr. 2 and Nr. 3) - 86 mm long iron nail

Főleg a fejről készült felvételen figyelhető meg az érdekes szerkezet, ahol durva és finomszemcsés területek láthatók együtt. Azokon a területeken, ahol sok a perlit (**7a ábra**), részleges ausztenítésből visszaalakuló szövetet látunk. Ez meleg kovácsolásra enged következtetni, ami jellemzőnek mondható hasonló tárgyak készítését tekintve. A részleges ausztenítés és visszaalakulás természetesen máshogy jelentkezik az eltérő karbon tartalmú területeken. A ferrites területeken szinte alig lehet észrevenni a hatását, egyedül a határok lekerekedett volta árulkodik erről. A ferrit-perlites területeken azonban együtt láthatjuk a nem ausztenitesedett és az ausztenit bomlásából keletkezett, valójában minőségében azonos szövetelemeket. Amire tekintettel kell lennünk, hogy az átalakulási hőmérséklet, főleg a perlit melletti ferriszemcsék esetében függ a közvetlen térfogat karbon tartalmától. Emiatt a lehülés a karbon tartalomtól függően más-más erélyességet jelent. Így találtunk a kis karbon tartalmú területeken szabályos szemcséket, mellette tús alakú, ún. Widmanstätten-ferritet a nagy karbon tartalmú, inkább perlites területek határára. A szövetszerkezetet tekintve az alakítási hőmérséklet 750°C és 800°C között lehetett, ami az izzított vas színskáláján a meggyiros fokozat, ahonnan az utolsó alakítási fázis után a tárgy szabad levegőn hűlt.

Érdekes kérdés a szeg fejrészének kialakítása. A fejrészben a szárhoz hasonlóan réteges szerkezetet lehet megfigyelni. A szár jobb oldalán sokkal több a perlit, azon az oldalon a fejrészben is több perlit látható. A fejrész bal oldala szinte teljesen ferrites, akárcsak a szár esetében.

1. táblázat: A 86 mm-es vasszeg alapanyagának elemösszetétele.

Table 1.: Chemical composition of the 86 mm long iron nail

Elem	C [tömeg% / wt%]	C [atom% / at%]
C	0,59	2,61
O	1,15	3,82
Fe	98,26	93,56
Total	100,00	100,00

Ha a rétegek futását, mint szálfutást tekintjük, akkor látható, hogy a szár szálfutása egy visszazömülésből eredő kihajlást mutat a fejrészben, és jobb oldal felé hajlik vissza, ahol a fejrész csatlakozása hosszabb és több anyagot tartalmaz. Ez alapján a fejrész kialakításának technológiájaként a zömítést nevezhetjük meg, amely évszázadokon át bevett módszer volt a szegkészítésnél. A SEM-EDS elemzés vason és karbonon kívül nem mutatott ki más elemet a szeg anyagában (1. táblázat).

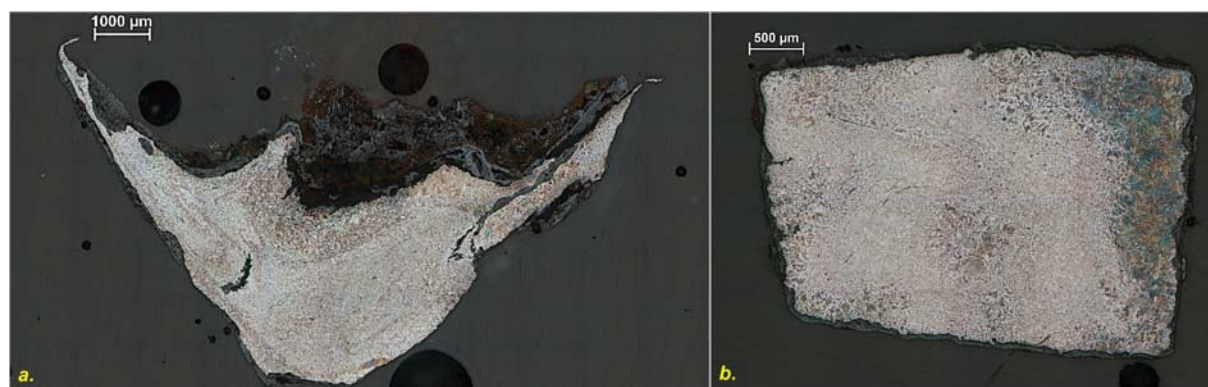
Az anyagszerkezetben viszonylagosan kevés, az alakítás irányában hosszban megnyúló zárvány volt látható (**7b ábra**). Az **2. és 3. táblázatok**ban látható EDS-elemzésekből kiderül, hogy a zárványoknak igen nagy a vas-oxid tartalma. A kohósítás salakjaira általában jellemző fayalit ($2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$) itt vélhetően nem domináns, ezek a zárványok a jellemzően Ca-Fe-szilikátos kovácssalakok jellemző összetételét mutatják, ahol jelentős a wüstit fázis (FeO). A viszonylagosan kis mennyiségű alumínium, magnézium és kálium minden bizonnyal komplex oxidok összetevői.

