

Kovářské zpracování železné houby vytavené v šachtové peci olomučanského typu rekonstruované podle nálezu z 11. století n.l.

Karel Stránský, Jaroslav Šenberger, Antonín Rek,

Václav Kafka, Věra Souchopová

1. Úvod

V sedmdesátých letech byla v laboratořích Vojenské akademie v Brně na Veveří ulici realizována série čtyř pokusných taveb v rekonstrukcích nadzemní šachtové pece s kotlovitě zahloubenou nístějí [1]. Pokusné pece byly rekonstruovány podle nálezů pozůstatků pěti hutnických pecí v areálu mladohradištní hutě v Olomučanech u Blanska [2,3]. Pro všechny čtyři pokusné tavby (tj. hutnické pochody bylo z technologického hlediska společné jejich rozdělení na čtyři údobí: 1) zapálení a předeřívání pece zaplněné pouze dřevěným uhlím - 2) rovnoměrné přísazování předem připravené vsázky železné rudy a dřevěného uhlí - 3) dohořívání pece zaplňované pouze dřevěným uhlím, při poněkud snížené intenzitě dmýchání vzduchu - 4) samovolné dohořívání paliva na přirozený tah a chladnutí pece. Po každém pochodu byl vždy slítek vyjmut kleštěmi z nístěje a kladivem byla odstraněna křehká struska s kousky dřevěného uhlí. Za železnou houbu byla pokládána ta část slitku, v němž kovová kostra tvořila pevné a houževnaté jádro, které nebylo možno rozbít údery kladivem, ale pouze velmi obtížně oddělit sekáčem.

Složení vsázky, tj. železné rudy a paliva - dřevěného uhlí, postup práce a režim tavení, jakož i ostatní metalurgické parametry pochodu a metalografická jakost vyredukované železné houby jsou zevrubně popsány v pracích [4,5].

Z porovnání jednotlivých pochodů se zřetelem k dosaženému výtěžku železné houby vyplynulo, že neúspěšnější byla IV. tavba, u níž bylo dosaženo výtěžku železné houby vztaheného na rudnou vsázku 31% [5]. Ve srovnání s prvními třemi tavbami u nichž se výtěžek pohyboval v jednotkách procent, se u čtvrté tavby příznivě projevil vliv vyšší rychlosti hoření paliva a tím i vyšší rychlosti klesání rudy ve vsázce po výšce šachty, dále vliv vyšší kovnatosti přísazované železné rudy a zvýšené šachty pece.

U čtvrté tavby byla celková výška pece včetně kotlovitě zahloubené nístěje 1 120 mm, výška šachty 800 mm, průměr nístěje ve výšce dmyšen byl 250 mm a v úrovni kotlovitého zahloubení asi 300 mm. Během pochodu bylo dosaženo

maximální teploty v peci u stěny mezi dmyšami v úrovni jejich ústí do pece 1140 °C a střední teplota v těchže místech 1090 °C. Přisazeno bylo celkem 7 kg železné rudy jednak importované z Indie, jednak Olomučanské v poměru 1/6. Výtěžek této čtvrté tavby tvořily dva koláče železné houby o hmotnosti 0,73 kg (obr.1 - menší kus) a 1,41 kg (obr.2 - větší kus). Kovářské zpracování obou koláčů železné houby se uskutečnilo teprve 8. října 1988 v kovárně tehdejšího JZD v Hroznatíně na Třebíčsku a podujal se ho vyučený a zkušený vesnický kovář pan Josef Vrba (*1916) za asistence pana Václava Kafky (*1913) a prvních dvou autorů tohoto příspěvku. Kovárna v Hroznatíně byla zbudována v roce 1951 a mimo běžné vybavení měla v uvedené době též vzduchový buchar.

Cílem tohoto příspěvku je podrobně popsat způsob kovářského zpracování obou koláčů železné houby, zhodnotit získané výsledky včetně úhrnného výtěžku a podat základní metalografickou charakteristiku výkovků, včetně charakteristiky jejich mechanických vlastností.

2. Kovářské zpracování železné houby

K ohřevu koláčů železné houby byla použita kovářská výheň s ventilátorem pro přívod vzduchu o příkonu cca 350 W. Jako paliva ve výhni bylo použito ostravské kovářské uhlí velikosti vlašského ořechu. Koláče železné lupy (obr.1 a 2) byly nejdříve vloženy do roztopené výhně, aby se z nich odstranila struska a vyhořely zbytky a úlomky dřevěného uhlí, které v nich zůstaly uzavřeny po redukci v hutnické peci. U menšího koláče o hmotnosti 0,73 kg trvalo vyhřívání ve výhni asi 48 minut, zatímco větší koláč o hmotnosti 1,41 kg byl vyhříván před vlastním kováním celkem 27 min. Časový snímek průběhu kovářského zpracování obou koláčů (kusů) železné houby je uveden v tab.1.

Menší koláč železné houby byl kován na deset ohřevů i s meziohřevy celkem 42 min, kdy se rozpadl na dvě části. Z nich větší díl byl vykován na tři meziohřevy za deset minut do tvaru čtvercového průřezu, menší díl pak na dva meziohřevy za devět minut do téhož tvaru. Po vykování (obr.3) chladly oba díly volně na vzduchu.

