

Archeometalurgický výskum trosiek z Rákoša a Bohatej a železných hrivien z Bine

Lubomír Mihok

Archeometalurgický rozbor trosiek z Rákoša

Pre rozbor boli dodané štyri kusy trosiek, datované do 11. - 12. st. A.D., ktoré boli získané pri archeologickom výskume kostola v Rákoši (1). Všetky štyri trosky boli malé kusy. Vzorka, označená ako R1, predstavovala veľmi malý hrdzavý kúsok trosky nepravidelného tvaru. Vzorka R2 predstavovala malý čierny kúsok, pomerne ťažký, s lesklým povrchom a náznakmi štiepateľnosti. Táto vzorka mimo hmotnosti nemala žiadne ďalšie atribúty prislúchajúce troske z výroby železa. Vzorka R3 predstavovala menší hrdzavý kus, na reze bola zistená tmavá kompaktná troska bez väčších pórov. Okolo trosky bola pomerne výrazná vrstva červenohnedej mazanice. Vzorka R4 predstavovala menší kus trosky s výrazne členitým a nataveným povrchom. Na reze bola zistená tmavá, pomerne kompaktná troska s veľkými pórmami.

Zo všetkých štyroch kusov boli odobraté a mletím pripravené vzorky na chemickú analýzu. Vzorky R1 a R2 vzhľadom k ich veľkosti boli pomleté celé. Vzorky R3 a R4 boli delené diamantovou pilou na dve časti, jedna časť slúžila ako vzorka pre chemickú, druhá pre mikroskopickú analýzu. Výsledky chemickej analýzy sú v tabuľke I.

Z výsledkov chemickej analýzy v tabuľke I vyplýva, že vzorky R1, R3 a R4 predstavovali trosku, odpadný produkt pri výrobe železa. Trosky R3 a R4 obsahom železa a oxidu železnateho korešpondovali s troskami, analyzovanými v iných výskumoch, ktoré boli datované do rovnakého obdobia. Troska R1 mala veľmi vysoký obsah železa a zodpovedala veľmi neúčinnému priebehu tavby v peci. Pretože pri tavbách v prvotných typoch pecí nedochádzalo k homogenizácii materiálov ani produktov, trosky s vysokým obsahom železa sa často nachádzali spolu s troskami, svedčiacimi o efektívnejšom vedení tavby. Navyše vzorka R1 mala veľmi malú hmotnosť aj rozmer a nemôže sa považovať za reprezentatívnu pre podmienky redukcie v peci. Z analýzy vzorky R2 je zrejmé, že sa jednalo o pomerne bohatú železnú rudu. Z jej výzoru vyplýva, že mohlo ísť o praženú limonitovú rudu. Analyzované trosky sú typické pomerne vysokým obsahom oxidu mangánu, nízkym obsahom oxidu vápenateho a nulovým obsahom oxidu horečnatého.

Mikroskopická analýza bola robená u vzoriek R3 a R4. Analýza trosky R3 ukázala, že hlavnými štruktúrnymi zložkami tejto trosky boli wüstit Fe_xO , železovápenatý olivín a železnaté sklo. Štruktúra obsahovala pomerne veľmi vysoký priemerný obsah wüstitu až 54,67 % ploš. Pomer jednotlivých štruktúrnych zložiek na rozdielnych častiach nábrusu vzorky bol veľmi premenlivý, boli zaznamenané miesta s vysokým obsahom wüstitu a celými plochami nezreagovanej rudy, ale aj miesta s výrazne kremičitanovou štruktúrou. Na obr. 1 je znázornená typická dendritická štruktúra wüstitu v troske, ktorá naznačuje na skutočnosť, že materiál v šachte pece sa počas priebehu tavby dostal do tekutého, minimálne cestovitého stavu. Oblasti s vysokým obsahom wüstitu a so zrnami nezreagovanej rudy sú na obr. 2. Oblať s nižším obsahom wüstitu a prevažujúco kremičitanovou štruktúrou je na obr. 3. Tu sú dobre viditeľné dve zložky kremičitanov, železovápenatý olivín a železnaté sklo.

Vzorka R4 mala úplne iný charakter štruktúry než vzorka R3. Štruktúra bola pomerne homogénna a obsahovala väčšinou len kremičitanové zložky, železovápenatý olivín a železnaté sklo. Wüstit Fe_xO sa vyskytoval vo forme jemných dendritov, jeho priemerný obsah bol 5,34 % plošných. Kryštalizácia dendritov wüstitu svedčí, že troska bola v peci v tekutom stave. Typické štruktúry v troske R4 sú na obr. 4, 5 a 6.

Z chemických a mikroskopických analýz vyplýva, že trosky pochádzajú z výroby železa redukciou zo železnej rudy v malej šachtovej peci. Typ pece na základe analyzovaných trosiek nie je možné určiť, je však možné vysloviť predpoklad, že umožňoval vypustenie časti tekutej trosky z pracovného priestoru pece. Vsádzku do pece tvorili pražená limonitová ruda a drevné uhlie. Zásadité prísady do vsádzky pridávané neboli. Aby sa dosiahli v peci teploty, postačujúce na roztavenie kremičitanovej trosky, musela byť robená intenzifikácia horenia dúchaním vzduchu. Rozdielne štruktúry trosky a časti neasimilovanej železnej rudy v štruktúre trosky svedčia o nehomogénnom priebehu procesov v peci, čo je typické pre pece s menším pracovným priestorom.

