

METALOGRAFSKA PREISKAVA BRONASTIH PRAZGODOVINSKIH PREDMETOV IZ ORMOŽA

MILICA PETERŠIČ-ČOBAL

Vinarska 8a, YU-62000 Maribor

Ormoška naselbina je pripadala prebivalstvu mlajše kulture žarnih grobišč.¹ Sodi v tako imenovano ruško skupino, ki obsega najdišča doline Drave od Ruš do Ormoža.

Po drugi svetovni vojni so bile opravljene obsežne arheološke raziskave naselbine, ki jih je vodila najprej Bernarda Perc, pozneje pa Marjana Tomanič-Jevremov.² Med izkopavanji, ki so znotraj naselbine, utrjene z mogočnim nasipom in jarkom, odkrila ostanke številnih stavb in pravokotno mrežo ulic, so bile najdene izredne množine keramike, a le malo kovinskih predmetov oziroma drobcev. Z namenom, da bi ugotovili metalurške postopke, ki so jih prebivalci naselbine uporabljali pri izdelovanju različnih bronastih predmetov, smo metalurško preiskali nekaj bronastih najdb (sl. 1), ki jih tako kot vse ostale najdbe hranijo v Pokrajinskem muzeju v Ptuju.

Ormoška naselbina ni bila običajna poljedelsko-živinorejska vas, saj najdbe kažejo, da je v njej potekala obsežna obrtno-predelovalna dejavnost. Odkrito livarsko orodje in ostanke žlindre dokazujejo, da so se z livarstvom ukvarjali že v najstarejši ormoški stopnji. Za taljenje potrebno rudo so verjetno kopali v rudiščih bakrove, svinčeve in cinkove rude na Pohorju.³ To področje je bilo v oligocenu podvrženo magmatskemu delovanju, zato so bili minerali orudeni še z magnetitom in nekaterimi sulfidi. To dejstvo je posebej pomembno glede na rezultate naše preiskave bronastih najdb iz ormoške naselbine.

Za metalografsko preiskavo⁴ so bili izbrani vzorci, prikazani na sl. 1: 1-29. Če jih na hitro pregledamo, vidimo, da so tisti do vključno št. 7 iz večjih količin snovi z debelino do 10 mm, nadaljnji pa iz relativno majhnih količin bronā z zelo majhno debelino 1,5 do 3 mm. Že to nas opozarja, da je bilo pri izdelavi teh kovinskih predmetov uporabljenih več postopkov.

Za prvi vzorec smo vzeli fragment kosa sl. 1: 1, ki je bil pripravljen za mikroskopski pregled in jedkan. Metalografski prikaz mikrostrukture je na t. 1: 1. Po intenzivnem jedkanju bronā je izstopila izrazita kristalna struktura vejastih kristalov, ki so posledica daljšega strjevanja bronaste zlitine. To je značilna struktura odlitega materiala, kar potrjuje, da je bil ta izdelek narejen z ulivanjem. Po vzorcu vidimo veliko število drobnih temno sivih pik, ki so v naravi modrosive barve. To so vključki sulfidov, ki so bili že v osnovni rudi, pri pridobivanju bakra iz nje pa niso bili v celoti odpravljeni. Po strukturi je videti tudi, da ta bron vsebuje zelo majhen odstotek kositra.

Debelina naslednjega vzorca (sl. 1: 2) se zelo spreminja, kar je zelo pomembno za kvaliteto ulivanja. Ta vzorec smo dali tudi v elektronsko analizo, da bi ugotovili vsebnost kositra in bakra in kvaliteto vključkov. Metalografski posnetek (t. 1: 2) ima izrazite primarne kristale bakra z raztopljenim kositrom v obliki vej, ki jih

obkroža zadnja strnjena faza z višjo vsebnostjo kositra, ki je tudi rahlo korodirana. To je značilna struktura ulitega bronu. Ponovno opažamo veliko vključkov sulfidov, ki so na posnetku vidni razpršeni, obdani z rahlo temno črto. Za analizo teh vključkov je bila narejena tudi elektronska slika (t. 1: 4). Bele lise pomenijo vsebnost žvepla, kar je bilo dokazano z analizo. Pri istem vzorcu je bila preverjena tudi vsebnost bakra, ki se giblje v mejah od 83,3 do 95,0 %. Vsebnost kositra je nizka in se giblje v mejah od 3,2 do 7,9 %; seveda je manjši odstotek kositra v primarno izločenih strjenih kristalih in večji v nazadnje strjenem bronu. Podobne vključke sulfidov, kot jih imamo v tem vzorcu, bomo srečali tudi v vseh drugih izdelkih iz te preiskave.

