

Zeman, Jiří

Metalografický rozbor nálezů

Archaeologia historica. 1988, vol. 13, iss. [1], pp. 487-493

Stable URL (handle): <https://hdl.handle.net/11222.digilib/139780>

Access Date: 29. 11. 2024

Version: 20241018

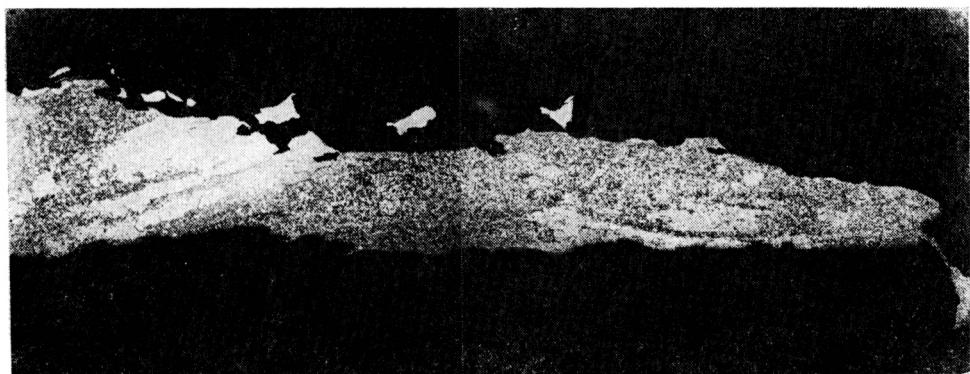
Terms of use: Digital Library of the Faculty of Arts, Masaryk University provides access to digitized documents strictly for personal use, unless otherwise specified.

Metalografický rozbor nálezů

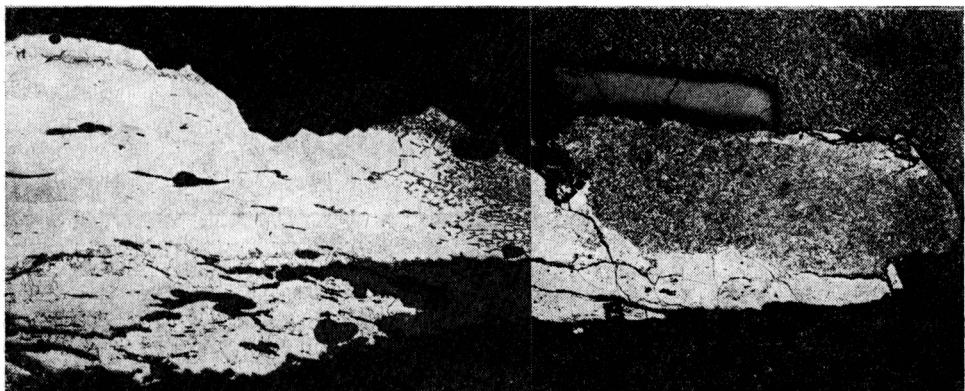
JIŘÍ ZEMAN

Podrobnější rozbor metalurgických aspektů kvality a technologie výroby železných předmětů identifikovaných při archeologickém výzkumu lokality zaniklé osady Bystřec, které jsou popisovány v předchozím textu, umožňuje vyslovit některé obecnější závěry o rozsahu znalostí a řemeslné zručnosti středověkých kovářů působících v daném regionu.

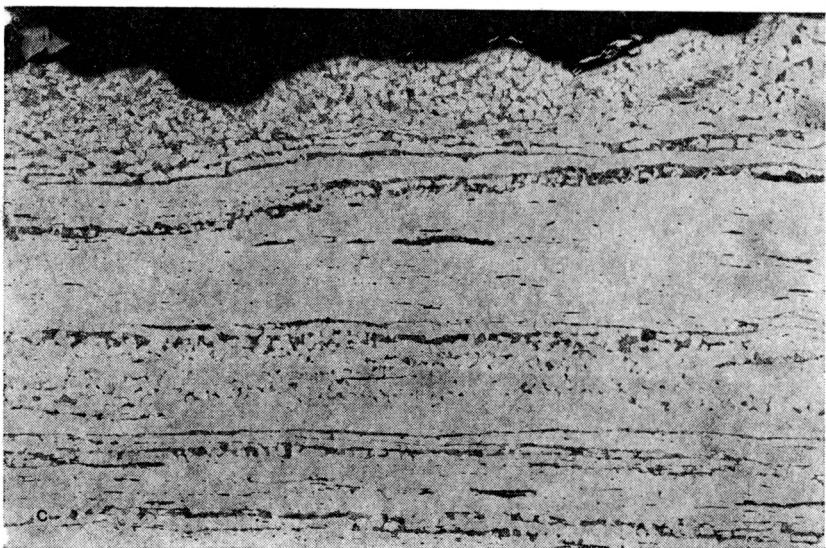
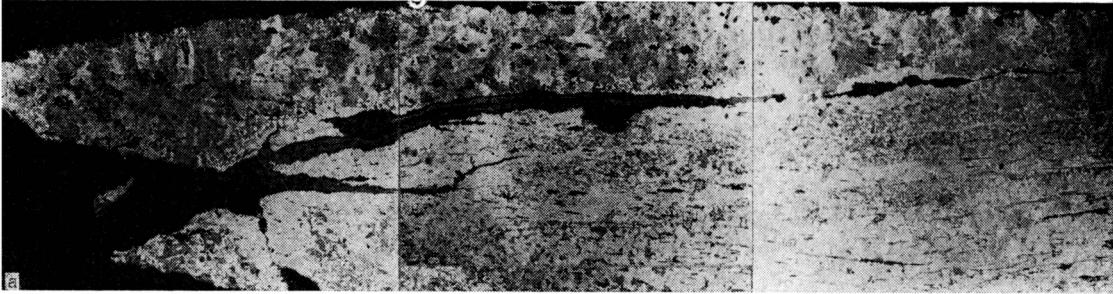
Poněvadž se v převážné míře jedná o výrobu předmětů souvisejících s běžnými pracovními úkony v zemědělství, dá se předpokládat, že zmíněná