Archeometalurgický rozbor trosiek z lokality Bohatá - Lábszky

Pre výskum boli dodané dva kusy trosky z archeologického výskumu z r. 1972. Trosky boli datované do 11. - 12.st. A.D. (2) Pre archeometalurgické rozborov boli označené ako BO1 a BO2. BO1 bola šedá ťažká troska s veľkými pórami, mala oválny tvar. Priemer väčšej poloosi bol cca 100 m. Na vrchu kusa boli viditeľné mineralizované zbytky dreva alebo drevného uhlia. Na reze týmto kusom trosky bolo viditeľné, že v stredovej časti priečného prierezu sa vyskytovalo veľa kúskov kovového železa. Tento kov však nie je možné považovať za výťažok tavby, skôr je možné predpokladať, že išlo o zbytky železa, ktoré odchádzali s troskou. Na reze boli podobne ako na povrchu viditeľné veľké póry.

Kus trosky BO2 bol o niečo menší než BO1, tvar mal podobný. Na povrchu bol šedý, ale na niektorých miestach bol sfarbený do hnedočervena. Na priečnom priereze bolo znovu zistené väčšie množstvo železa. Hoci týchto kúskov železa bolo na priereze nezvyčajne veľa, nebolo možné jednoznačne usúdiť, že sa jednalo o výťažok tavby.

Z každej z obidvoch trosiek boli oddelené diamantovou pílou dve časti. Jedna z nich po pomletí bola použitá na chemickú analýzu, druhá, na ktorej bol štandardným spôsobom urobený mineralogický nábrus, bola použitá pre mikroskopickú analýzu.

Výsledky chemickej analýzy obidvoch trosiek sú v tabuľke II. Je potrebné poznamenať, že po pomletí boli od trosky oddelené kúsky kovového železa. Analýzy v tabuľke II teda predstavujú analýzy trosky, ktorá priliehala ku kúskom kovového železa.

Z výsledkov analýz je vidno, že troska mala veľmi vysoký obsah celkového železa aj oxidu železnateho. V ďalej uvedených mikroskopických analýzach bolo zistené, že troska okolo granúl železa pozostávala hlavne z oxidu železnateho, čo plne korešponduje s chemickými analýzami. V železnej rude, použitej na výrobu železa, bol veľmi nízky obsah oxidu mangánateho. V troske boli o niečo vyššie obsahy oxidu vápenateho, než sa bežne vyskytujú v iných troskách z výroby železa v malých šachtových peciach, úmyselné prídavky vápenatých prísad do pecnej vsádzky však na základe týchto rozborov nemožno potvrdiť.

Mikroskopická analýza vzorky BO1 ukázala, že okolo zŕn kovového železa v strede priečného prierezu sa nachádzali oblasti s vysokým obsahom wüstitu (60 % plošných a viac). Táto situácia je dokumentovaná na obr. 7 a 8. Ďalej od zŕn kovového železa boli zistené oblasti, typické pre trosku z výroby železa, teda oblasti s dendritmi wüstitu, položenými v silikátovej matrici. Štruktúra týchto oblastí väčšinou v okrajových častiach priečného prierezu bola veľmi heterogénna, niekde sa nachádzalo až 40 % ploš. wüstitu, niekde bola štruktúra zložená len zo železovápenatého olivínu a železnatého skla. Štruktúra trosky v okrajovej časti prierezu je na obr. 9.

Štruktúra vzorky BO2 mala iný charakter než štruktúra vzorky BO1. Aj v tomto prípade bol stred priečného prierezu tvorený zrnami kovového železa, okolo nich boli útvary železovápenatého olivínu a zriedkavo aj veľmi jemné dendrity wüstitu. V okrajovej časti prierezu sa nachádzali relikty nezreagovanej železnej rudy a okolo nich štruktúry s vyšším podielom wüstitu, ktorý miestami dosahoval až 40 % ploš. Štruktúra trosky BO2 v strede prierezu je na obr. 10, štruktúra na okraji prierezu je na obr. 11.

Z uvedených chemických a mikroskopických analýz vyplýva, že v obidvoch analyzovaných kusoch trosky mimo kovového železa boli zistené štruktúry, typické pre trosku, vznikajúcu pri výrobe železa v malej šachtovej peci. Celková makroštruktúra týchto kusov však nezodpovedá bežnej makroštruktúre pecnej trosky. Je možno uvažovať dve alternatívy pôvodu v tejto práci analyzovanej trosky. Môže ísť o trosku, vybratú zo šachty, kde ešte úplne nepreběhla redukcia. Tomu by odpovedala snáď troska BO2, ale nie troska BO1, v ktorej nebola zistená prítomnosť nezreagovanej železnej rudy v štruktúre. Prijateľnejšia je druhá možnosť, že sa jedná o trosku, ktorá sa odstránila z výťažku kovového železa pri ohreve v kováčskej vyhni. Tu spolu s troskou sa odstránili aj malé nespojené kúsky kovového železa. Táto druhá alternatíva je omnoho pravdepodobnejšia. Tomuto prepokladu odpovedá aj miskovitý tvar kusov trosiek, ktorý mohol vzniknúť v pomerne malom priestore kováčskej nástroje na jej dne. Na troskách sa našli zvyšky dreveného uhlia, používaného pri ohreve vo vyhni.

Archeometalurgický rozbor železných hrivien z Bína

Pre zistenie spôsobu výroby boli metalograficky analyzované dve železné hrivny, nájdené v obci Bína pri výskumoch v r. 1963 (3) a 1990 (4). Hrivny boli datované do 9. - 10. st. A.D. Hrivny mali podobný tvar, na jednom konci boli rozkované a stenčené, na druhom konci boli kovaním zvinuté a bol na nich v tejto časti prerazený otvor, slúžiaci na zavesenie.