2. táblázat: A 86 mm-es vasszegben kiválasztott zárvány 2-es területének összetétele (EDS-elemzés).

Table 2.: Compositions of the inclusion (Nr.2) in the 86 mm long iron nail (EDS analysis)

Elem	C [tömeg% / wt%]	C [atom% / at%]
C	0,06	0,19
O	10,40	24,31
Mg	3,68	5,66
Al	3,32	4,60
Si	10,24	13,63
K	1,09	1,04
Ca	10,99	10,25
Fe	60,22	40,31
Total	100,00	100,00

A továbbiakban a 82 mm hosszúságú (kisebb), illetve a 145 mm hosszúságú (nagyobb) vasszeg vizsgálatánál alapvetően a 86 mm-es szegnél kiemelt jellegzetességekhez való hasonlóság, vagy attól való eltérés kerül elemzésre. A 82 mm hosszú szeg fejrészének (**8a ábra**) és szárának (**8b ábra**) tanulmányozásakor még jellegzetesebben mutatkozik a réteges szerkezet, illetve az előgyártmány homogenizálása folytán kialakult speciális szövetszerkezet. Néhol kiterjedt diffúziós zóna látható a kis és nagy perlit-tartalmú sávok között, máshol pedig ez a zóna nagyon keskeny. A nagy diffúziós zóna a bucában kialakult karbon-diffúzióra, a keskeny diffúziós zóna pedig a homogenizáló hajtogatásnál kialakuló határokon a kovácsolás melegeiben meginduló diffúzióra vezethető vissza.



8a ábra: A 82 mm-es vasszeg fejrészéről készült mozaikfelvétel; **8b ábra:** A 82 mm-es vasszeg szárának keresztmetszetéről készült mozaikfelvétel

Fig. 8a: OM-micrograph of the head of the 82 mm long iron nail; **Fig. 8b:** OM-micrograph: of the shank of the 82 mm long iron nail

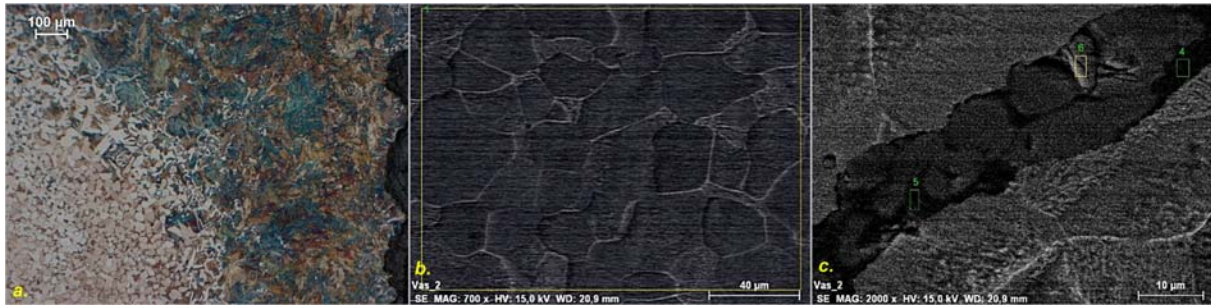
3. táblázat: A 86 mm-es vasszegben kiválasztott zárvány 3-as területének összetétele (EDS-elemzés).

Table 3.: Compositions of the inclusion (Nr.3) in the 86 mm long iron nail (EDS analysis)

Elem	C [tömeg% / wt%]	C [atom% / at%]
C	0,23	0,74
O	9,80	23,55
Mg	2,83	4,48
Al	2,47	3,52
Si	9,30	12,74
K	0,62	0,61
Ca	10,55	10,12
Fe	64,21	44,23
Total	100,00	100,00

Ebben a szegben is megtalálható annak nyoma, hogy csak félig ausztenitisedett állapotban történt a kovácsolás (**9a ábra**). Ez esetben is a szabad lehülésre találunk bizonyítékokat a ferrit-perlites területeken.