Fragment noža (sl. 1: 3) je bil prerezan in nato obdelan za mikroskopsko preiskavo. Ostrine so že močno korodirale in so prevlečene z globoko patino. Sredina materiala je prikazana na t. 1: 3. Na tem mikroposnetku vidimo izrazito strukturo ulitega bronu s spreminjajočo se vsebnostjo raztopljenega kositra. Zaradi same strukture in delno močne korozije je prisotnih še nekaj lunckerjev.

Primer debelega odlitka iz bronu je tudi vzorec na sl. 1: 7. Njegova mikrostruktura je prikazana na t. 1: 5. Vidna je značilna dendritna (vejasta) oblika kristalov, ki potrjuje, da je bil izdelek narejen z ulivanjem. Nekaj drobnih sivih pik potrjuje tudi vsebnost sulfidov.

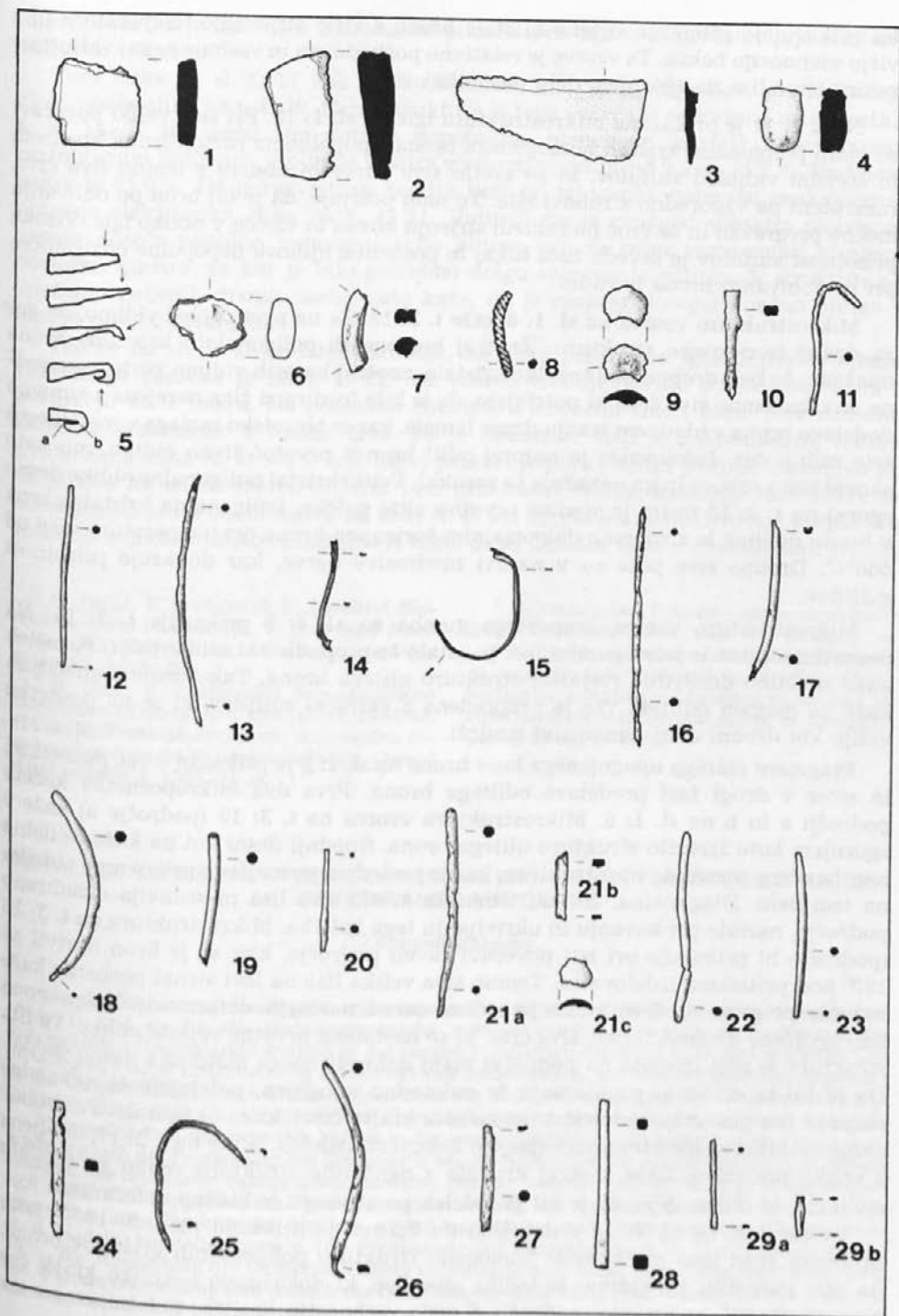
Drugačno tehnologijo izdelave bronu kaže vzorec na sl. 1: 10. Metalografska slika zgornjega konca izdelka (t. 1: 6) kaže mikrostrukturo, ki je vsa prepojena z drobnimi vključki sulfidov v obliki temno sivih drobnih črt, ki potrjujejo, da je bil vroč material kovan v končno obliko. Smer kovanja nam kažejo ožje strani teh črtastih sulfidnih vključkov. V strukturi opazimo tudi homogena poligonala zrna kristalov bronu, ki dokazujejo, da so za izdelavo tega kosa prvotno odlit bron dalj časa močno pregrevani na temperaturi nad 550° C, da so nastali homogeni poligonalni kristali z dvojčičnimi lamelami. Prisotnih je še nekaj večjih lunckerjev in oksidov, usmerjenih v isto smer zunanje obdelave.