Obrysy obidvoch hrivien sú na obr. 12 a 13, na ktorých je vyznačený aj spôsob vzorkovania. Vzorky, ktoré nezasahovali celý priečny prierez hrivnami, boli odobraté diamantovou pilou. Na vzorkách po zaliatí do dentacrylu boli štandardným spôsobom brúsením a leštením pripravené metalografické výbrusy. Na nich boli pod metalografickým mikroskopom pozorované a fotograficky dokumentované nekovové inklúzie, ktorých zloženie môže veľa povedať o spôsobe výroby železa a o spôsobe výroby daného predmetu. Potom boli vzorky naleptané v nitale a boli na nich dokumentované prítomné mikroštruktúry.

Metalografický rozbor hrivny I je na obr. 14. V spodnej časti obrázku sú znázornené nekovové inklúzie, ktoré boli zistené na výbruse vzorky z tejto hrivny. Boli pozorované

typické inklúzie pecnej trosky, pozostávajúce z wüstitu a kremičitanov, znázornené na ľavom spodnom obrázku. Prítomnosť týchto inklúzií dokazuje, že železo pre hrivny bolo vyrobené redukciami železnej rudy v malej šachtovej peci. Ďalšie inklúzie, zistené na výbruse, boli tmavé sklovité inklúzie oxidu kremičitého, znázornené na strednom spodnom obrázku. Tieto inklúzie vznikli sekundárne z kremičitého piesku, pridávaného kováčmi pri spracovaní kujného železa na rozpustenie okovín, vzniklých na povrchu pri ohreve. Na pravom spodnom obrázku je znázornené porušenie kovovej matrice koróziou.

Po naleptaní vzorky hrivny boli zviditeľnené štruktúry, svedčiacie o spôsobe výroby tohto predmetu. Podstatná časť vzorkovaného prierezu hrivnou mala feritickú štruktúru, ako je ukázané na obrázku na pravej strane od znázornenia vzorky. To znamená, že väčšina hrivny bola tvorená nízkouhlíkatým mäkkým železom, teda železom, ktoré obyčajne tvorí podstatnú časť výťažku kovu pri tavbe v malej šachtovej peci. Na jednej strane vzorkovaného prierezu bola prevažne perlitická štruktúra, nasvedčujúca na zámerné nauhličenie a vytvrdenie tejto časti. Tento spôsob je dokumentovaný na ďalších dvoch fotografiách vedľa znázornenia vzorky, na jednej z nich je dokumentované rozhranie medzi feritickou a perlitickou štruktúrou.

Metalografický rozbor hrivny 2 je na obr. 15. Pri pozorovaní nenaleptaného výbrusu pod mikroskopom boli znovu pozorované primárne inklúzie pecnej trosky aj sekundárne inklúzie, pochádzajúce z kremičitého piesku. Sekundárnych inklúzií bolo na výbruse podstatne menej než v hrivne 1. Príklady obidvoch druhov inklúzií sú na spodnej fotografii na obr. 15. Zloženie inklúzií dokazuje rovnaký spôsob výroby železa ako u hrivny 1.

Štruktúry, zviditeľné po naleptaní vzorky nitalom ukazujú, že celá hrivna 2 bola vyrobená z nauhličeného tvrdšieho železa, teda bola počas výroby spracovaná nauhličením. Perlitická štruktúra nebola na celom vzorkovanom priereze homogénna, pri pravom okraji na znázornení vzorky na obr. 15 boli štruktúry čisto perlitické s vyšším obsahom uhlíka, smerom k druhému okraju sa štruktúra menila na perliticko-feritickú. Tento fakt svedčí na nestabilné podmienky procesu nauhličenia. Typické štruktúry s vyšším obsahom uhlíka, zistené na vzorkovanom priereze, sú znázornené na obr. 15.

Z vyššie podaných rozborov vyplýva, že obidve hrivny boli vyrobené z mäkkého kujného železa, vytaveného v malej šachtovej peci. V procese výroby boli hrivny nauhličené, jedna úplne v celom materiáli, druhá len mierne na jednom povrchu. Je možné predpokladať, že hrivny boli nauhličené až vo finálnej forme, hoci takéto konštatovanie by sa najlepšie potvrdilo pri analýze tenko vykovanej časti, ktorá však u skúmaných hrivien robená nebola. Je možné ďalej uvažovať, že rozdielna štruktúra bola dosiahnutá u hrivien zámerne zmenou technológie spracovania, pretože takto bolo možné dopredu špecifikovať ich použitie a zvýšiť ich výmennú hodnotu.

Tabuľka I

Výsledky chemických analýz trosiek z Rákoša, % hmot.

Čís.vz.	Fe _c	FeO	SiO ₂	CaO	MgO	MnO	Al ₂ O ₃
R1	60,32	56,18	19,26	2,80	0	3,46	2,04
R2	55,85	1,15	7,26	1,12	0	-	3,06
R3	48,59	38,36	19,82	1,68	0	1,23	3,06
R4	45,80	48,57	24,60	3,36	0	6,06	4,08

Tabuľka II

Výsledky chemických analýz trosiek z Bohatej, % hmot.

