

Rozbory bronzového kování laténské konvice

Karel Stránský, Vladimír Ustohal, Antonín Rek, Jiří Meduna

Předmět, o kterém pojednává tento příspěvek, je velmi vzácným a současně i nejkrásnějším dokladem keltského tereutického umění na Moravě. Je to bronzové kování laténské dřevěné konvice, které bylo nalezeno už před půlstoletím v prvním květnovém týdnu roku 1941 při zemních pracích na stavbě seřazovacího nádraží v Brně-Maloměřicích (obr. 1). Okovaná dřevěná nádoba s tloušťkou stěny asi 2 cm, z níž se po dvou tisíciletích zachovaly už jen zbytky zetlelého troudu, zde byla zřejmě z rituálních důvodů uložena v 3. nebo 2. století př. kr. do předem připravené jámy, vyhloubené v jejích rozměrech v sudovitém tvaru. Konvice velmi pravděpodobně pocházela z hrobu, který byl součástí místní rozsáhlé laténské nekropole. Maloměřický nálezy, dnes předmět sbírek Moravského muzea v Brně, byl v průběhu let mnohokrát publikován. Byly předloženy tři rekonstrukce nejpravděpodobnějšího tvaru překrásně zdobené konvice, opatřené víčkem, držadlem a rourkovou výlevkou. Dosud však nebyla provedena materiálová analýza těchto kovových součástí, ani analýza technologie jejich zhotovení. Cílem předkládaného příspěvku je vyplnit tuto mezeru aspoň zčásti, a to analýzou několika fragmentů kování.

Ze souboru kovových fragmentů, které kdysi provázely laténskou dřevěnou konvici, bylo vybráno prolamované kování z levé strany nádoby, hřebík z celkového počtu 38 kusů, tepaný plechový trojúhelník s vybitými kruhovými puklicemi a zlomek tepaného, korýtkovitě prohnutého kování z okraje nožky. Charakteristika těchto fragmentů, způsob značení, tvar a poloha na rekonstruovaném tvaru konvice jsou v tabulce I a na obr. 1, 2, 3. První z fragmentů je představitelem slévárenské technologie, druhý byl vyroben vykováním z drátu a zbývající dvojice je typickým představitelem tereutických výrobků keltských řemeslníků. Značení a popis těchto předmětů jsou shodné s jejich podrobným popisem, který je spolu s vyobrazením součástí studie zveřejněné v nedávné době [1].

Z litého kování byl naříznut a odlomen vzorek k analýze podle obr. 2. Hřebík (obr. 3a) byl analyzován ve směru osy. Z obou tepaných vzorků byly analyzovány okraje naříznuté diamantovou kotoučovou pilkou a poté odlomené (obr. 3b a 3c).

Všechny čtyři vzorky byly podrobeny metalografické a prvkové analýze, lité kování (vz. 12) a oba tepané plechy (vz. 17f a 18b) pak navíc analýze fraktografické. K analýzám byl použit metalografický mikroskop Neophot II a energiově disperzní rtg. mikroanalýzátor KeveX ve spojení s elektronovou mikrosondou JXA 8600. Mikrotvrdość podle Vickerse byla změřena mikrotvrdoměrem Hanemann. Kované hřebík byl ještě podroben kontrolní prvkové analýze s využitím odlišného analytického zařízení. K této kontrole bylo použito rtg. energiově disperzního analyzátoru Tracor ve spojení s elektronovým rastrovacím mikroskopem JSM 840.

Výsledky materiálové analýzy

Lité prolamované kování je vyrobeno z bronzu s obsahem 11,5 % cínu (jsou uváděna hmotnostní procenta) a 6,1 % olova. Struktura kování je velmi nehomogenní a vedle primárních krystalitů fáze α (obr. 4, ozn. a) v ní byly nalezeny a analyzovány ještě další fáze a strukturní složky charakterizované v tab. II. Je to sulfid mědný Cu_2S (obr. 4, ozn. b) s příměsí stříbra, cínu a antimonu, dále oxid měďnatý CuO (obr. 4, ozn. d), vyskytující se též jako minerál tenorit, se stejnými příměsemi jako Cu_2S a navíc s příměsí olova a oxid olovnatý PbO (obr. 4, ozn. e) s příměsí mědi, stříbra, cínu a antimonu. Tyto fáze, stejně jako eutektikum ($\epsilon + \eta'$) a zejména eutektikum ($\eta' + \text{Sn}$) [2] svědčí o značném odmišení prvků během tuhnutí

slitiny. Fáze ϵ tvořící eutektikum je podle [2] tvořena sloučeninou Cu_3Sn a fáze η' sloučeninou typu Cu_6Sn_5 . Lokální výskyt strukturních složek ($\epsilon + \eta'$) a ($\eta' + \text{Sn}$) - obr. 4, ozn. f a c - svědčí o vysokém odmísení (heterogenitě) cínu v daném typu slitiny. Poměr mědi a slitiny cínu s olovem a antimonem je vyjádřen číselnou hodnotou přibližně 82 : 18, tj. velmi blízkou poměru obou kovů ve zvonovině, udávané čísly 80 : 20 [3].

Hřebík pocházející ze souboru 38 kusů je vykován z bronzu s obsahem 8,7 % cínu a 3,7 % olova, přičemž jako příměsi obsahuje stříbro a antimon. Jeho struktura je poměrně homogenní a to jak u hlavy (obr. 5), tak u špičky (obr. 6). Tvoří ji polyedrická zrna fáze α o velikosti 8 podle ČSN 42 0462 a řádkovitě uspořádané, kováním silně protažené (protvářené) částice sulfidické fáze a směsi (Cu + Pb). Hlava hřebíku (obr. 5) má výrazně menší četnost deformačních dvojčat a nižší stupeň deformace za studena než špička (obr. 6). Sulfidickou fází tvoří sulfid měďný Cu_2S , s příměsí 1,4 % stříbra, setin procenta cínu a necelé desetiny procenta antimonu. Rozborem stanovené složení sulfidu Cu_2S se jen málo liší od složení stechiometrického, které činí 79,85 % Cu a 20,15 % S (porovnej s tab. II). Ve směsi (Cu + Pb) tvoří při teplotě nad asi 952 °C ([2], str. 474) měď a olovo dvě navzájem nemísitelné kapaliny a při teplotě pod 326 °C koexistují částice kovové mědi a olova. Měď má v sobě ve formě tuhého roztoku rozpuštěno asi 2,6 % stříbra. Z analýz plyne, že stříbro silně odměšuje a je silně koncentrováno v sulfidech a ve směsi (Cu + Pb). Poměr mědi a slitiny cínu s příměsí olova, antimonu a stříbra je přibližně 88 : 12, což se blíží složení tzv. děloviny s 10 % Sn.