Fragment odlitka na sl. 1: 4 je bil izbran za mikroanalizo in raziskavo na Metalurškem inštitutu v Ljubljani. Mikrostruktura, ki jo prikazuje posnetek na t. 2: 7, ima značilno strukturo ulitega bronu, ki ustreza 14% bronu. Po kristalnih mejah opažamo tukaj še fazo delta, ki ima zelo visok odstotek kositra: analiza na tem področju je pokazala, da je kositer dosegel 29,0 %. Vsebnost bakra se giblje od najnižjega odstotka v tej fazi (66,6 %) do 87,5 %. Posebnost tega bronu je velika prisotnost sulfidov, ki so v naravi modrosive barve, na mikroposnetku (t. 2: 7) pa označeni s puščicami. Eno tako področje prikazuje elektronska slika z večjo povečavo (t. 2: 8). Bele lise na njem predstavljajo sulfidne vključke. Razvrstitev legiranega kositra v tem bronu ponazarjajo bele lise na t. 2: 10. Ta posnetek, ki zajema isto področje kot prejšnji (t. 2: 8), kaže, da je krožno razporejeni sulfid preprečil, da bi prišlo do zlitja bakra na sredini tega področja s kositrom. Razvrstitev delta faze tega vzorca vidimo pri enaki povečavi na t. 2: 12.

Fragment odlitka s sl. 1: 6 je metalografsko prikazan na t. 2: 9. Tudi on ima značilno dendritno (vejasto) strukturo ulitega bronu. Svetle ploskve na mikroposnet-

Sl. 1: Metalografsko preiskani bronasti predmeti iz prazgodovinske naselbine v Ormožu. – Vse = 1 : 2.

Abb. 1: Metallographisch untersuchte Bronzegegenstände aus der vorgeschichtlichen Siedlung in Ormož. – Alles = 1 : 2.



ku prikazujejo primarne strjene kristale bronca z višjo strjevalno temperaturo in z višjo vsebnostjo bakra. Ta vzorec je relativno poškodovan in vsebuje nekaj vključkov patine (siva lisa na zgornjem delu posnetka).

Na t. 2: 11 je prikazana mikrostruktura igle na sl. 1: 12. Pri zelo veliki povečavi so vidni poligonalni kristali homogenega bronca s popolnoma raztopljenim kositrom in številni vključki sulfidov, ki so svetlo sive barve in obdani s temno sivo črto, razvrščeni pa vzporedno z robovi igle. To nam potrjuje, da je bil bron po odlivanju močno pregrevan in še vroč po rahlem strjenju kovin in vlečen v obliko igle. Visoka prisotnost sulfidov je seveda tudi tukaj le posledica njihove nepopolne odstranitve pri pridobivanju bronca iz rude.