A 82 mm-es szeg szövetszerkezetében tisztán látható, hogy szeg fejrészének kialakítása a saját anyagának zömítésével történt. Ebben a szegben már találunk teljesen perlites területet is, amit az előző esetben nem fedeztünk fel. A mikroszerkezet ez esetben is heterogén, így nem célravezető átlagos karbon tartalmat meghatározni. A SEM-EDS elemzés (**9b ábra és 4. táblázat**) ebben a szegben sem mutatott ki számottevő szennyezőt, tulajdonképpen szinte tiszta vas-karbon ötvözetel állunk szemben.



9a ábra: A 82 mm-es vasszeg szár keresztmetszetéről készült felvétel; **9b ábra:** A 82 mm-es vasszeg jellemző szövetszerkezetének SEM-képe; **9c ábra:** A 82 mm-es vasszegben található hosszú, megnyúlt zárványok (4-6. számokkal jelöltek) SEM-EDS képe

Fig. 9a: OM-micrograph of cross-section of the shank - 82 mm long iron nail; **Fig. 9b:** SEM-micrograph of the typical microstructure of the 82 mm long iron nail; **Fig. 9c:** SEM-EDS micrograph of elongated inclusions (Nr. 4 - Nr. 6) - 82 mm long iron nail

4. táblázat: A 82 mm-es vasszeg alapanyagának elemösszetétele.

Table 4.: Composition of 82 mm long iron nail

Elem	C [tömeg% / wt%]	C [atom% / at%]
C	0,62	2,8
Fe	99,38	97,2
Total	100,00	100,00

5. táblázat: A 82 mm-es vasszegben kiválasztott zárvány 4-es területének összetétele

Table 5.: Composition of the inclusion (Nr.4) - 82 mm long iron nail

Elem	C [tömeg% / wt%]	C [atom% / at%]
C	0,13	0,36
O	19,57	38,88
Al	5,03	5,92
Si	16,64	18,60
P	0,98	1,00
K	5,12	4,16
Ca	4,65	3,69
Mn	2,30	1,33
Fe	45,77	26,05
Total	100,00	100,00

6. táblázat: A 82 mm-es vasszegben kiválasztott zárvány 5-ös területének összetétele

Table 6.: Composition of the inclusion (Nr.5) - 82 mm long iron nail

Elem	C [tömeg% / wt%]	C [atom% / at%]
C	0,29	0,68
O	26,71	47,88
Mg	0,94	1,11
Al	5,21	5,54
Si	16,15	16,49
P	0,77	0,71
K	4,54	3,33
Ca	4,60	3,29
Mn	1,63	0,85
Fe	39,16	20,11
Total	100,00	100,00

Mind a készítése technológiát, mind az anyag alapvető mikroszerkezeti sajátosságait tekintve a két szeg jelentős mértékben hasonlít egymásra.

A 82 mm-es szeg szerkezetében is megjelentek az alakítás irányában megnyúlt zárványok, azonban kisebb, gömbös – azaz nem torzult – formában lévő zárványok is megfigyelhetők. Egy vizsgált zárvány maratás által feltárt mikroszerkezetében két fázis különböztethető meg egyértelműen. Mindkét terület SEM-EDS elemzése megtörtént (**9c ábra és 5-7. táblázat**).

7. táblázat: A 82 mm-es vasszegben kiválasztott zárvány 6-os területének összetétele

Table 7.: Composition of the inclusion (Nr.6) - 82 mm long iron nail

Elem	C [tömeg% / wt%]	C [atom% / at%]
C	1,12	3,35
O	20,81	46,58
Fe	78,07	50,06
Total	100,00	100,00