Čís.vz.	Fe _c	FeO	SiO ₂	CaO	MgO	MnO	Al ₂ O ₃
BO1	55,85	60,35	19,26	6,72	0	0,01	2,04
BO2	51,94	47,13	21,34	5,60	0	0,15	3,47

Poznámky

1 Nepublikovaný výskum K Fűryovej

2 Nepublikovaný výskum A. Habovštiaka a Š. Holčíka

3 Habovštiak, A.: K otázke datovania hradiska v Bini. Slovenská archeológia 14, 1966, s. 470

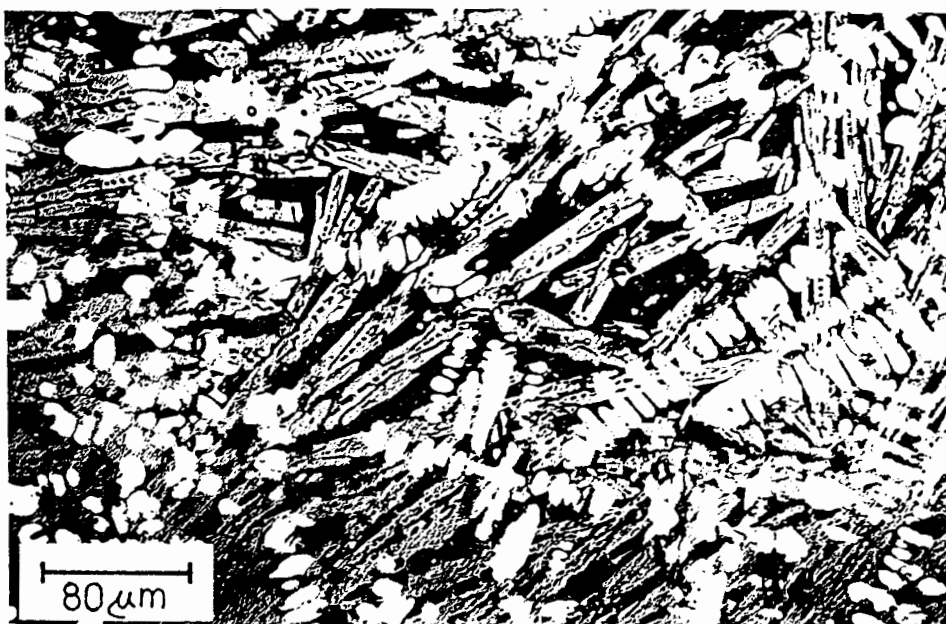
4 Habovštiak, A.: Nové poznatky z archeologického výskumu v Bini v rokoch 1978-1990. Vlastivedný časopis 40, 1991, s. 132.



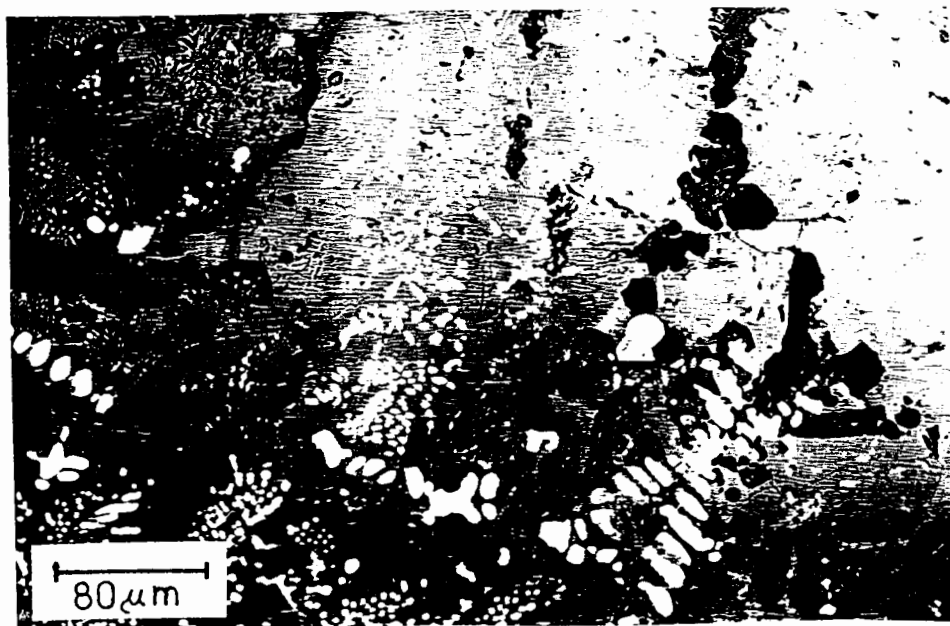
Obr. č. 1 Dendritická štruktúra wüstitu v troske R3. Svetlá wüstit; šedá - železovápenatý olivín; tmavá - sklo a póry



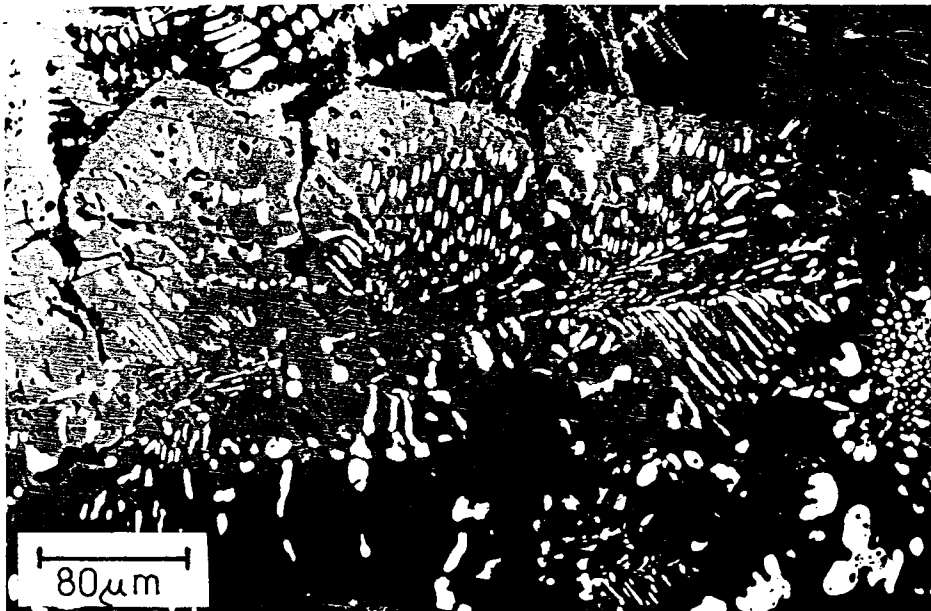
Obr. č. 2 Nezreagovaná železná ruda a zrná wüstitu v štruktúre trosky R3. Svetlá - wüstit; svetlošedá - železná ruda; šedá - železovápenatý olivín; tmavá - sklo a póry