Větší koláč železné houby z téže tavby byl kován na šest ohřevů i s meziohřevy po dobu 29 min., a to do tvaru kostky. Po konečném vytvarování (obr.4) byla kostka ochlazena ve vodě.

Během kování bylo použito pouze dvou základních kovářských operací, a to pēchování a prodlužování. Během pēchování koláčů železné houby docházelo také ke svařování z ohně. Poněvadž nebylo použito žádného ochranného prostředku proti tvorbě okují, a ne všechny okuje se podařilo úderem svařovaného a pēchovaného kusu o kovadlinu odstranit, nebylo svařování v ohni dokonalé. To se projevilo v operacích prodlužování vznikem trhlin na hranách a při velké redukci průřezu též ve vrstevnatém (dřevitém) lomu, kterým se rozpadl prodlužovaný původně menší koláč na dva díly (obr.3). Svařování z ohně probíhalo při světležluté až bílé barvě pēchované železné houby, což odpovídá teplotě asi 1150 až 1300 °C [6]. Ze svařovaných koláčů železné houby přitom mírně sršely jiskry. Pokud nebyla použita operace prodlužování, ale pouze pēchování, což byl případ kovářského zpracování většího koláče železné houby, byl počet trhlin na hranách pēchovaného kusu podstatně menší než u pēchovaného a poté prodlužovaného kusu.

V obou případech, zejména pak u většího koláče železné houby, docházelo během kování ke značným ztrátám kovu tím, že při kování odpadaly od koláčů menší granule okujenných částí houby. Ztráty okujením byly poměrně značné, což ukazuje, že k účinnému využití železné houby je zapotřebí zvýšit podíl oxidu uhelnatého v atmosféře výhně, popřípadě ještě chránit povrch houby před okujením jiným způsobem, kupříkladu ochranným zásypem. Například u malého koláče o původní hmotnosti 0,730 kg měly dohotovené tyče (obr.3) hmotnost 0,140, popř. 0,085 kg (celkem 0,225 kg), což značí, že výtěžek železa z původního koláče železné houby byl pouze 30,82%.

U většího koláče o původní hmotnosti 1,410 kg měla dohotovená kostka (Obr.4) hmotnost 0,210 kg, což je 14,89% zisku čistého, kovářsky zpracovaného polotovaru z čistého železa. V průměru je to tedy na 2,140 kg železné houby pouze 0,435 kg čistého, kovářsky zpracovaného železa, což dává výtěžek 20,33%. Zbytek 79,67% činí ztráty odpadem okrajových částí koláčů železné houby, okujením, vyteklou původní hutnickou struskou a vyhořením zbytků dřevěného uhlí. Tímto přibližným odhadem, učiněným na podkladě rekonstrukce technologie kovářského zpracování železné houby bez zkušeností tehdejších kovářů, vychází, že bylo

možno počítat s výtěžkem čistého železa z původní z šachtové pece vyjmuté železné houby prostoupené hutnickou struskou a dřevěným uhlím v rozsahu asi 1/7 (14,89%) až 1/3 (30,82%). To činí v průměru jak bylo uvedeno asi 1/5 (20,33%), zbytek 4/5 (79,67%) připadá na ztráty. Dá se však počítat s tím, že výtěžek mohl být s ohledem na zkušenosti tehdejších hutníků a kovářů podstatně větší, takže uvedené kritérium - 1/5 - představuje spíše dolní mez výtěžku než průměr.

Uvážíme-li dále, že u tavby č.IV (1973) z níž oba koláče pocházejí, činil výtěžek železné houby ve vztahu k hmotnosti zpracované železné rudy (Indická: Olomučanské v poměru 6:1) celkem 30,57%, potom skutečný výtěžek železa, hodnocený již jako kovářský produkt, se pohybuje kolem 6,21% s mezemi od 4,55% do 9,42%. To se může zdát velmi málo, uvažme však že uvedené číslo se vztahuje k celkové hmotnosti přisazené železné rudy a záleží tedy na kovnatosti rudy, kolik železa se vskutku získá.

V daném případě byla použita Indická ruda s obsahem 60 %Fe a Olomučanská ruda s obsahem 42 %Fe (podle analýz laboratoří ČKD Blansko) v poměru 6/1, což v průměru odpovídá 57,43 %Fe v rudné vsázce. Vztaheno na přisazené množství železa to znamená, že lze počítat s výtěžkem v mezích 7,9% až 16,4% s průměrem kolem 10,8%, což je asi 1/13 až 1/6 při průměru 1/9 výtěžku železa ve vsázce. Delší doba vyhřívání železné houby ve výhni při snížené intenzitě dmýchání vzduchu působí zřejmě příznivě na výtěžek při kovářském zpracování, neboť poté co z houby vyteče struska a vyhoří zbytky dřevěného uhlí, dochází k jejímu slinování což vede k větším výtěžkům. Pro orientační posouzení doby vyhřívání na výtěžek získáme zpracováním uvedených párových hodnot (doba vyhřívání, výtěžek: 48 min, 30,82%; 27 min, 14,96%) metodou nejmenších čtverců vztahy

$$(výtěžek \%) = -5,66 \cdot 0,76 \cdot (doba \text{ vyhřívání ve výhni v min}) \quad (1)$$

$$(výtěžek \%) = -76,56 \cdot 63,87 \cdot (\log. \text{ doby vyhřívání v min}) \quad (2)$$

$$(výtěžek \%) = 0,228 \cdot (doba \text{ vyhřívání ve výhni v min})^{1,268} \quad (3)$$