Výsledky analýz průměrného složení bronzového hřebíku se, pokud jde o hlavní komponenty Cu, Ag, Sn a Pb, v mezích standardních odchylek, daných především vysokou mikroheterogenitou slitiny, shodují s výsledky kontrolních analýz provedených na odlišném analytickém zařízení (tab. II a III).

Tepané kování ve tvaru trojúhelníku (tab. I - 17 f, obr. 3 c) a tepané kování korýtkovitě profilovaného okraje nožky (tab. I - 18 b, obr. 3 b) jsou z bronzového plechu a mají v mezích standardních odchylek způsobených mikronehomogenitou shodné prvkové složení. Od předchozích předmětů se odlišují úplnou absencí stříbra a nižším obsahem olova. Obsah cínu v tepaných kováních činí 9,4 %, tedy přibližně uprostřed obsahů tohoto prvku v litém kování a v hřebíku.

Na rozdíl od litého bronzového kování a kovaného bronzového hřebíku, které jsou jen velmi málo povrchově zoxidovány a zkorodovány, jsou oba tepané plechy napadeny oxidační korozí zvláště na své lící straně. U tepaného plechového trojúhelníku, který má velikost zrna 7 až 8 podle ČSN, je toto napadení interkrystalické (obr. 7), zatímco u tepaného kování z okraje nožky, které má velikost zrna 8 až 9 podle ČSN, jsou oxidační korozí napadeny nejen hranice zrn, ale také skluzové roviny uvnitř zrn fáze α (obr. 8). Struktura obou tepaných bronzových předmětů je velmi podobná, tvoří ji polyedrická zrna fáze α a řádkovitě uspořádané sekundární fáze, které v tomto případě nebyly blíže analyzovány. Tepaný plechový trojúhelník má však hrubší zrno (7 až 8 dle ČSN) a menší četnost deformačních dvojčat (obr. 9) než tepané kování z okraje nožky, jež má zrno poněkud jemnější (8 až 9 podle ČSN) a poměrně vysokou četnost deformačních dvojčat (obr. 10). Poměr mědi ke slitině cínu je v tepaném kování stejný jako u kovaného hřebíku, tj. 88 : 12.

Z hlediska vlastností bronzových předmětů přinesla cenné informace mikrofraktografická analýza a zkoušky mikrotvrdomosti. Z prvkové analýzy povrchové vrstvy lomových ploch (tab. IV) ve srovnání s průměrným složením těchto předmětů (tab. II) plyne, že trajektorie lomu

běžší místy zvýšené segregace olova, neboť poměr koncentrace olova na lomu k průměrné koncentraci olova ve vzorku je 1,6 krát větší než u litého bronzového kování a v průměru 2,1 krát větší u tepaných bronzových kování. U litého bronzového kování běží trajektorie lomu navíc ještě oblastmi zvýšené koncentrace cínu, u něhož poměr mezi koncentrací na lomu a průměrnou koncentrací ve vzorku má hodnotu dokonce 2,4.

Lité bronzové kování se porušuje mezidendriticky usměrněným štěpným lomem, na jehož iniciaci se významně podílejí částice sekundárních fází, zejména oxidy na bázi olova a mědi (obr. 11). Značné mezidendritické usměrnění, avšak překryté deformacemi při tepání, vykazují též obě tepaná kování, která se porušují kombinací štěpného, kvazištěpného a lokálně i jamkového lomu s četnými sekundárními trhlinami (obr. 12 a 13). Na iniciaci lomu se podílejí částice sekundárních fází, například směs krystalitů Cu a Pb a oxidické sířové po hranicích fáze α . Toto sířové, vznikající následkem dlouhodobé oxidační koroze předmětů v zemině (více než dva tisíce let), se vyskytuje též v litém bronzovém prolamovaném kování (obr. 4, ozn. g), kde bylo též analyzováno. Jedná se o oxid mědný s příměsí cínu, olova a síry se složením metalické části (hmot. %) 89,42 Cu, 9,70 Sn, 0,83 Pb a 0,05 S.

Nejnižší mikrotvrdość má matrice vzorku litého bronzového kování (103 HV 0,02), nejvyšší hřebík (211 HV 0,02), přičemž poměr tvrdosti mezi špičkou a hlavou hřebíku je 1,25, což svědčí o deformačním zpevnění špičky hřebíku a zároveň dobře koresponduje se strukturami hlavy a špičky na obr. 5 a 6. Matrice obou tepaných kování má přibližně stejnou mikrotvrdość (1,37 HV 0,20), blížíci se spíše mikrotvrdości litého bronzů než kovaného hřebíku.

Archeometalurgické zhodnocení

Analyzované bronzové kování laténské konvice je nesporně nejkrásnějším dokladem umění keltských metalurgů na Moravě. Stojí za to pokusit se o rekonstrukci způsobu přípravy použité slitiny, jakož i technologie odlévání, kování a postupu tepání.