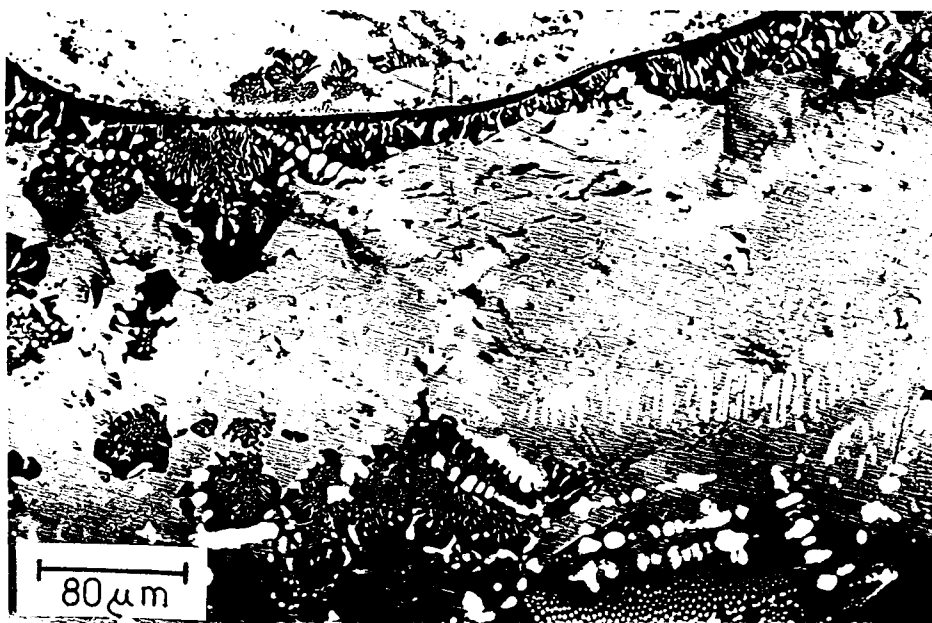
Obr. č. 3 Kremičitanová štruktúra trosky R3. Svetlá - wüstit; šedá - železovápenatý kremičitan; tmavá - sklo a póry



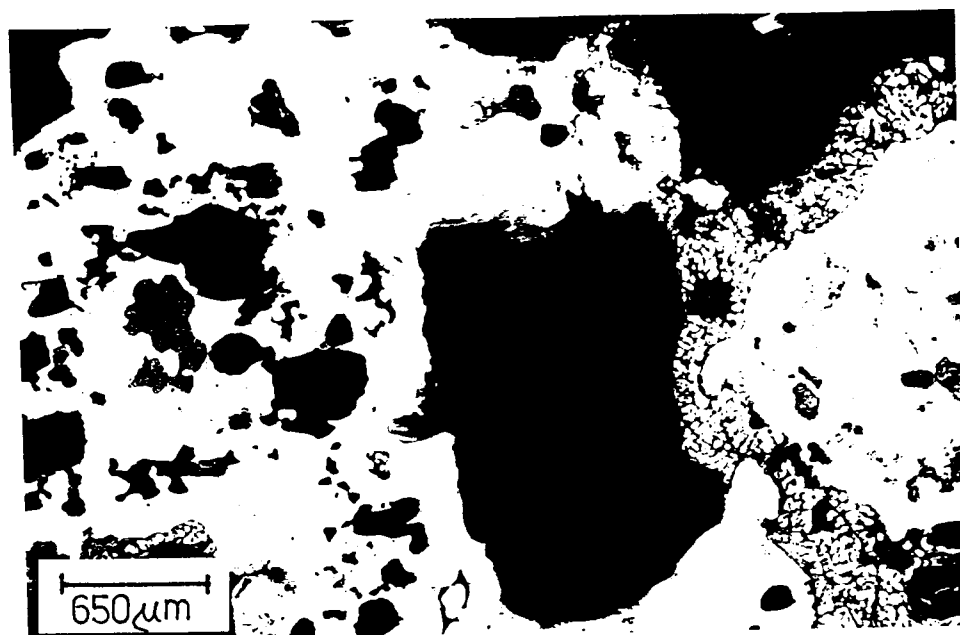
Obr. č. 4 Kremičitanová štruktúra trosky R4. Svetlá - wüstit; šedá - železovápenatý olivín; tmavá - sklo a póry