Z rovnic (1) a (2) vychází nejmenší doba ohřevu koláče železné houby k tomu, abychom dostali kladný výtěžek kolem 7 až 16 min. Maximální hodnotu výtěžku však odhadnout nelze. Použijeme-li však k proložení experimentálních hodnot rovnice

$$(výtěžek \%) = 78,73 \cdot \exp\{-45,02 / (doba \text{ vyhřívání v min})\} \quad (4)$$

potom je možno odhadnout i maximální možné využití železa ze surového koláče železné houby, neboť rovnice má limitu pro čas rostoucí přes všechny meze. Mezní, maximální výtěžek by neměl překročit hranici asi 78%. Tak například vyhříváním po dobu asi 2 hodin by se mohl zvýšit výtěžek na asi 54%, naproti tomu zkrácením na 30 min by se snížil na asi 18%. To jsou ovšem pouze přibližné odhady, které ukazují, že vyhřívání železné houby, které vede k jejímu vyčištění od strusky a zbytků dřevěného uhlí zaručuje lepší výtěžek, zřejmě též díky lepšímu slinutí jednotlivých granulí které tuto houbu tvoří. Po vyhoření zbytků dřevěného uhlí a odstranění strusky vypadá houbička zprvu jako "prožraná od mravenců" a teprve po jisté delší době vyhřívání se z ní stává kompaktnější celek. Celková hmotnostní bilance tavby č.IV od hutnického zpracování železné rudy až po vykování polotovaru znázorněných na obr.3 a 4 je uvedena v tab.II. Zkušenosti, které byly získány při tavení železné rudy v olomučanské variantě redukční šachtové pece a při jejím zpracování souhlasí s těmi, které uvádí Pleiner ve svých dílech [7,8]

3. Metalografická a prvková analýza strusek a polotovarů

K metalografické analýze byl použit metalografický mikroskop Neophot II s mikrotvrdoměrem Hanemann. Prvková a s ní spojená fraktografická analýza byly uskutečněny pomocí elektronového rastrovacího mikroskopu JEOL JSM-840 ve spojení s energiově disperzním mikroanalýzátorem Tracor TN 2000 a pomocí analytického komplexu JEOL JXA-8600/Kevex Delta V.

Metalografické analýze byly podrobeny vzorky odebrané podle obr.3 z menší tyče vykované z menšího koláče železné houby. Výbrusy byly zhotoveny ve směru podél vláken a napříč vláken, a to obvyklým způsobem, tj. broušením na metalografických papírech za mokra s doleštěním na diamantových pastách s postupně se snižující zrnitostí diamantového prášku až do 1 m. K fraktografické analýze byl z téhož kusu odlomen po naříznutí vrubu vzorek ve směru napříč vláken. K analýze strusek a vměstků byly odebrány vzorky strusek po pechování menšího koláče železné houby (operace 6 podle tab.I) a použit výbrus v příčném směru odebraný podle schéma na obr.3. Výsledky metalografické analýzy potvrdily očekávané, velmi heterogenní rozložení uhlíku a struskových vměstků, jakož i nerovnoměrnou velikost austenitického zrna.

Navzdory intenzivnímu prokování, byly ve směru podél vláken rozloženy struskové vměstky v páscech s rozdílnou hustotou, od téměř ojedinělého výskytu vměstků odpovídající stupni čistoty

podle ČSN 42 0240 o hodnotě 1, až po stupeň 5, který vyjadřuje největší znečištění (obr.5). Pásky maximálního znečištění oceli korespondovaly převážně s feritickou strukturou, zatímco oblasti s lepší mikročistotou oceli byly převážně perlitické. Je to doloženo na obr.6, avšak od tohoto pravidla existovaly jisté odchylky. Ferit byl vyloučen jednak v jehlicích, na způsob Widmannstannovy struktury a ve formě sířoví po hranicích původních austenitických zrn, jednak tvořil polygonální zrna stupně 4 až 5 podle ČSN 42 0462. Perlit se vyskytoval v lamelární formě o různé hustotě lamel a tím též o rozdílné mikrotvrdosti. Původní austenitické zrna, tj. zrna před ochlazením po poslední kovářské operaci se měnilo v rozmezí stupně 2 až 5 podle téže ČSN. Struskové vměstky byly většinou dvoufázové, intenzivně protvářené ve směru vláken (obr.5). Jejich charakteristická dvoufázová skladba ve vzorku odebraného ve směru napříč vláken je doložena na obr.7. Mikrotvrdost obou základních strukturních složek, perlitu a feritu, je uvedena v tab.III.