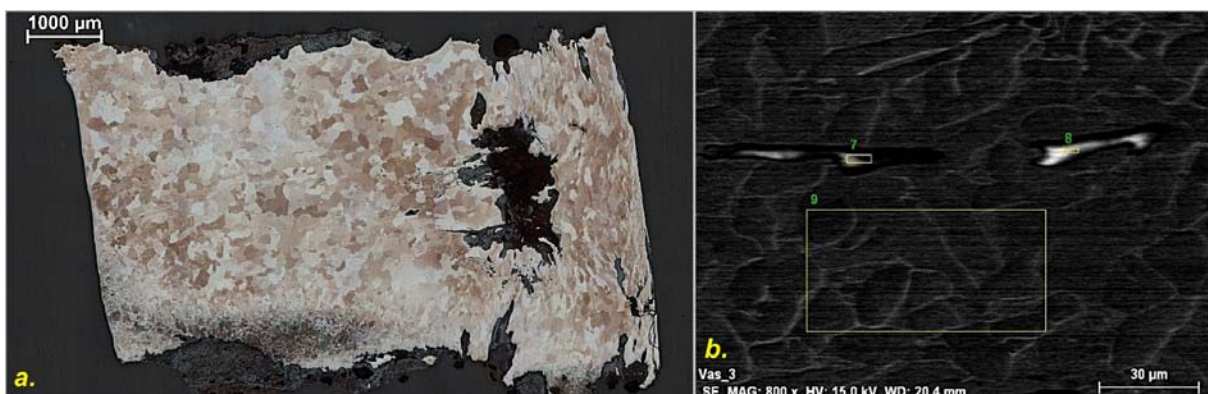
8. táblázat: A nagy (145 mm) vasszeg alapanyagának elemösszetétele

Table 8.: Composition of 145 mm long iron nail

Elem	C [tömeg% / wt%]	C [atom% / at%]
C	0,46	2,10
Fe	99,54	97,90
Total	100,00	100,00

A világos fázis gyakorlatilag csak vasoxidból áll. A befoglaló sötét fázisban hasonló összetételt találunk, mint a 86 mm-es szeg esetében, annyi eltéréssel, hogy a szilíciumtartalma nagyobb, és kevesebb kalcium mérhető benne. Mindemellett ez a zárvány is kovácssalak maradványaként kezelhető, ugyanis a nagy vas-oxid tartalom erre utal. A salakzárványok bázikuságának (CaO/SiO₂) változásához, azaz a zárványok egymáshoz képest tapasztalható bizonyos mértékű heterogenitásához hozzájárulhat az egykori kovács salakképző adalék anyagának egyedi mértékű használata is.

A vizsgálati stratégia szerint a legmondosabban és a legkisebb minta a nagy szegből került kivételre. Ez esetben összehasonlításként alapvetően alkalmaztuk az előző két, rövidebb szeg vizsgálatánál szerzett tapasztalatokat. Csak a szár végéről került keresztmetszeti minta kivételre, a szeg hegyéhez közel, hogy könnyen restaurálható legyen. Ez persze azt is jelenti, hogy a minta nem minden szempontból reprezentatív, azonban így is megfelelő mértékben tükrözi a vizsgálat szempontjából fontos jellemzőket. A nagy szeg mozaikképén (**10a ábra**) a keresztmetszet jelentős részében nagy szemcsés ferrit figyelhető meg, ami alacsony karbontartalomra utal. A keresztmetszet alsó részében látható egy nagy karbontartalmú réteg, ami jól párhuzamba állítható az előzőleg vizsgált szegeknél leírtakkal. A keresztmetszet jobb oldalán nyújtott szemcsék figyelhetők meg, amelyeknek hossz tengelyük az adott oldallal párhuzamos. Ez mérsékelt meleg, esetleg hideg alakításra utal. A nyújtott szemcseforma vélhetően a szeg készítésekor alakult ki, de az sem kizárható, hogy a tárgy használatánál keletkezett, már hideg állapotban. A keresztmetszet jobb oldalán zárványsorokkal tarkított üreg látható, amely a készítés alatt keletkezhetett és az egyszerű, valószínűleg egyszerre nagyobb számban elkészítendő termék viszonylagosan gyors, egyszerű és nem különösebben alapos kovácsolásáról árulkodik. Ami bizonyos, hogy a készítése technológia azonos a másik két szeg esetében látottakkal. A SEM-EDS elemzés ebben az esetben is tiszta, egyéb ötvözők nélküli vas-karbon ötvözetet mutat, amiben a szennyezők jelenléte nem jelentős (**8. táblázat**).