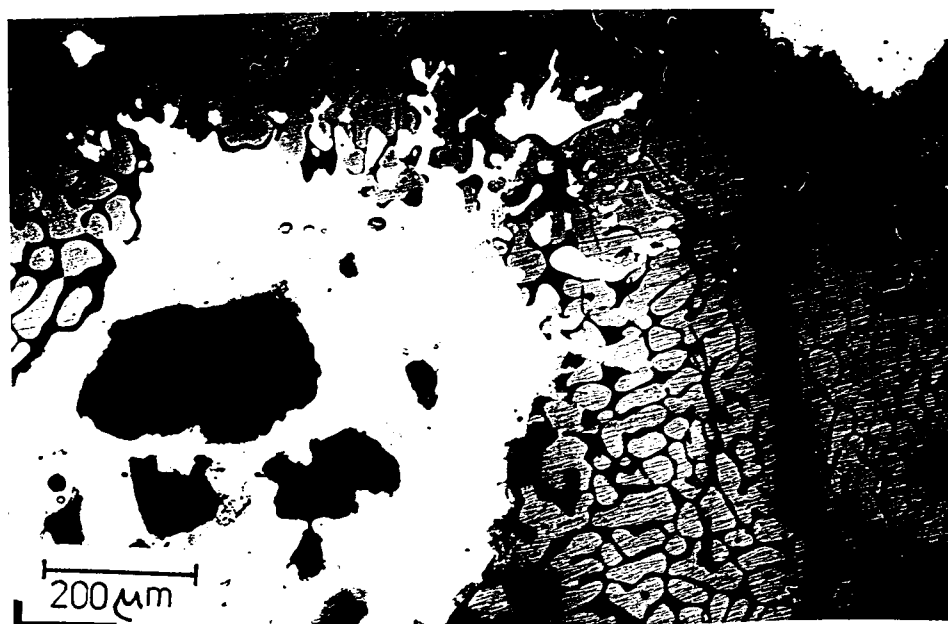
Obr. č. 5 Kremičitanová štruktúra trosky R4. Svetlá - wüstit; šedá - železovápenatý olivín; tmavá - sklo a póry



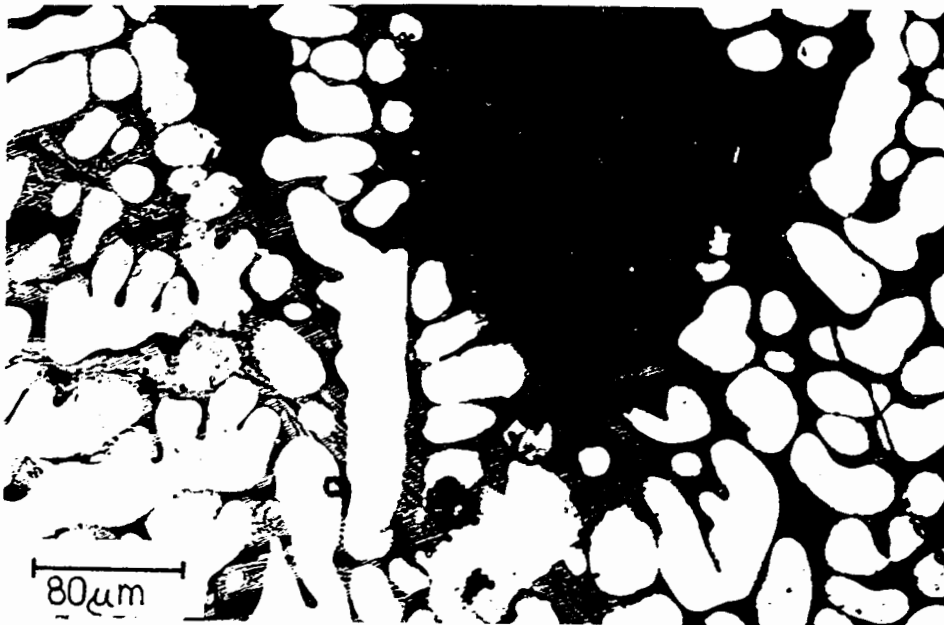
Obr. č. 6 Kremičitanová štruktúra trosky R4. Svetlá - wüstit; šedá - železovápenatý olivín; tmavá - sklo a póry



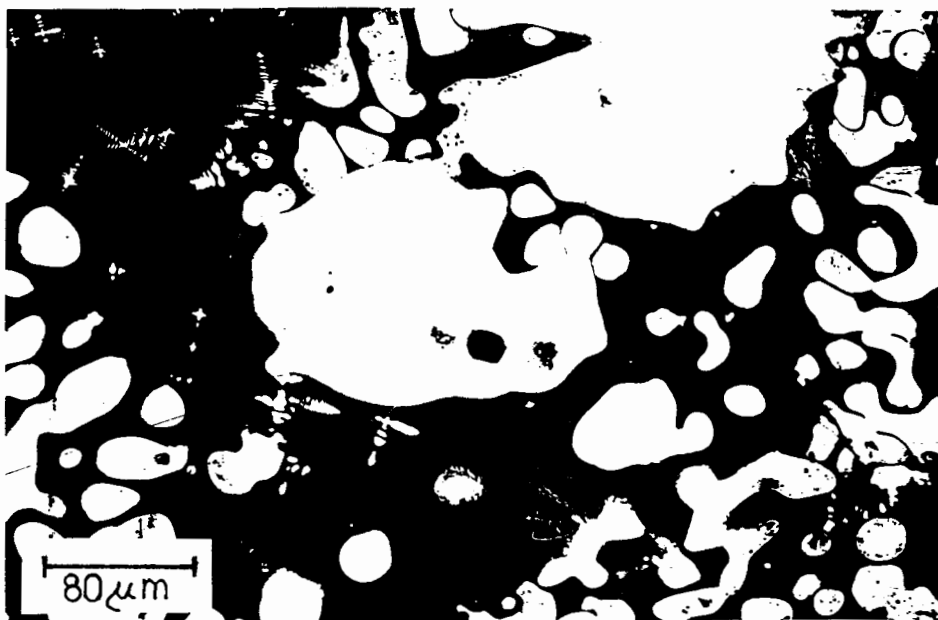
Obr. č. 7 Kovové železo v štruktúre trosky BO1. Biela - kovové železo; svetlá - wüstit; šedá - kremičitany; tmavá - póry