Mikrostrukturo vzorca na sl. 1: 8 kaže t. 3: 13. Že na prvi pogled vidimo, da gre za doslej še neznano strukturo. Znotraj homogenih poligonalnih kristalov bronca opazamo še bolj drobne poligonalne kristale, znotraj katerih vidimo goste, vzporedne, kratke temno sive črte, ki potrjujejo, da je bila tordirana žica narejena z zunanjo dodelavo bronca v hladnem stanju drsne lamele, kar se teoretsko razlaga v metalurgiji šele zadnji čas. Izdelovalec je najprej odlil bron v prvotno livno obliko, mu nato skoval ostre robove in ga nazadnje še zasukal. Veliki kristal poligonalne oblike desno zgoraj na t. 3: 13 izvira iz sredine prvotno ulite palčke. Poligonalna kristalna zrna v bronu dobimo le z izjemno dolgotrajnim žarjenjem bronca pri temperaturi, višji od 550°C. Drobne sive pike so v naravi modrosive barve, kar dokazuje prisotnost sulfidov.

Mikrostrukturo vzorca bronaste gumba na sl. 1: 9 prikazuje t. 3: 14. Na posnetku vidimo le jedro gumba, ker je ostalo že propadlo zaradi korozije. Posnetek kaže značilno dendritno (vejasto) strukturo ulitega bronca. Tako drobna struktura kaže na majhen odlitek. Vsa je preprežena z vključki sulfidov, ki se na posnetku vidijo kot drobni ostri temno sivi madeži.

Fragment starega upognjenega kosa bronca na sl. 1: 5 je prikazan v več posnetkih, in sicer v drugi fazi predelave odlitega bronca. Prva dva mikroposnetka kažeta področji a in b na sl. 1: 5. Mikrostruktura vzorca na t. 3: 15 (področje a) kaže v zgornjem kotu izrazito strukturo ulitega bronca. Spodnji desni kot pa kaže že delno nagrbančene piramide lite strukture, kar je posledica poznejšega prikovanja izdelka na tem delu. Diagonalna, široka, temno in svetlo siva lisa predstavlja oksidirano področje, nastalo pri kovanju in ukrivljanju tega izdelka. Mikrostruktura na t. 3: 16 (področje b) prikazuje pri isti povečavi ravno področje, kjer se je bron ukrivil za 180° pod pritiskom izdelovalca. Temno siva velika lisa na levi strni posnetka kaže to točko pregiba. Na desni strani pa vidimo zaradi močnejše deformacije litega bronca bolj zgoščene drobne, tanke, sive črte, ki so nastale iz prvotne vejaste oblike. Ta lita struktura je bolj izrazita na področju manj deformiranega materiala desno spodaj. Da je bil ta material po ulivanju še naknadno upognjen, potrjujejo še naknadne razpoke (na posnetku vidne kot temno sive krajše črte), ki so oksidirale. Te drobne razpoke mikro velikosti ne zmanjšujejo kakovosti izdelka. Slika na t. 3: 17, dobljena z veliko povečavo, kaže znotraj kristala z dendritno strukturo veliko vzporednih sivih črt, ki dokazujejo, da je bil ta izdelek po ulivanju še hladno deformiran.

Vzorec igle na sl. 1: 16 z debelino do 2,5 mm je prikazan na t. 3: 18. V tako drobnem kosu smo pričakovali homogeno strukturo poligonalnih kristalov bronca, na tem posnetku pa vidimo še velike sive lise, ki dokazujejo nekoliko krajši čas homogenizacije in ostanke področij z višjo vsebnostjo kositra. Celotni vzorec na

mikroposnetku je izpolnjen z drobnimi pikami sive barve, ki predstavljajo sulfidne vključke v bronu.

Tudi žička na sl. 1: 11 ima visoko vsebnost sulfidnih vključkov, kar prikazuje elektronska slika na t. 4: 20. Mikrostruktura iz tega vzorca je prikazana na posnetku t. 4: 19. V tej tanki žici vidimo popolnoma homogene kristale s popolnoma raztopljenim kositrom. Vsebnost kositra v vzorcu se giblje od 9,3 do 11,7 %. Vsebnost bakra je 91,0 %. Da je razvrstitev kositra tudi pri tej visoki vsebnosti enakomerna, potrjuje elektronska slika na t. 4: 21. Vidimo, da je prazgodovinskim mojstrom uspelo doseči popolno homogenizacijo zlitine pri za bron razmeroma visokem odstotku kositra, za kar je bilo potrebno dolgo segrevanje odlitka. V strukturi ne opažamo nobenih drsnih lamel, zato kaže, da je mojster dosegel končno obliko s toplim preoblikovanjem.