Měření mikrotvrdosti byla doplněna též stanovením makrotvrdosti podle Brinella na tvrdoměru typu Wolpert s kuličkou o průměru 2,5 mm při zatížení 187,5 kg. Pěti měřeními na téže tyči z níž byly odebrány vzorky pro metalografickou a fraktografickou analýzu byla změřena tvrdost $(129,8 \pm 15,9)$ HB, což podle semiempirických vztahů uvedených v literatuře [6] odpovídá pevnosti v tahu (451 ± 59) MPa.

Analýzy strusek po kovářském zpracování železné houby a vměstků jsou uspořádány v tab.IV. Pro srovnání byly do téže tabulky zahrnuty výsledky analýzy strusky pocházející z redukčního pochodu v peci z lokality datované do 11. století.

Struktura analyzovaných vzorků strusek pocházejících z kovářského zpracování železné houby je zobrazena na obr.8 a 9. Charakteristický, analýze podrobený struskový vměstek z kovářsky zpracovaného polotovaru je na obr. 10.

Ze srovnání prvkového složení strusky v kovářské peci a struskových vměstků je zřejmé, že ve vměstcích je výrazně zvýšen obsah oxidu fosforečného P_2O_5 a obsah síry. Obsah oxidu fosforečného ve struskových vměstcích se zvyšuje následkem přechodu fosforu z železa do strusky během kovářského zpracování železné houby v oxidační, popřípadě v oxidačně redukční atmosféře kovářské výhně. Postupný přechod fosforu z železa do strusky v oxidační atmosféře kovářské výhně je patrný rovněž na zvýšeném obsahu tohoto prvku v kovářské strusce oproti strusce v redukční peci (tab.IV). Zvýšení obsahu síry v kovářské strusce a zejména ve

vměstcích, ve srovnání se struskou z redukční pece (tab. IV), je dáno použitím kamenného kovářského (ostravského) uhlí, v němž je přítomna síra.

Prvkové mikroanalýze byla podrobena taktéž matrice kovářsky zpracovaného polotovaru. K analýze matrice byl použit tentýž vzorek jako k analýze struskových vměstků, přičemž byly získány tyto výsledky (hm.%): 0,01 Al, 0,02 Si, 0,03 P, 0,04 Ti, 0,22 Mn, stopy síry a 99,61 Fe.

Fraktografické analýze byl podroben lom vzorku připravený za pokojové teploty v laboratoři tak, aby lomová plocha byla kolmá na podélný směr tyče vykované z menšího koláče železné houby. Lomová plocha byla prohlédnuta v rastrovacím elektronovém mikroskopu (REM) s cílem charakterizovat převládající mikromechanismy lomu. Bylo zjištěno, že lom probíhá převážně interkrystalicky, po hranicích původních austenitických zrn, a to jednak mechanismem interkrystalické dekoheze (štěpného oddělování materiálu mezi krystaly), jednak mechanismem tvárné separace, který je spojen s tvorbou jamek. Tato mikromorfologie lomu je doložena na obr. 11 a v detailu, který je pořízen ze stejné oblasti, na obr. 12. Oba snímky jsou v zobrazení sekundárními elektrony (SE).

4. Archeometalurgické zhodnocení výsledků

Soubor experimentálně získaných výsledků předložených v této práci přináší postup a komplexní dokumentaci kovářského zpracování železné houby vyrobené přímo z rud v olomučanské variantě šachtové pece postavené podle nálezu z 11. století. Ze dvou koláčů železné houby, které byly z této tavby získány, byly vyrobeny dva typy kovářských polotovarů - tyče a kostka, přičemž byla ověřena technologická zpracovatelnost železné houby, zahrnující využití železa v hutnicky vyrobené železné houbě.

Ukázalo se, že zejména v prvních fázích kování (pěchování a prodlužování) vyžaduje zpracování železné houby mimořádně pečlivou a opatrnou práci a zkušenost se "svařováním železa z ohně", neboť poté, co z houby vyteče roztavená struska a vyhoří zbytky dřevěného uhlí, je koláč charakterisován vysokou pórovitostí. Tuto pórovitost je zapotřebí úplně odstranit kovářským svařením z ohně, což vyžaduje zkušenost a zručnost, neboť je zapotřebí pracovat rychle, a pokud možno s ohřevem v redukční atmosféře, aby se zabránilo oxidaci (okujení) pórů houby. Dalšími kovářskými operacemi, v daném případě se převážně používalo pěchování a prodlužování, je nutno zčásti odstranit zbytky hutnické strusky zachycené v

pórech houby a poté vtisknout houbě požadovaný tvar.

V daném případě bylo dosaženo výtěžku vztaheného na hmotnost zpracovávaných koláčů železné houby o hodnotě asi 1/5, přičemž koláče železné houby, vytavené v redukční šachtové peci, byly asi z 1/3 objemu prostoupeny struskou a zbytky dřevěného uhlí. Jestliže vztáhneme výtěžek na hmotnost železa v rudné vsázce šachtové pece, potom kvalifikovaný odhad vede asi k 1/9 výtěžku počítaného z poměru: (hmotnost finálně zpracovaných kovářských polotovarů) / (původní hmotnost železa ve vsázce železné rudy v šachtové redukční peci vypočítaná ze známé kovnatosti a složení železných rud) tab. II. Jestliže počítáme výtěžek ve vztahu k surové rudné vsázce, potom lze podle tab. II počítat s výsledným úhrnným výtěžkem asi 1/16.