Obr. č. 8 Kovové železo a wüstit v strede priečného prierezu troskou BO1. Biela - kovové železo; šedá - wüstit; tmavá - kremičitany a póry



Obr. č. 9 Štruktúra na okraji priečného prierezu troskou BO1. Svetlá - wüstit; šedá - železovápenatý olivín; tmavá - sklo a póry

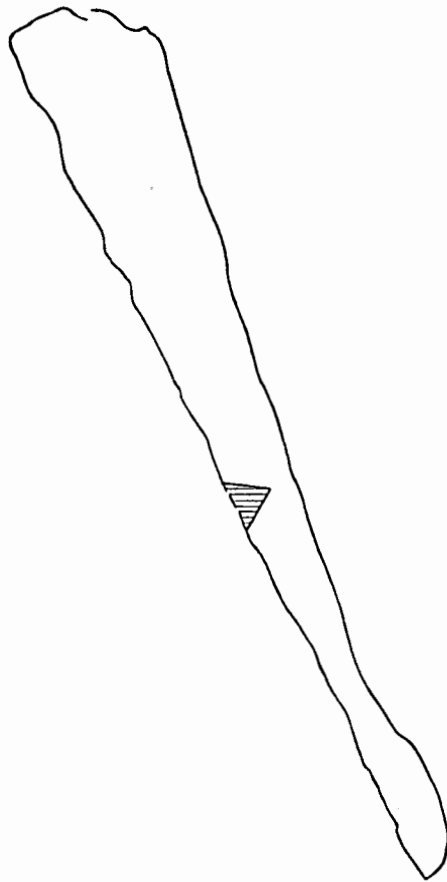


Obr. č. 10 Štruktúra v strede priečného prierezu troskou BO2. Biela - kovové železo; svetlá - železná ruda; tmavá - kremičitany



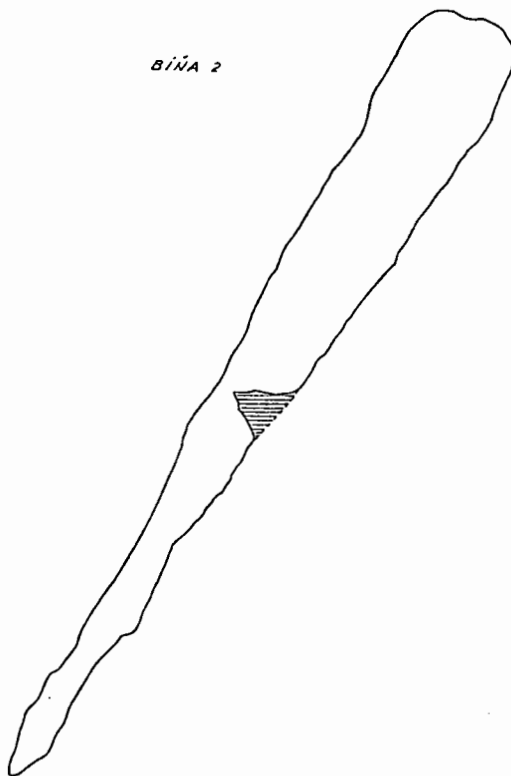
Obr. č. 11 Štruktúra na okraji priečného prierezu troskou BO₂. Biela - kovové železo; svetlá - wüstit; šedá - železovápenatý olivín; tmavá - sklo