Vzorec na sl. 1: 13 je izredno dolga, na vrhu priostrena igla. Mirkostruktura vzdolžnega preseka je na t. 4: 22. Ta vzorec vsebuje 7,5 do 9,9 % kositra in v povprečju 93 % bakra. Na posnetku opazimo v vzdolžni smeri usmerjene sulfidne vključke, obkrožene s temno črto. To je dokazano tudi z mikroanalizo, katere elektronska slika (t. 4: 23) v beli barvi prikazuje porazdelitev žvepla. Zanimivo je, da je bila na istem vzorcu odkrita tudi prisotnost svinca, katerega razvrstitev in usmerjenost se na istem mestu na sliki (t. 4: 24) ujema s porazdelitvijo žvepla. To vsebnost svinca si lahko razlagamo le tako, da so izhodne rude vsebovale tudi svinec.

¹ S. Pahič, K predslovenski naselitvi Slovenskih goric in Pomurja, v: *Svet med Muro in Dravo* (1986) 158 ss; *Arheološka najdišča Slovenije* (1975) 320.

² B. Perc, K stratigrafiji žarnogrobiščne naselbine v Ormožu, *Arh. vest.* 13/14, 1962/63, 375 ss; M. Tomanič-Jevremov, *Arheološka raziskovanja Ormoža in njegove okolice, Ormož skozi stoletja* 2, 1983, 25 ss.

³ B. Teržan, Das Pohorje – ein vorgeschichtliches Erzrevier?, *Arh. vest.* 34, 1983, 51 ss.

⁴ Zahvaljujem se tovarišu Branetu Lamutu za posredovanje bronastih predmetov, Metalurškemu inštitutu v Ljubljani za analize na elektronskem mikroanalizatorju in tovarišici Larisi Čobal za risbe.

METALLOGRAPHISCHE UNTERSUCHUNG DER BRONZENEN VORGESCHICHTLICHEN GEGENSTÄNDE AUS ORMOŽ

Zusammenfassung

Aus der Sammlung des Regionalmuseums in Ptuj haben wir 29 Bronzestücke ausgesucht, (Abb. 1) und sie für die metallographische mikroskopische Untersuchung bestimmt; die ausgewählten Gegenstände wurden in der vorgeschichtlichen Siedlung in Ormož entdeckt. Die metallographische Untersuchung erleichtert uns festzustellen, auf welcher Entwicklungsstufe in der vorgeschichtlichen Zeit das Wissen über die Weiterverarbeitung der Grundmetalle lag. Zugleich wird dadurch der Inhalt der Unreinigkeiten in bronzenen Erzeugnissen bekannt.

Man stellte fest, daß man sich bereits in der vorgeschichtlichen Zeit darüber im klaren war, inwiefern sich der Prozentsatz des Zinnanteils bei der Bronze auf die endgültige Qualitätseigenschaften des bronzenen Erzeugnisses auswirkt. Bei der Verarbeitung der Bronze bediente man sich außer dem Eingießen auch der Wärmebearbeitung der Abgüsse. Dadurch erreichte man eine einheitliche Struktur der Abgüsse, so daß man daraus auch dünne und feine Gegenstände (z. B. Nadeln) herstellen konnte. Der Prozentsatz des Zinngehalts ist im Durchschnitt 3,5 bis 16 %. Zur Herstellung des tordierten Drahts verwendete man außer dem Eingußverfahren noch die Wärmeverarbeitung und danach die Oberflächenbearbeitung (das Schmieden von scharfen Kanten) bei niedrigen Temperaturen. Eine solche Bearbeitungsweise zeigt sich im Vorkommen

der Gleitlamellen in der Struktur, was die theoretische Metallurgie erst in der neuesten Zeit zu erklären vermag. Auch bei den feinen Erzeugnissen waren die Abgüsse gut gelungen. Sowohl in den Abgüssen als auch bei allen feinen Nadeln, hat man das massenhafte Vorhandensein von Sulfiden festgestellt, die schon im Grunderz vorhanden waren und bei der Bearbeitung nicht entfernt werden konnten.

Die metallographische Untersuchung wurde in der Gießerei von Maribor durchgeführt, die Analyse des Schwefel- und Bleigehalts aber mittels des elektronischen Mikroanalysengeräts im Metallurgischen Institut in Ljubljana gemacht.