Pro přípravu bronzů na umělecké práce, neboli uměleckého bronzů, se doporučuje složení 78 až 84 % mědi, 3 až 10 % cínu, 10 až 18 % zinku a 1 až 3 % olova [4]. V daném případě keltští metalurgové pracovali se slitinou prostou zinku a s přibližně dvojnásobným množstvím olova. Extrémně vysoké odmíšení cínu v odlitku prolamovaného kování (tab. II) nasvědčuje tomu, že jako předslitiny bylo využito zlomkového bronzů, který měl původně nižší obsah cínu než nalezených 11,5 %. Potřebný cín, zajišťující dobré slévárenské vlastnosti, byl dodatečně přisazen. Při tom nemuselo dojít k dokonalému rozpuštění a homogenizaci celého objemu taveniny, neboť cín o nižší hustotě než měď či přetavovaný bronz (poměr hustot cín : měď : bronz je 7,27 : 8,5 až 8,9 : 8,8 [5]) se i po roztavení soustřeďuje v povrchových vrstvách taveniny. Tato nehomogenita se zřejmě přenesla i do tenkostěnného odlitku bronzového kování, ve kterém se během tuhnutí mohla ještě zvýšit. Tím lze vysvětlit vysokou lokální koncentraci cínu ve směsi fáze η' a eutektika ($\eta' + \text{Sn}$), kde průměrná koncentrace cínu dosahuje hodnoty 70,3 % (tab. II, obr. 4, ozn. c). Tak vysoké odmíšení cínu nelze totiž při tuhnutí homogenní taveniny v tenkostěnném odlitku o tloušťce stěn asi 1 až 1,5 mm předpokládat. Struktura odlitku prolamovaného kování zároveň svědčí o tom, že odlitek neprodělal po vyjmutí z formy žádná tepelná zpracování.

Zcela odlišná byla historie výroby kovaného hřebíku. Je pravděpodobné, že hřebíky byly vykovány z odlitého drátu o větším průměru než byl konečný průměr hřebíku u jeho hlavy. Lze tak usuzovat od stupně protažení sekundárních fází (obr. 5 a 6, tab. II), které měly původně spíše kulovitý či polyedrický tvar. Toto kování probíhalo za zvýšených teplot, neboť proběhla

jistá homogenizace chemického složení a též rekrystalizace kováním deformované struktury, jež vedla ke vzniku zrn fáze α rovnoměrné velikosti. Poté byly z původně delšího drátu nasekány jednotlivé hřebíky a jejich špice byly vyhotoveny kováním za studena. Vysoký stupeň deformace za studena je z porovnání struktur na obr. 5 (nedeformováno) a 6 (deformováno) zřetelně patrný, a to jednak z deformace hranic zrn, jednak z výskytu deformačních dvojčat. K vytvoření náznaku hlavy hřebíku došlo patrně až při jejich zatloukání do dřeva konvice těsnými otvory litého nebo tepaného kování, i když náznaky napěchování hlavy hřebíku před zatloukáním se objevují.

Také bronzový plech pro tepané kování byl vykován z litého polotovaru za tepla, přičemž proběhla rekrystalizace plasticky deformované struktury. Samotné tepání ozdobných vzorů probíhalo za studena a jeho dědictvím jsou ve struktuře obou tepaných plechů četná deformační dvojčata (obr. 9 a 10).

Pro odlitek prolamovaného kování a kovaný hřebík je společná vysoká příměs stříbra, která naproti tomu zcela chybí v obou tepaných kováních (tab. II). To by nasvědčovalo, že výchozí bronzové polotovary použité na jedné straně k výrobě litého kování a hřebíku, na straně druhé k výrobě tepaných kování, pocházely z různých surovinových lokalit, případně byly vyrobeny v různých dílnách.

Pokud jde o surovinové zdroje, nelze na podkladě analýz odvodit nic určitého. Je však možno vycházet ze skutečnosti, že primární surovina, či suroviny, obsahovala kromě mědi ještě cín, olovo, stříbro, antimon a síru, takže primární ložiska by měla vedle kupritu (Cu_2O) obsahovat také chalkosin (Cu_2S), kasiterit (SnO_2), galenit (PbS), který je často doprovázen argentitem (Ag_2S), dále antimonit (Sb_2S_3), popřípadě též chalkopyrit (CuFeS_2), bornit (Cu_3FeS_4) nebo i jiné minerály, neboť kontrolní analýzou (tab. III) bylo v bronzovém hřebíku nalezeno i železo. Neobvykle vysoký obsah stříbra v litém kování a hřebíku ukazuje na možnost vytěžování dolů na olovnato-stříbrné rudy, jejichž počet na Moravě se podle Krufova kompendia [6] pohyboval kolem dvaadvaceti. Nejbližší z nich byly v Deblíně u Velké Bíteše, kde šlo o ložisko vázané na vápence morávních fylitů, a ve Vladislavi u Třebíče, kde se tyto rudy nacházely v karbonátové žíle v porfyrickém syenitu třebíčského masívu [6].

K analyzovanému keltskému litému a tepanému kování dřevěné laténské nádoby je možno podle chemického složení najít též analogie v Číně před rokem 221 př. Kr. Tylecote uvádí pro pláty brnění bronz obsahující (hmotn. %): 9,44 Sn, 2,33 Pb, 0,01 Ni a 0,07 Zn, (zb. Cu) a pro sponu 8,19 Sn, 5,1 Pb, (zb. Cu) [7], což je hmotnostními poměry mědi a slitiny cínu s olovem 88 : 12, resp. 88 : 13, velmi blízké kovaným a tepaným bronzům z Maloměřic.

Literatura

- [1] Meduna, J. - Peškař, I.: "In": Praveké a slovanské osídlení Moravy. Muzejní a vlastivědná společnost v Brně. Archeologický ústav ČSAV v Brně, Brno 1990, s. 211-230.
- [2] Smithells, C.J.: Metals Reference Book. Vol. II. Butterworths, London 1967, s. 481.
- [3] Flodr, M.: Technologie středověkého zvonářství. Spisy filozofické fakulty č. 242. Univerzita J.E.Purkyně, Brno 1983.
- [4] Quadrat, O.: Kovy a slitiny. Práce, Praha 1953, s. 161.
- [5] Valouch, M.: Pětimístné logaritmické tabulky. Tabulky konstant. SNTL, Praha 1967, s. 170.
- [6] Krufa, T.: Moravské nerosty a jejich literatura 1940 - 1965. Moravské muzeum v Brně, Brno 1968, s. 349.
- [7] Tylecote, R.F.: A History of Metallurgy. The Metals Society, London 1976, s. 36.