Podle výsledků metalografické analýzy a zkoušek tvrdosti je patrné, že vykované tyče mají strukturu a vlastnosti odpovídající nelegované oceli o střední pevnosti kolem 450 MPa, což přibližně odpovídá dnes vyráběné značce oceli ČSN 41 1500, která má modus obsahu uhlíku 0,3 hm.%, používá se na málo namáhané strojní součásti, nejčastěji v normalizačně žíhaném stavu. Vykované tyče, znázorněné na obr. 3, jsou prosté křemíku a mají velmi nízký obsah manganu, fosforu a síry. Mají zároveň výtečnou svařitelnost, což je podle Quadrata [10] dáno způsobem vazby kyslíku výhradně na oxid železnatý, který je v takto vyrobeném železe obsažen jenom ve struskových vměstcích, zatímco v oceli vyrobené z tekutého stavu (v elektrických obloukových nebo indukčních pecích, v Siemensových-Marténových pecích, v kyslíkových konvertorech aj.) je kyslík vždy zčásti rozpuštěn v tuhém roztoku v matrici, což je na újmu svařitelnosti a způsoblosti ke zpracování v žáru. Vyrobený kovářský polotovar lze pokládat za vhodný k výrobě podkov, závěsných háků, třmenů, šipek do střel ke kuším, řetězů aj.

Literatura

- [1] CENEK, M. - BEZDĚK, M. - STRÁNSKÝ, K. - SOUCHOPOVÁ, V.: Přímá výroba železa z rud na Blanensku. In: Knižnice odborných a vědeckých spisů VUT v Brně, sv. B-61, 1975, s.79-90.
- [2] SOUCHOPOVÁ V.: Stopy železářské výroby z rané doby středověké v Olomučanech na Blanensku. In: Sborník Okresního muzea v Blansku 1, 1969, s.41-46.
- [3] SOUCHOPOVÁ, V.: Nález hutnické dílny v Olomučanech na Blanensku. In: Sborník Okresního muzea v Blansku 5, 1973, s.75-84.
- [4] STRÁNSKÝ, K. - SOUCHOPOVÁ, V. - LUDIKOVSKÝ, K.: Pokusné tavby s přímou výrobou železa z rud na Blanensku. Stěvárnoství 1978, č.11, s.464-467.
- [5] SOUCHOPOVÁ, V. - STRÁNSKÝ, K.: Poznatky z experimentálních taveb železa v rekonstrukcích nadzemních šachtových pecí z Blanenska. Památky archeologické 74, 1983, s.527-544.

[6] Firemní katalog: POLDI Hochwertige Werkzeugstähle. Ferramet, Praha 1958.

[7] PLEINER, R.: Základy slovanského železářského hutnictví v českých zemích. NČSAV, Praha 1958.

[8] PLEINER, R.: Staré evropské kovářství. NČSAV, Praha 1962

[9] STRÁNSKÝ, K. - BLAŽÍKOVÁ, J. - WINKLER, Z. - STRÁNSKÝ, K. jun.: Složení železářských strusek z hutnických lokalit na Českomoravské

vrchovině a v okolí Blanska. In: Archeologia Technica č.7. Technické muzeum v Brně, Brno 1992, s.31-35

[10] QUADRAT, O.: Základy metalurgie železa. SNTL, Praha 1953, s. 252-255.

Tab. I: Časový snímek kovářského zpracování železné houby z tavby č. IV (1973) v kovárně v Hroznatíně (1988)

Poř. číslo	Operace [teplota (°C)]	Čas [h. min.]	Poznámka
1	vyhřívání malého koláče 073 (830 - 1050)	10,25	kovářská výheň
2	na okraj výhně vložen větší koláč 1,41 kg	11,02	kovářská výheň
3	pěchování menšího kusu (koláče) (1150 - 1250)	11,13	srší
4	hrubé pěchování menšího kusu	11,16	mezioghřev
5	postupné pěchování menšího kusu	11,2	mezioghřev
6	pěchování menšího kusu, odstranění strusky a otřepu	11,25	mezioghřev
7	prodlužování menšího kusu a tvarování na čtvercový průřez	11,3	mezioghřev
8	prodlužování menšího kusu, objevují se trhliny na hranách	11,35	mezioghřev
9	pěchované menšího kusu, trhliny se nesvařily	11,4	mezioghřev
10	pěchování za světležlutého žáru, částečné svaření trhlín (až 1250)	11,45	mezioghřev
11	pěchování za světležlutého žáru, část trhlín se svařila (až 1250)	11,5	mezioghřev
12	neúspěšný pokus o svaření velké trhliny, kus se rozpadl na dva díly	11,55	
13	prodlužování většího dílu na čtvercový průřez	11,57	mezioghřev
14	prodlužování menšího dílu na čtvercový průřez	12	mezioghřev
15	postupné dokončení průřezu většího dílu, na hranách výskyt trhlín	12,02	mezioghřev
16	dokončení tvaru menšího dílu (onr. 3)	12,04	ochlazeno na vzduchu
17	dokončení tvaru většího dílu (obr. 3)	12,05	ochlazeno na vzduchu
18	větší koláč vložen do středu výhně	12,1	vyhoření zb.uhlí
19	pěchování většího kusu (koláče), odpadlo několik úlomků (1150 až 1250)	12,37	mezioghřev
20	pěchování většího kusu, větší části se svařují, menší odpadají (až 1300)	12,43	mezioghřev
21	pěchování do tvaru kostky, části kusu se svařují v ohni (až 1300)	12,53	
22	pěchování do tvaru kostky, výskyt trhlín na hranách (880-1150)	12,57	
23	dokončování tvaru kostky s použitím sedlíku (800 až 830)	13,02	
24	dokončení tvaru kostky na čisto pomocí sedlíku - obr. 4 (780-800)	13,06	ochlazeno ve vodě