BIŇA 1

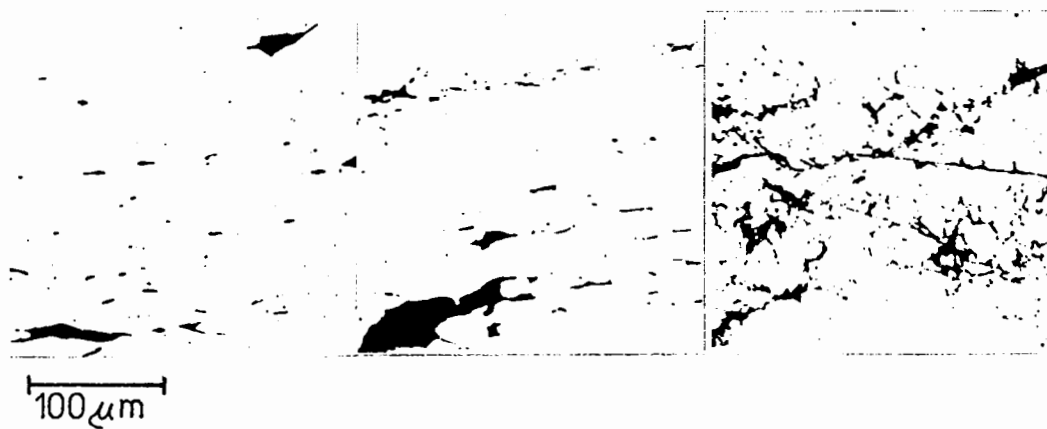
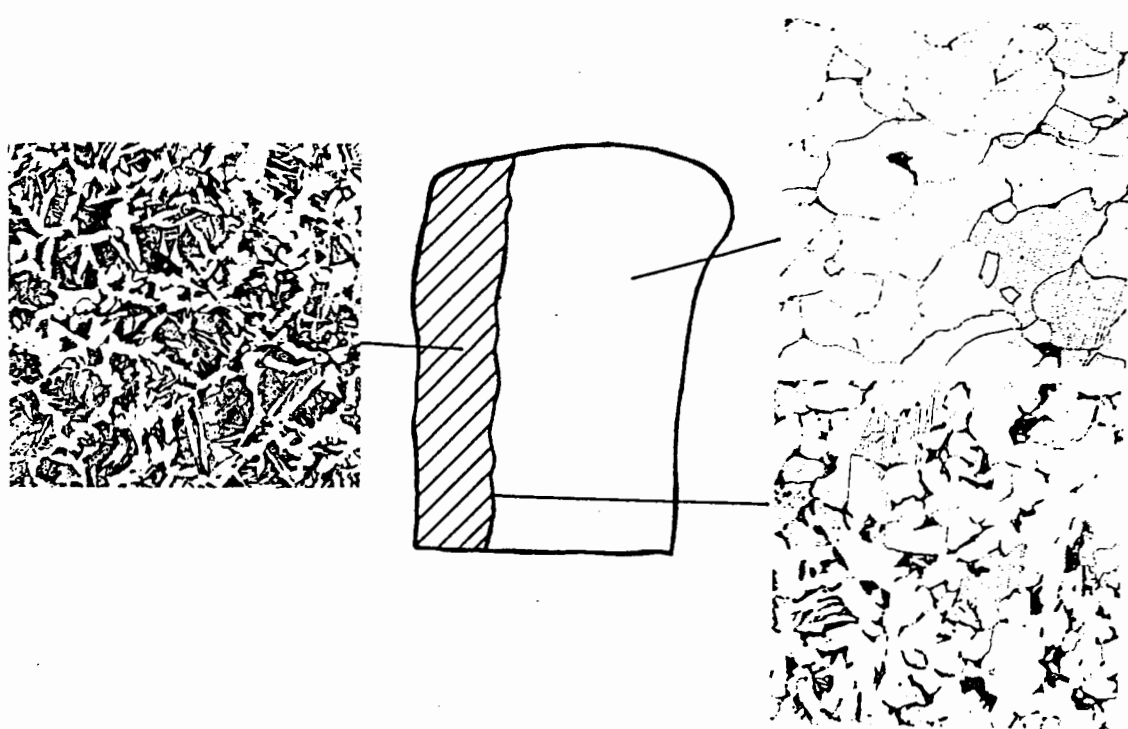


Obr. č. 12 Spôsob vzorkovania hrivny 1

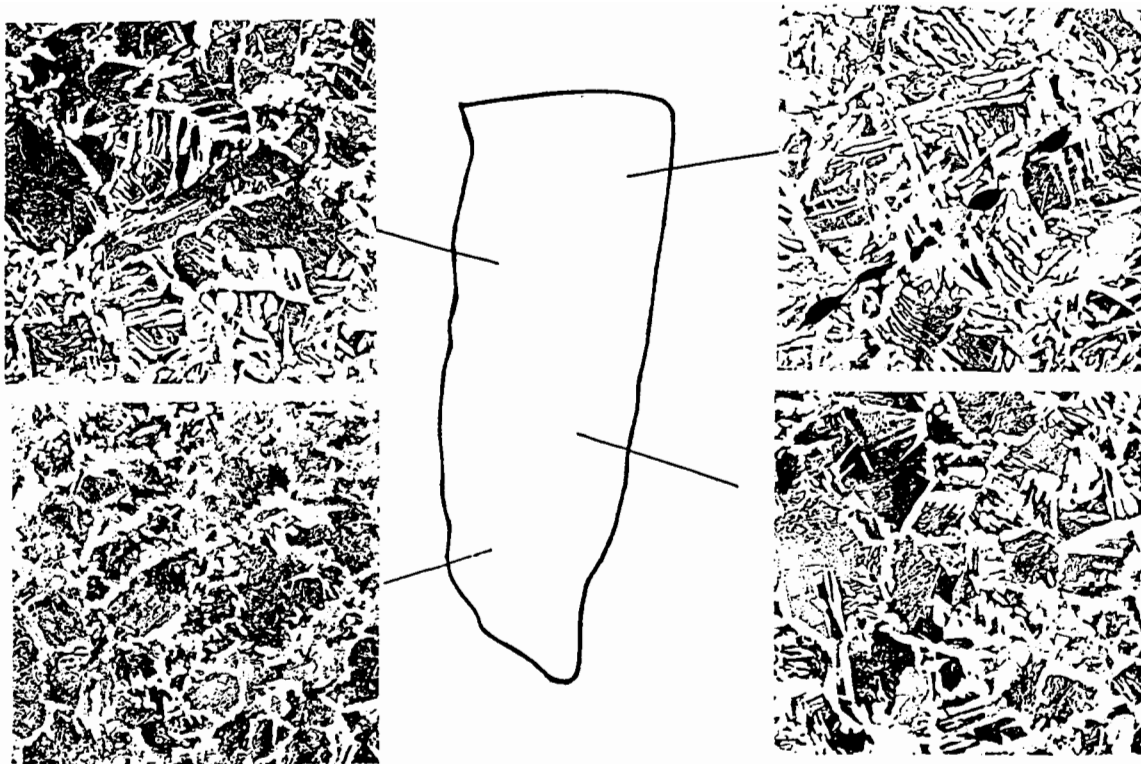
BIŇA 2



Obr. č. 13 Spôsob vzorkovania hrivny 2



Obr. č. 14 Metalografický rozbor hrivny 1



100 μm

Obr. č. 15 Metalografický rozbor hrivny 2