Tab. I Části bronzového kování vybrané k analýze

Předmět	Huckovo číslování	Inv. číslo Moravského muzea	Obr.
Lité prolamované kování z levé strany nádoby	12	107,17	2
Hřebík ze souboru 38 kusů	14	107,180	3a
Tepaný plechový trojúhelník s vybíjenými puklicemi	17f	107,188	3c
Zlomek tepaného, korýtkovitě prohnutého kování okraje nožky	18b	107,175	3b

Tab. II Výsledky mikroanalýz na metalografických výbrusech

Vzorek	Analyzovaná oblast	Prvek (hmotnostní %)										Mikrovrstost HV 0,02	Měření	Poznámka Obr.
		S	Cu	Ag	Sn	Sb	Pb	O						
litě prolamované kování z levé stěny nádoby 12 (107,171)	průměrné složení		82,17 3,95	0,14 0,09	11,54 1,51	0,05 (0,08)	6,07 2,24					1030 87	F	
	fáze α		92,87 2,63	0,07 0,02	6,83 2,62	0,03 (0,05)	0,20 0,07						P	4 a
	Cu_2S	19,39 0,04	79,86 0,21	0,51 0,08	0,14 0,07	0,11 0,09							P	4 b
	eutektikum ($\epsilon \cdot \eta'$)		41,99 1,78	0,70 0,12	54,89 2,01	1,03 0,21	1,35 0,46						P	4 f
	eutektikum ($\eta' \cdot Sn$)		22,59 4,13	0,34 0,27	70,31 4,92	1,57 0,57	5,19 1,21						P	4 c
	CuO		78,76 0,49	0,14 0,03	0,67 0,60	0,10 (0,12)	0,27 0,07	20,06 0,02					P	4 d
	PbO		2,15 1,64	0,63 0,32	0,57 0,43	0,40 0,09	88,61 2,62	7,67 0,34					P	4 e
	průměrné složení		87,68 0,35	0,24 0,12	8,30 0,12	0,05 (0,08)	3,74 0,43					211,4 18,8	F	
	fáze α		90,86 1,22	0,15 0,03	8,68 1,24	0,15 0,04	0,16 0,04						P	5, 6
	Cu_2S	18,60 0,44	79,82 1,29	0,42 (1,75)	0,06 0,05	0,09 0,03							P	
směs $Cu \cdot Pb$		19,34 1,79	2,61 2,17	0,00 0,00	0,13 0,04	77,92 1,17						P		
tepané kování 17f (107,188)	průměrné složení		89,20 0,74	0,00 0,00	9,31 0,56	0,06 0,06	1,44 0,27					135,6 5,0	F	plechový trojúhelník
tepané kování 18b (107,175)	průměrné složení		87,82 1,41	0,00 0,00	9,61 0,40	0,02 (0,03)	2,56 0,98					139,2 4,6	F	okraj nožky

Poznámky: - analyzátor KeveX Delta V • el. mikrosonda JXA 8600, 15 kV, expozice 100s, první řádek aritmetický průměr tří měření, druhý řádek směrodatná odchylka, systém korekcí ZAF;

- F: měření na ploše cca $1 \times 1 \text{ mm}^2$, P: měření v bodě

- obr. 4f přesněji řečeno je tato strukturní složka tvořena fází ϵ a eutektikem ($\epsilon + \eta$), v němž fáze η transformuje pod teplotou 189°C na fázi η' ; obdobně strukturní složka na obr. 4c je tvořena fází η a eutektikem ($\eta \cdot Sn$), v němž fáze η prodělá zmíněnou transformaci [2].

Tab. III Výsledky kontrolní mikroanalýzy hřebíku na metalografickém výbrusu

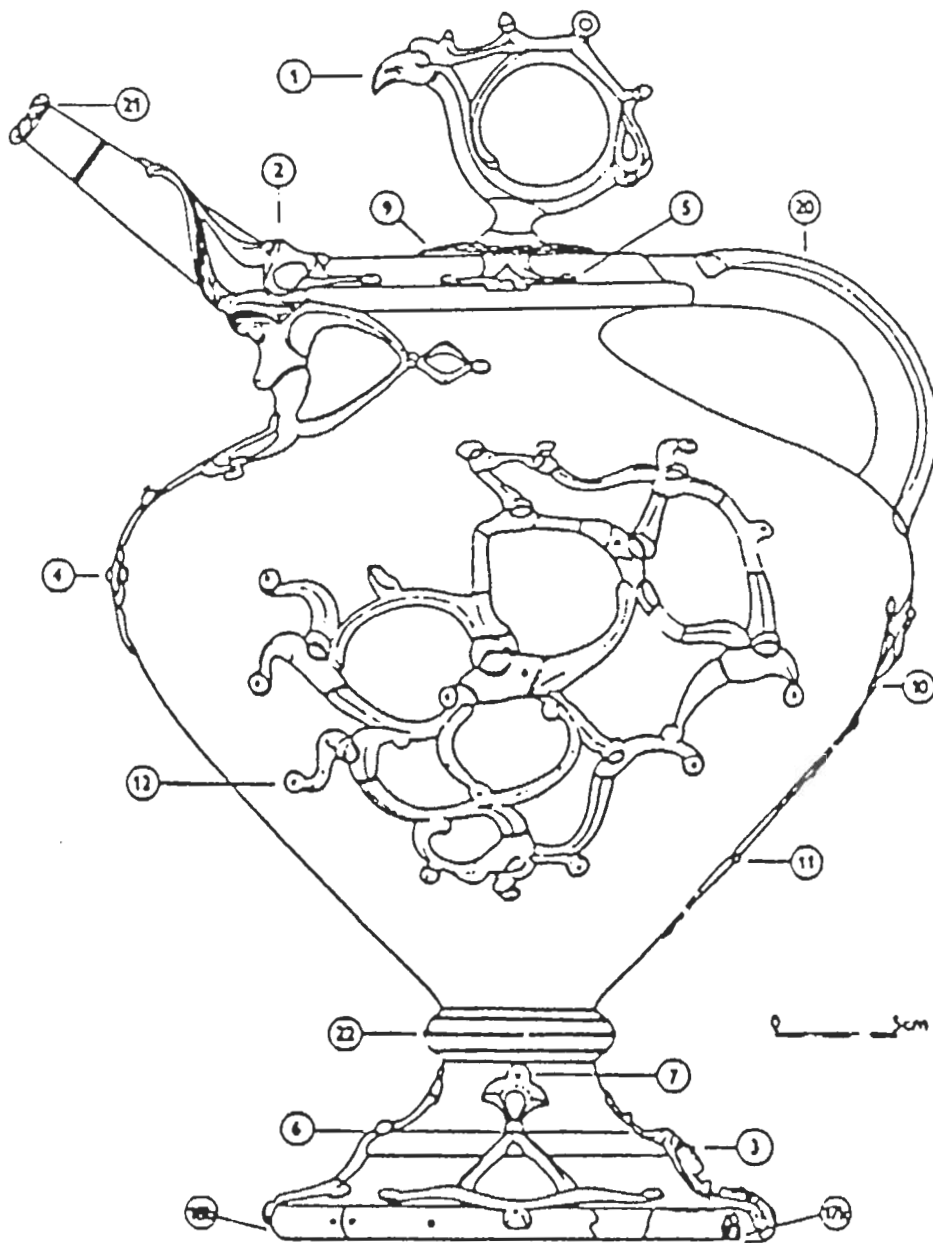
Vzorek	Prvek (hmot.%)						Obr.
	Si	Ag	Sn	Fe	Cu	Pb	
Kovaný hřebík 14(107,180)	0,22	0,19	8,45	0,16	88,02	2,97	5, 6
	0,06	0,09	0,29	0,06	0,92	0,91	