Tab. II Celková hmotnostní bilance tavby č. IV

Fáze pochodu	Množství (kg)	Výtěžek vztažený:			
		k rudné vsázce (%)	k železné houbě (%)	k obsahu Fe v rudné vsázce	
				(kg)	(%)
Prísada železné houby do šachtové redukční pece (Indie: Olomučany) (6 : 1)	7	100	-	4,9	100
Železná houba:					
menší koláč (obr. 1)	0,730	-	100		-
větší koláč (obr. 2)	1,410	-	100		-
celkem	2,140	30,57	100		57,43
Kovářsky zpracované polotovary:					
menší kusy (obr. 3)	0,225	9,42	30,82		16,41
větší kus (obr. 4)	0,210	4,55	14,89		7,93
celkem	0,435	6,21	20,33		10,82

Tab. III Mikrotvrdost feritu a perlitu změřená mikrotvrdoměrem typu Haneman, při zatížení 20g

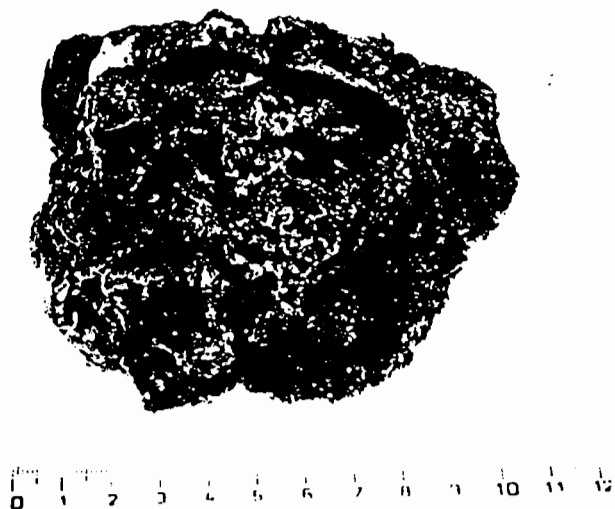
Strukturní složka	HV 0,02	
	x	sx
Jehlicový ferit	250	8,2
polygonální ferit	138,2	8,7
hrubý lamelární perlit ve smíšené feriticko-perlitické struktuře	269,2	9,3
jemný lamelární perlit v oblastech eutektoidní koncentrace	310,4	17,4

Tab. IV Analýza kovářské strusky a vměstků ze zpracování železné houby vyrobené v olomoučské variantě šachtové pece přímo z rud

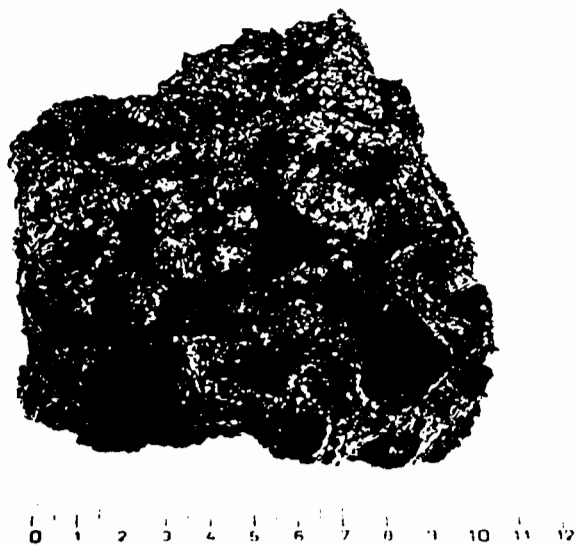
Složka	Obsah v (hm. %) kovářská výheň					
	redukční pec			vměstek		
	struska	struska vzorek 1	struska vzorek 2	průměr	fáze 1	fáze 2
NaO		-	-	0,84	1,41	0,94
MgO	0	0,37 0,03	0,38 0,08	0,51	0,68	0,62
Al ₂ O ₃	5,2	7,47 0,52	6,06 0,45	3,79	0,58	5,28
SiO ₂	14,4	21,08 1,00	15,65 1,45	16,48	0,43	26,44
P ₂ O ₅	0	0,37 0,06	0,23 0,02	0,61	0,15	1,19
S	0	0,22 0,03	0,09 0,01	1,07	0,07	1,68
K ₂ O	3,9	2,68 0,18	1,48 0,13	1,81	0,13	3,09
CaO	2,9	2,5 0,17	1,47 0,21	2,26	0,09	3,40
Ti ₂ O	0	0,17 0,01	0,19 0,04	0,27	0,4	0,21
MnO	0,6	0,13 0,03	0,12 0,01	0,17	0,1	1,16
Fe ₃ O ₄	72,7	65 1,72	74,32 1,99	72,18	95,97	56,98