10a ábra: A nagy (145 mm) vasszeg keresztmetszetéről készült mozaikfelvétel; **10b ábra:** A nagy (145 mm) vasszegben található hosszú, megnyúlt zárványok (7-9. számokkal jelöltek) SEM-EDS elemzése

Fig. 10a: OM-micrograph of the shank of the 145 mm long iron nail; **Fig. 10b:** SEM-EDS micrograph of elongated inclusions (Nr. 7 - Nr. 9) - 145 mm long iron nail

9. táblázat: A nagy (145 mm) vasszegben kiválasztott zárvány 7-es területének összetétele

Table 9.: Composition of the inclusion (Nr.7) - 145 mm long iron nail

Elem	C [tömeg% / wt%]	C [atom% / at%]
C	0,01	0,02
O	28,60	50,12
Mg	1,58	1,82
Al	3,62	3,76
Si	14,44	14,42
P	0,54	0,49
K	3,59	2,57
Ca	14,40	10,08
Mn	3,84	1,96
Fe	29,38	14,75
Total	100,00	100,00

10. táblázat: A nagy vasszegben kiválasztott zárvány 8-as területének összetétele

Table 10.: Composition of the inclusion (Nr.8) - 145 mm long iron nail

Elem	C [tömeg% / wt%]	C [atom% / at%]
C	0,83	1,92
O	28,03	48,55
Mg	2,57	2,93
Al	2,67	2,74
Si	14,84	14,64
P	0,53	0,48
K	2,88	2,04
Ca	15,47	10,70
Mn	4,12	2,08
Fe	28,06	13,92
Total	100,00	100,00

11. táblázat: A nagy vasszegben kiválasztott zárvány 9-es területének összetétele

Table 11.: Composition of the inclusion (Nr.9) - 145 mm long iron nail

Elem	C [tömeg% / wt%]	C [atom% / at%]
C	0,97	4,34
Fe	99,03	95,66
Total	100,00	100,00

A nagy szeg vizsgált keresztmetszetében főleg az üreghez közel lehetett zárványt találni. Az elemzés eredményei a **10b ábrán** és a **9-11. táblázatokban** láthatók. A zárványvizsgálat SEM-EDS eredményei az előző két, kisebb szegnél tapasztalt összetételekhez képest jóval kisebb vastartalmat mutattak, kis mértékben nagyobb Si-tartalommal, de ugyancsak magas Ca-tartalommal. Az SEM-EDS eredmények által reprezentált relatíve magas CaO/SiO₂ bázikusság nem vall a kohósításból eredő salak zárványára. Valószínűleg ezek is kovácssalakok maradványai, amelyek nagyobb arányban tartalmazzák a salakképző-folyósító anyagot.

Néhány technológiatörténeti ábrázolás

A három szeg készítése technikája azonosnak mondható, és az alapanyagkészítés gondossága is nagyon közel áll egymáshoz. A készítése technika az anyagvizsgálatok alapján a **11. ábrán** bemutatott korabeli munkamódszerekhez köthetők (Barkóczy 2018).

Egy 1482-es német ábrázoláson (**11a ábra**) a szegkovács egy hokedlin ül és kalapácsával vörösen izzó szegen dolgozik. (A megjelölt forrás (<http://www.nuernberger-hausbuecher.de/75-Amb-2-317-101-r>) az ábrázolást egy 1522-es műhöz is datálja.) A szegkovács egy speciális, szegformálásra használt, kilyukasztott szerszamba illesztve, éppen a szeg fejét zömíti. A **11b ábra** (1525-ös német ábrázolás) ugyanazt a műveletet ábrázolja. Itt a háttérben nem csak az épített kovácstűzhely látható az előgyártmányokkal, hanem jól megfigyelhetők a kovácstűzhelyhez alkalmazott fűjtatók is. A bal oldali képen látható szeg nagyon hasonlít az általunk vizsgált nagy vasszeg fejének kialakításához. Az ábrázolás rámutat arra is, hogy a szegfejek ilyenfajta kialakítása a XVII. században már koránt sem volt ismeretlen.



11a-b ábra: Szegkovácsok munka közben ((1482-es és 1525-ös német ábrázolás)); **11c ábra:** Szegkészítő a műhelyében (1572-es német ábrázolás)

Fig. 11a-b: Nailers (Nailsmith) doing their job; **Fig. 11c:** Nailers in his workshop (german portrayal - 1572)

Egy harmadik, 1572-es német ábrázoláson (**11c ábra**) a szegkészítő a műhelyében, az erre kialakított munkablokkjánál ül és az üllőn egy hosszú vasrúd hegyéből szeget kovácsol. A termék mérete miatt a kis üllő mellett közvetlenül használatra készen áll egy ék alakú vágó, amivel a készre kovácsolt hegyet le tudja csapni. A mögötte lévő, szabadon álló tűzhelyben a tűz felszításáról a segédje gondoskodik. A készre kovácsolt szegeket két „eladótáiban” tárolják, mellette pedig a termékpaletta látható.