Poznámky: analyzátor TRACOR - TN 2000 • el. rastrovací mikroskop JSM - 840, 20 kV, expozice 100 s, první řádek aritmetický průměr sedmi měření na ploše cca 1x1mm, druhý řádek směrodatná odchylka.

Tab. IV Výsledky mikroanalýz na lomech

Vzorek	Prvek (hmot. %)					Obr.
	Cu	Ag	Sn	Sb	Pb	
Litě prolamované kování 12(107,188)	61,93	0,53	27,81	0,19	9,60	11
	2,26	0,11	2,12	(0,26)	0,18	
Tepané kování 17f(107,188)	86,43	0,00	9,29	0,04	4,24	12
	1,96	0,00	1,54	(0,09)	0,83	
Tepané kování 18b(107,175)	87,56	0,00	8,14	0,00	4,30	13
	1,14	0,00	1,11	0,00	0,70	

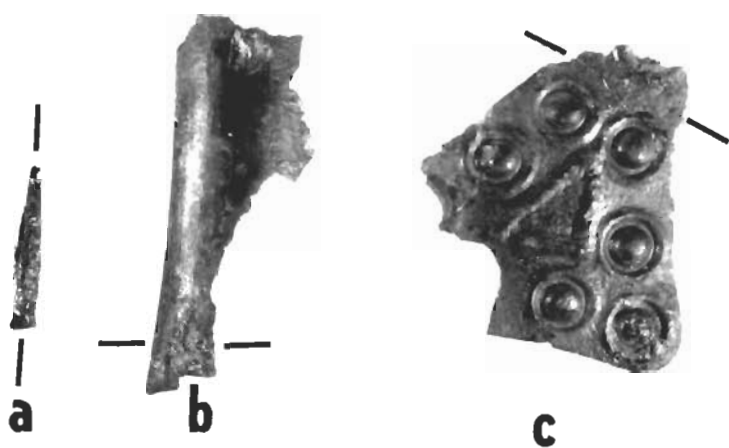
Poznámky: analyzátor Kevex Delta V • el. mikrosonda JXA 8600, 15 kV, expozice 100 s, první řádek aritmetický průměr tří měření, druhý řádek směrodatná odchylka, systém korekcí ZAF;
F: měření na ploše cca 1 x 1 mm, P: měření v bodě;
obr. 4f přesněji řečeno je tato strukturální složka tvořena fází ϵ a eutektikem ($\epsilon + \eta$), v němž fáze η transformuje pod teplotou 189 °C na fázi η' ; obdobně strukturální složka na obr. 4c je tvořena fází η a eutektikem ($\eta + \text{Sn}$), v němž fáze η prodělá zmíněnou transformaci [2].



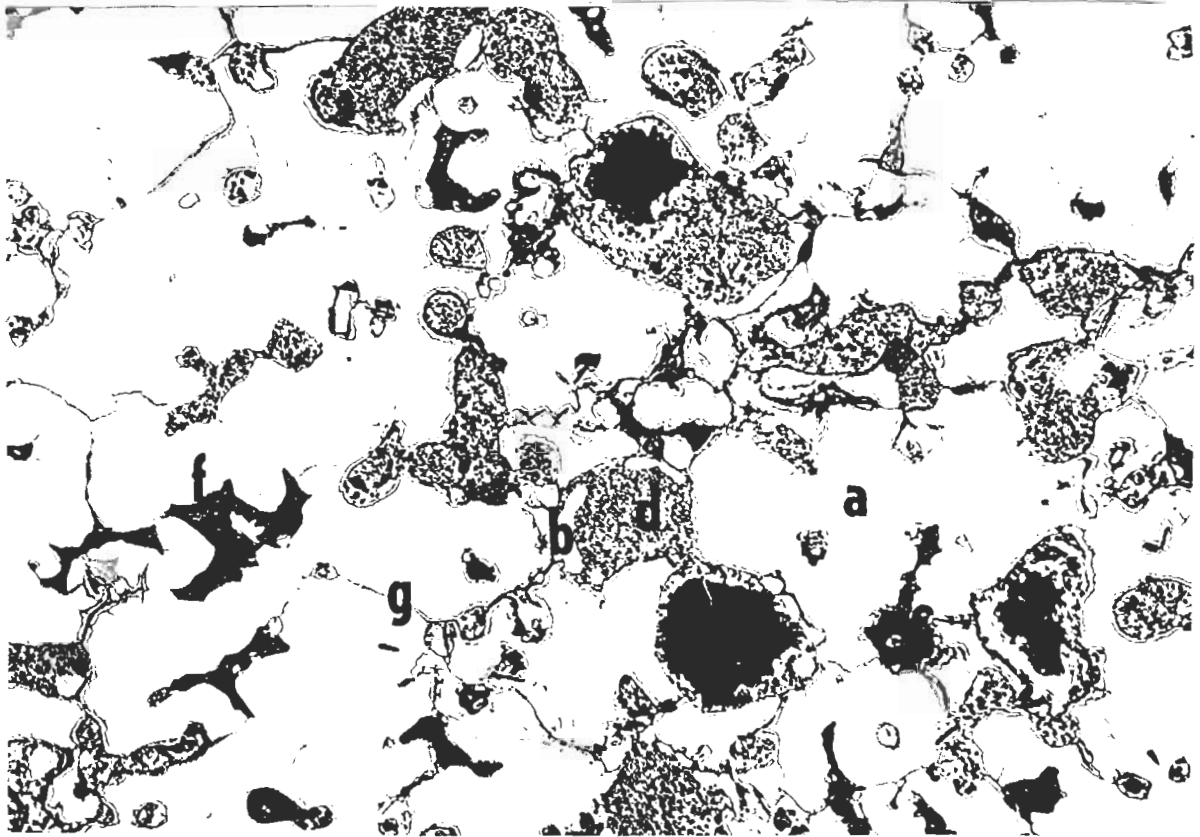
Obr. 1 Rekonstrukce laténské dřevěné konvice s bronzovým kováním podle [1], obr. 4, s. 218