Poznámky: - struska z lokality "U sv. Klimenta" z 11. století (9) analyzátor Tracor
 - kovářna v Hroznatíně, struska z pýchování kratší tyče, analyzátor Kevex
 - podmínky mikroanalýzy:
 Tracor: napětí 25 kV, expozice 100 s, korekce ZAF
 Kevex: napětí 15 kV, expozice 100 s, korekce ZAF, první řádek značí aritmetický průměr, druhý směrodatnou odchylku ze tří měření

Obr. č. 1 Železná houba z tavby č. IV (VA Brno) - menší koláč o hmotnosti 0,730 kg

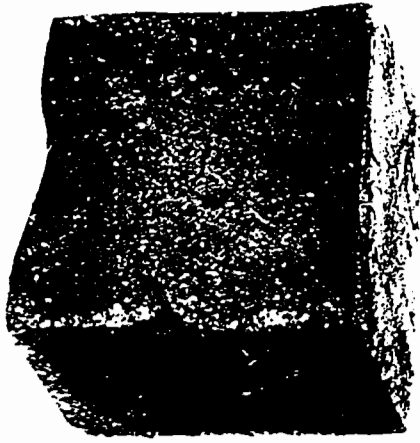


Obr. 2 Železná houba z tavby č. IV (VA Brno) - větší koláč o hmotnosti 1,410 kg.

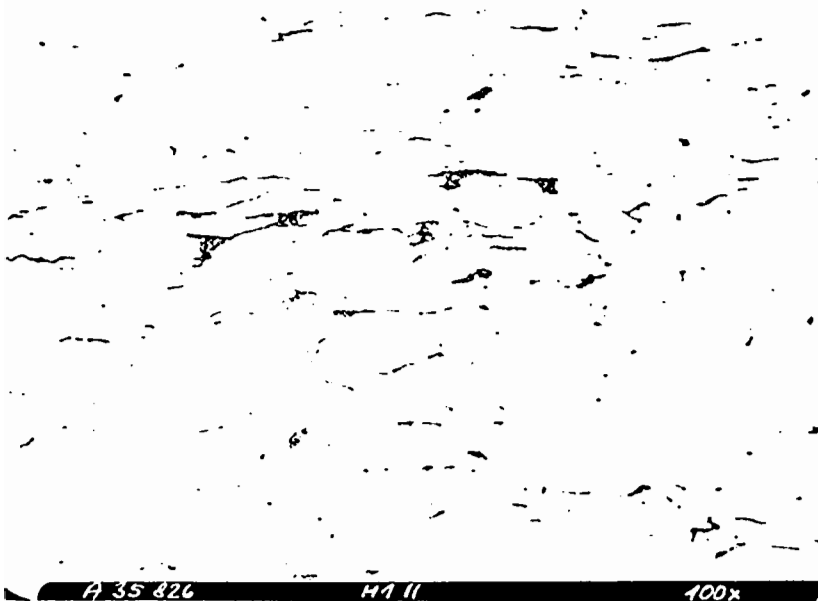


Obr. 3 Tyče vykované z menšího koláče železné houby. Je naznačen způsob odběru vzorků pro metalografii a fraktografii z kratší tyče. Řez tyčí: a - podélný, b - příčný, c - příčný.

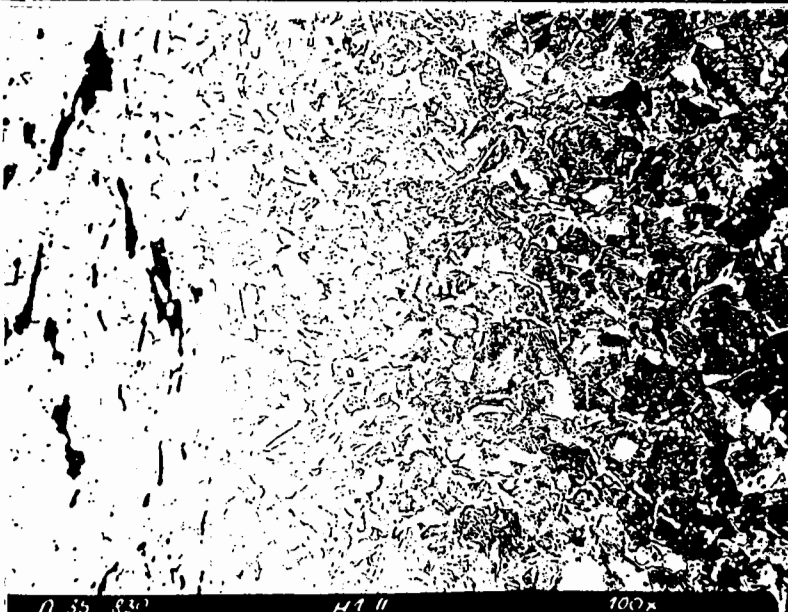




Obr. 4 Kostka vykovaná z většího koláče železné houby.