Összegzés

A vizsgálatok lehetővé tették néhány általánosítható következtetés levonását. Ezek közül talán a legfontosabb az, hogy a lövedékek (ágyúgolyó és a mozsárbombák) készítői tisztában voltak a hűtés gyorsaságának fontosságával. Ahhoz ugyanis, hogy a tömör ágyúgolyó megfelelő romboló hatással rendelkezzen, szívósságot adó szövetszerkezetet kellett elérni. Ezt lassú hűtéssel érték el. Amikor a cél a repeszhatás fokozása volt (mozsárbombák), gyorsabb hűtést alkalmaztak, ami ridegebb szövetszerkezetet hozott létre. Mindezek összhangban vannak más kutatások vonatkozó megállapításaival (Szabó et al. 2013).

A szegekről elmondható, hogy meleg-félmeleg kovácsolással készültek. A vasbuca szerkezetének heterogenitása miatt, annak homogenizálása után is megfigyelhető heterogenitás a tárgyak anyagszerkezetében. A zárványvizsgálatok legmarkánsabb jellemzői a nagy vas-oxid és Ca-tartalom. A zárványok alapvetően az előkovácsolás, alakítás folyamán kialakult melléktermékek maradványai.

Felhasznált irodalom

BARKÓCZY Péter; BARTHA Tibor; KOVÁCS Árpád; PADÁNYI József; & TÖRÖK Béla (2012): Zrínyi-Újvár 1664. évi ostromából származó vas- és ólomlövedékek anyagszerkezeti vizsgálata. *Hadtörténelmi Közlemények*, Hadtörténelmi Intézet és Múzeum, **125/4** 2012. december, Budapest, HU ISSN 0017-6540 p. 1139–1148.

BARTHA Tibor (2013): Jelentés a Zrínyi-Újvár 1664. évi ostromából származó vas- és ólomlövedékek anyagszerkezeti vizsgálatáról. In: HAUSNER Gábor & PADÁNYI József szerk., *Kutatások a hadtudományok és a katonai műszaki tudományok területén*. Nemzeti Közszolgálati Egyetem, – ISBN 978-615-5305-17-7, 189–230.

BARTHA Tibor (2017): A Zrínyi-Újvárnál talált leletek fémvizsgálatának eredményei és értelmezése. – In: BENE Sándor, HAUSNER Gábor, PADÁNYI József szerk., *Határok fölött – Tanulmányok a költő, katona, államférfi Zrínyi Miklósról*. – MTA Bölcsészettudományi Kutatóközpont – Budapest, 2017 – ISBN 978-963-416-071, 389–399.

SZABÓ Géza; KOVÁCS Árpád & BARKÓCZY Péter (2013): A Szülejmán-kori harcászat és haditechnika a szigetvári ágyú és lövedékek archaeometallurgiai vizsgálatainak tükrében. *Gesta* **XII** 83–115.

VÁNDOR László; KÖLTŐ László & VARGA Máté (2018): Őrtilos – Zrínyi-Újvár régészeti feltárása (2016–2017). *A Kaposvári Rippl-Rónai Múzeum Közleményei* **5** 195–202.

VÁNDOR László (2019): A várkút feltárása. In.: HAUSNER Gábor & NÉMETH András szerk., *Zrínyi-Újvár. Egy 17. századi védelmi rendszer az oszmán hódoltság határán*. Dialóg Campus 123–138.

Internetes források:

Die Hausbücher der Nürnberger Zwölfbrüderstiftungen - Amb. 317b.2° Folio 28 verso (Mendel II) - <https://hausbuecher.nuernberg.de/75-Amb-2-317b-28-v/data> (Letöltve: 2018. december 15.)

Die Hausbücher der Nürnberger Zwölfbrüderstiftungen - Amb. 317.2° Folio 101 recto (Mendel I) - <https://hausbuecher.nuernberg.de/75-Amb-2-317-101-r> (Letöltve: 2018. december 15.)

Die Hausbücher der Nürnberger Zwölfbrüderstiftungen - Amb. 317.2° Folio 140 verso (Mendel I) - <https://hausbuecher.nuernberg.de/75-Amb-2-317-140-v/data> (Letöltve: 2018. december 15.)