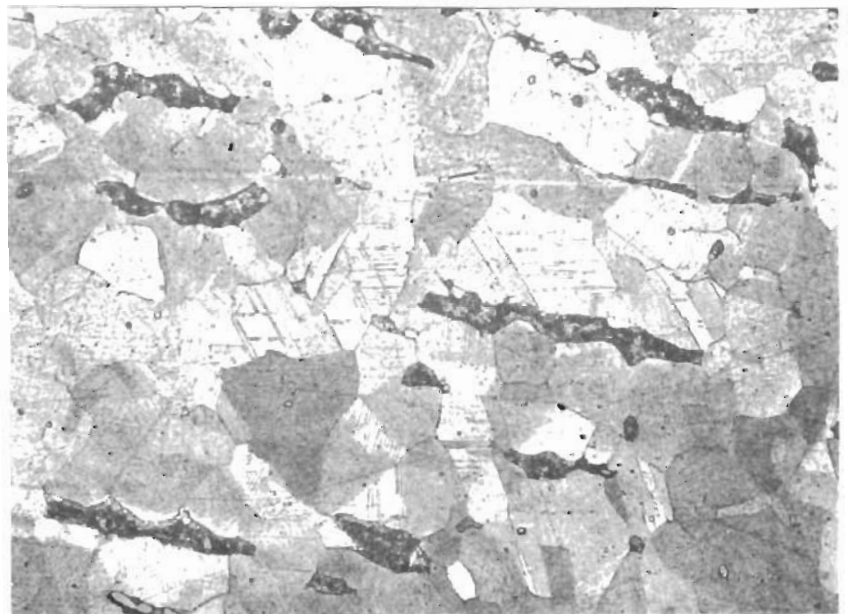
Obr. 2 Vzorek litého prolamovaného kování vybraný k analýze.
Ozn 12 (107.171)



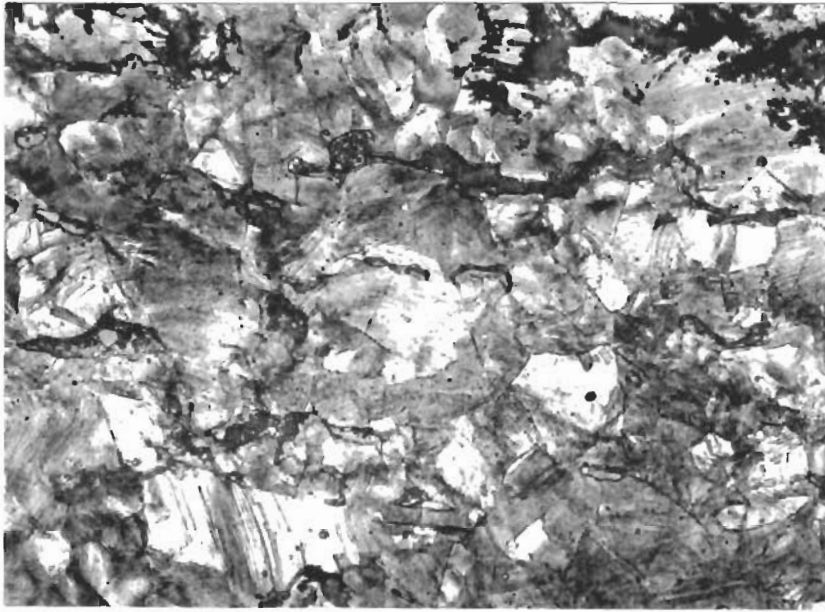
Obr. 3 Vzorke vybrané k analýze:
a) hřebík, ozn. 14 (107.180);
b) tepaný plech korýtkovitě prohnutého kování okraje
nožky, ozn. 18 b (107.175);
c) tepaný plechový trojúhelník s vybíjenými puklicemi,
ozn. 17 f (107.188).



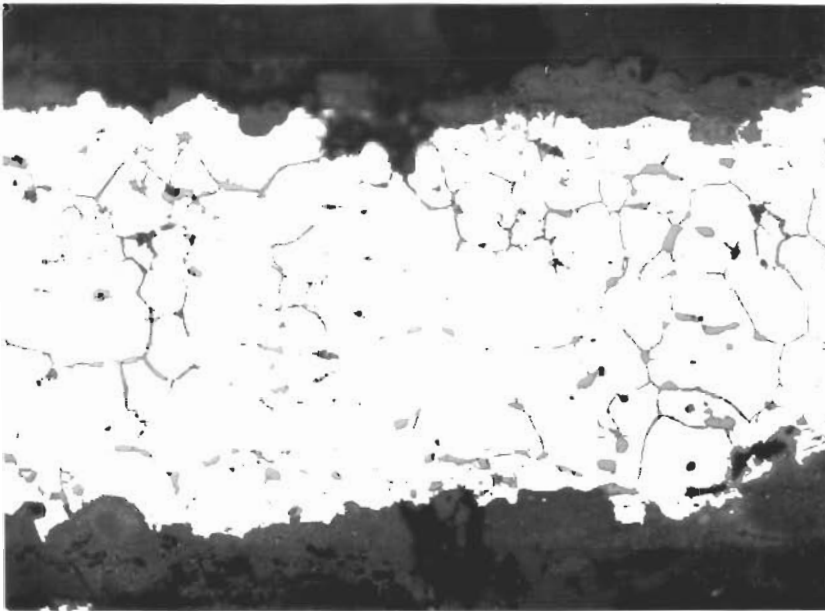
Obr. 4 Struktura litého bronzu s vyznačením fází a strukturálních složek podrobených bodové mikroanalýze. Neleptáno, zvětšeno 400x.