Obr. 5 Rozložení struskových vměstků v podélném směru (ve směru podél vláken) tyče vykované z menšího koláče železné houby. Neleptáno, zvětšeno 100x.



Obr. 6 Nerovnoměrné rozložení perlitu (svědčící o nerovnoměrném rozložení uhlíku) v podélném směru tyče vykované z menšího koláče železné houby. Leptáno nitalem, zvětšeno 100x.

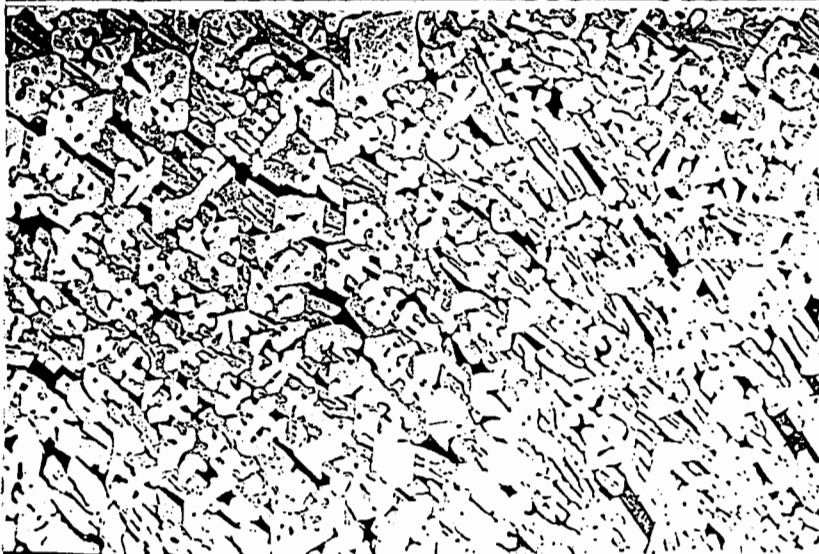
Obr. 7 Struskový vměstek ve směru napříč vláken v tyči vyko-
vané z menšího koláče
železné houby. Neleptáno,
zvětšeno 400x.



Obr. 8 Struska č.1 provázející
kovářské zpracování
železné houby. Světle se
zobrazující dendrity wüstitu,
šedě zobrazené krysta-
lity fayalitu a tmavá melili-
tová hmota REM - zobra-
zení COMPO. Tab. IV



Obr. 9 Struska č. 2 provázející
kovářské zpracování
železné houby. Světleji se
zobrazující zrna wüstitu,
šedé, protáhlé krystaly
fayalitu a ostrůvky tmavě
se zobrazujícího melilitu.
REM - zobrazení
COMPO. Tab. IV



0702 15.0KV X300 100µm



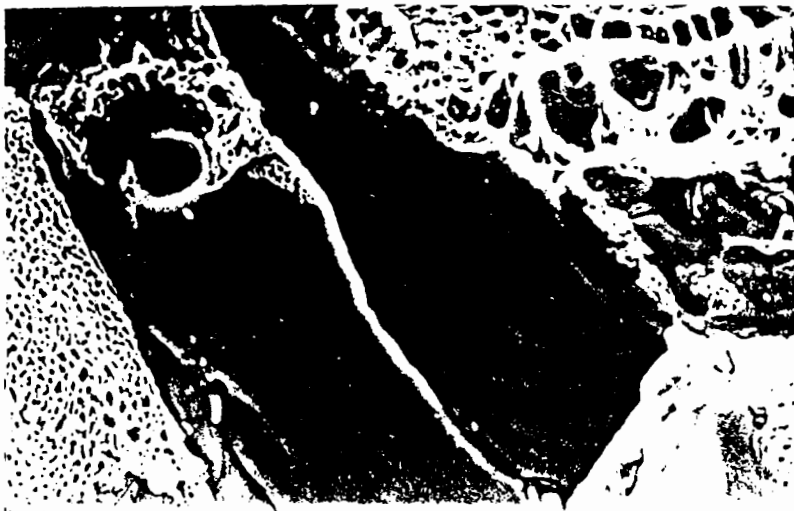
Obr. č. 10 Struskový vměstek podrobený prvkové mikroanalýze v tyči vykované z menšího koláče železné houby. Světlé oblasti - wüstit, tmavé oblasti - fayalit. REM - zobrazení SE

0849 15.0KV X1,500 10µm



Obr. 11 Interkrystalický lom tyče, probíhající mechanismem interkrystalické dekoheze (hladké plochy) a mechanismem tvárné separace (plochy s jamkami). REM-SE

5421 25KV X500 10µm WD37



Obr. č. 12 Detail interkrystalického lomu, zachycující lom dekohezí a tvárnou separací. REM-SE

5422 25KV X2,000 10µm WD37