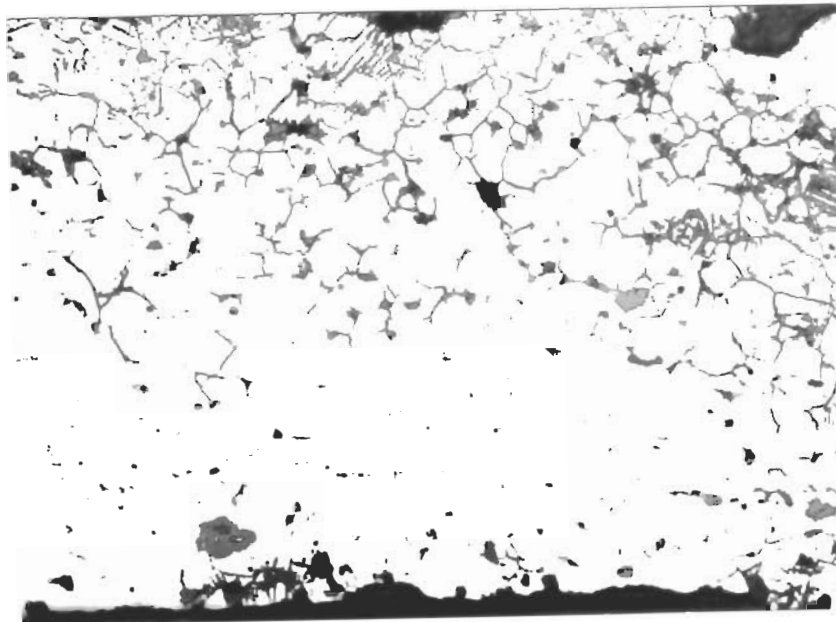
Obr. 5 Struktura kovaného bronzového hřebíku z okolí hlavy. Struktury na obr. 5, 6, 9 a 10 byly vyvolány v leptadle o složení 50 ml HCl, 10 g FeCl₃ a 180 ml ethylalkoholu. Zvětšeno 500x.



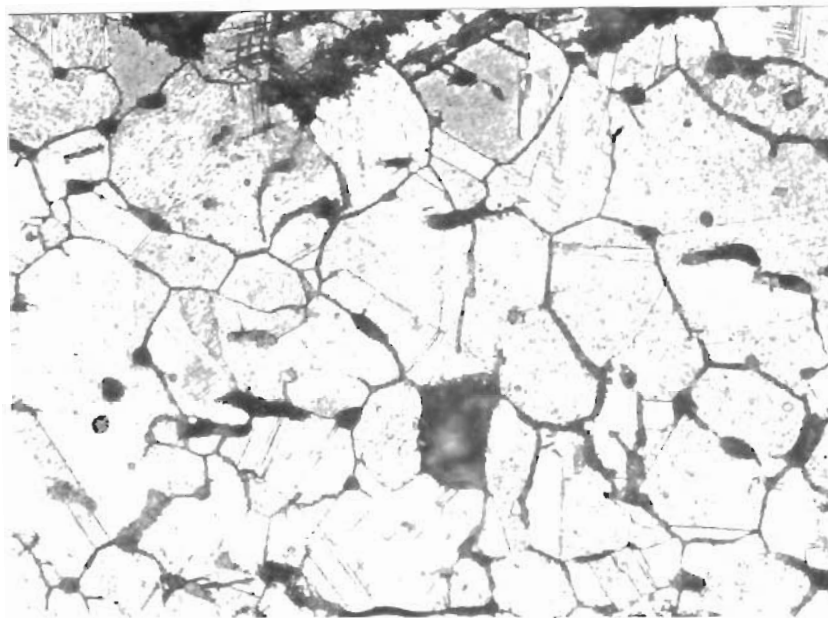
Obr. 6 Struktura kovaného bronzového hřebíku z místa špice. Zvětšeno 500x.



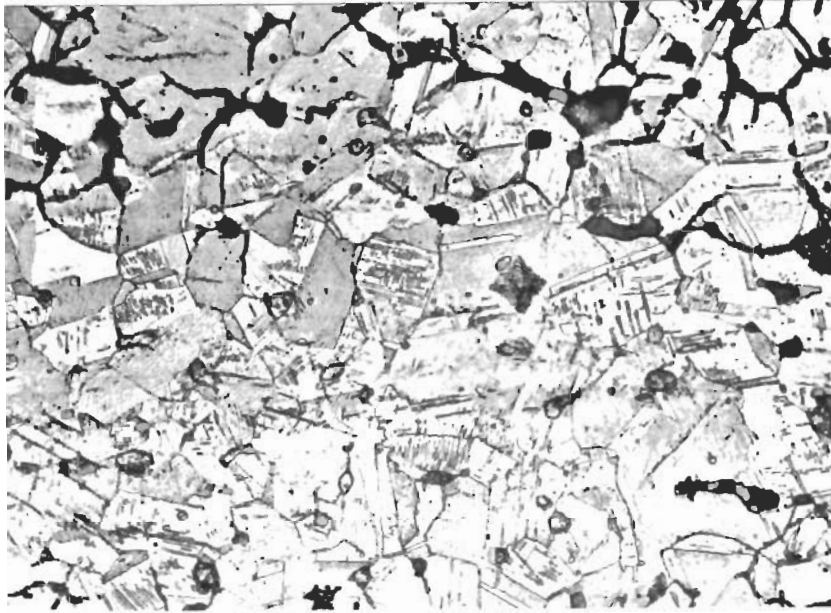
Obr. 7 Příčný řez tepaným plechovým trojúhelníkem z bronzu. Lícni strana je silněji oxidačně zkorodována než rub původně přiléhající k dřevěné nádobě. Neleptáno, zvětšeno 250x.



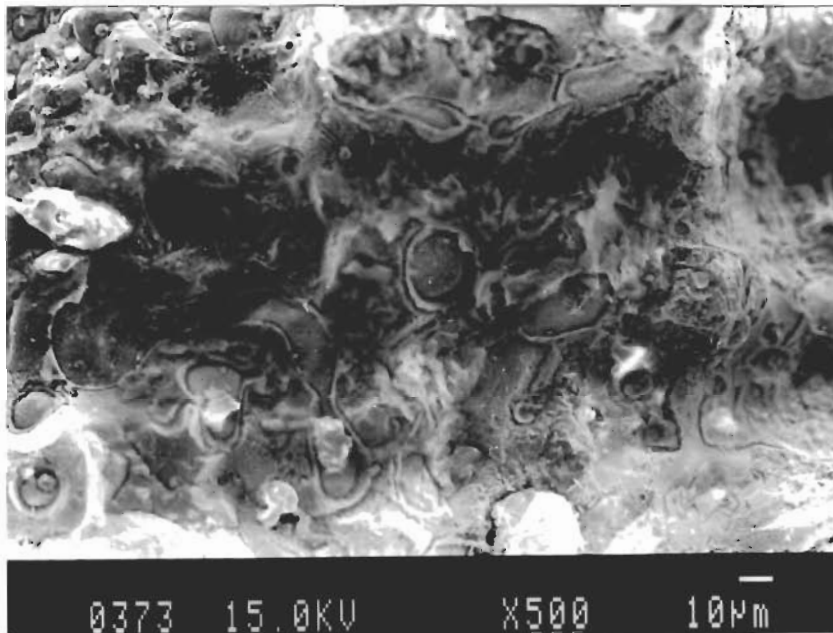
Obr. 8 Příčný řez tepaným kováním okraje nožky. Lící strana je mnohem více napadena oxidační korozí než rub původně přiléhající k dřevěné nádobě. Neleptáno, zvětšeno 250x.



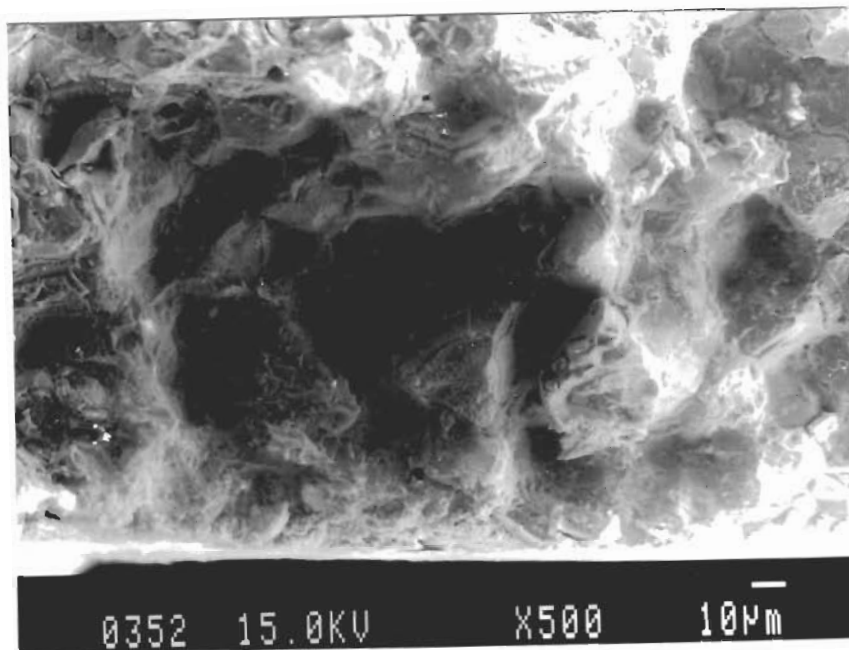
Obr. 9 Příčný řez tepaným bronzovým trojúhelníkem z bronzu. Polyedrická zrna fáze s méně četnými deformačními dvojčaty. Zvětšeno 500x.



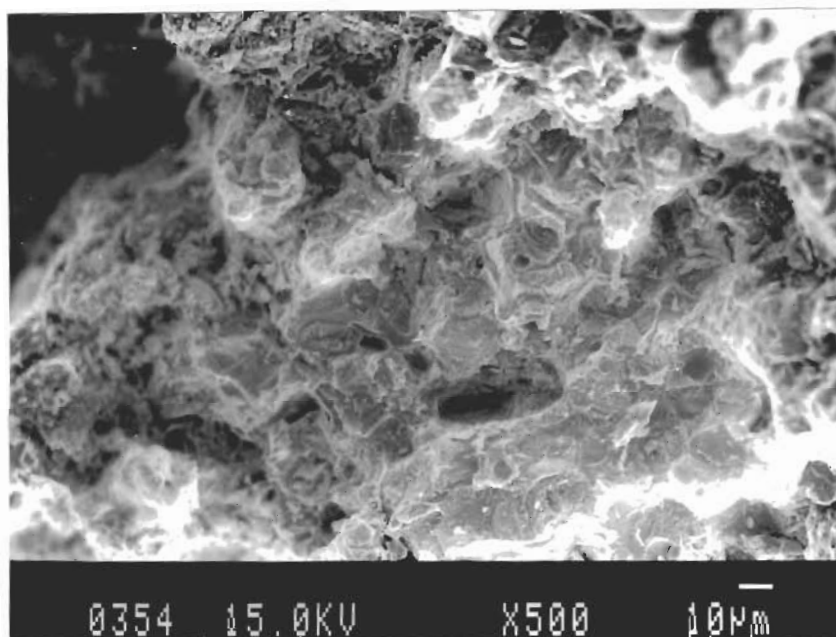
Obr. 10 Příčný řez tepaným kováním okraje nožky. Polyedrická zrna fáze s velmi četnými deformačními dvojčaty. Zvětšeno 500x.



Obr. 11 Mezidendriticky usměrněný lom litým prolamovaným bronzovým kováním. Rastrovací elektronový mikroskop (REM), zobrazení v sekundárních elektronech (SE).



Obr. 12 Mezidendriticky usměrněný lom v tepaném kování 17 F (REM-SE).



Obr. 13 Mezidendriticky usměrněný lom v tepaném kování 18 b (REM-SE).