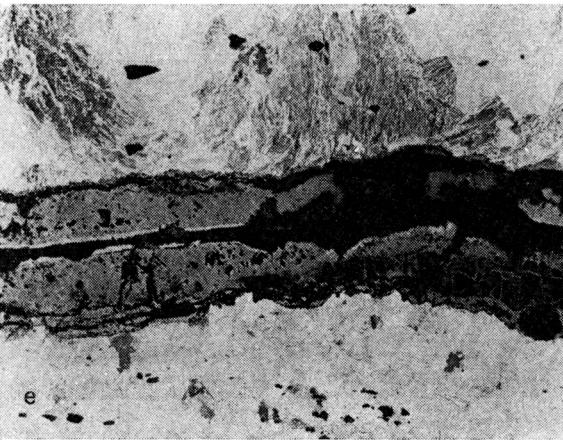
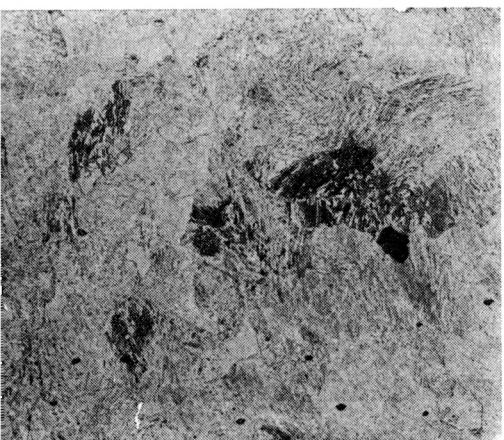


Obr. 14. Příčný řez břitem nože.



Obr. 15. Příčný řez břitu srpu.





Obr. 16. a — příčný řez břitu sekery; b — jádro sekery; c — ukončení oduhlíčené vrstvy sekery; d — detail břitu sekery; e — rozhraní nauhlíčené vrstvy a jádra.

praxe byla značně rozšířena a menší lokální odchylky vyplývaly z rozsahu řemeslné výroby, dostupnosti suroviny a individuálních modifikací známých, respektive děděných praktik. Zároveň je možné oprávněně předpokládat, že směna těchto předmětů se na větší vzdálenosti neuplatňovala, alespoň ne ve větším rozsahu, i když vlastní surovina nebyla opatřována z místních zdrojů. Pro dané období a oblast mohl být zdroj suroviny poměrně úzce vymezen. To potvrzuje i minimální rozdíly v chemickém složení všech analyzovaných materiálů, pokud ovšem neuvažujeme o záměrně diferencovaném obsahu uhlíku v oceli.

Jak již bylo v předchozím textu naznačeno, středověký řemeslník mohl zpracovávat jak primární surovину (patrně pro výrobu hmotnějších předmětů), tak i sekundárně přepracovávat již opotřebené předměty (převážně pro výrobu drobných, méně náročných předmětů). Je nesporné, a provedené rozbory potvrují, že středověký kovář byl schopen posoudit rozdíly v kvalitě zpracovávaného železa-oceli, zejména, zda lze kalením dosáhnout vysokou tvrdost a pevnost. Znal postup kovářského svařování (skování za vysokých teplot). Patrně znal také postupy difúzního nauhlíčování umožňující lokální zakalení a zpevnění vyráběného předmětu.

Tyto praktické znalosti uplatňoval diferencovaně s ohledem na užitné vlastnosti předmětů. Ocel s vyšším obsahem uhlíku schopná zakalení byla používána především na řezné-sečné nástroje, např. srpy, nože, břity seker apod., méně kvalitní sekundárně přepracovaný materiál pak na výrobu či opravy drobných předmětů — hřeby, klíny, přezky, podkovy, kování vozů apod. S tímto zájmem byl patrně diferencován i depot suroviny obsahující předměty již opotřebené a nebo jejich zbytky.

Uvedené poznatky dokumentují metalografické rozbory některých železných předmětů, které byly vybrány jako příklad z početné kolekce nálezů podrobených zkoumání.

N úž (obr. 5e) byl vyroben kováním za tepla z oceli obohacené uhlíkem v obsahu blízkém eutektoidní koncentraci (0,6—0,7 % C). Sorbitická struktura s tvrdostí 500—600 HM50 vznikla kalením a následujícím popouštěním (obr. 14). Přestože byla metalografická analýza provedena na příčném řezu v horní

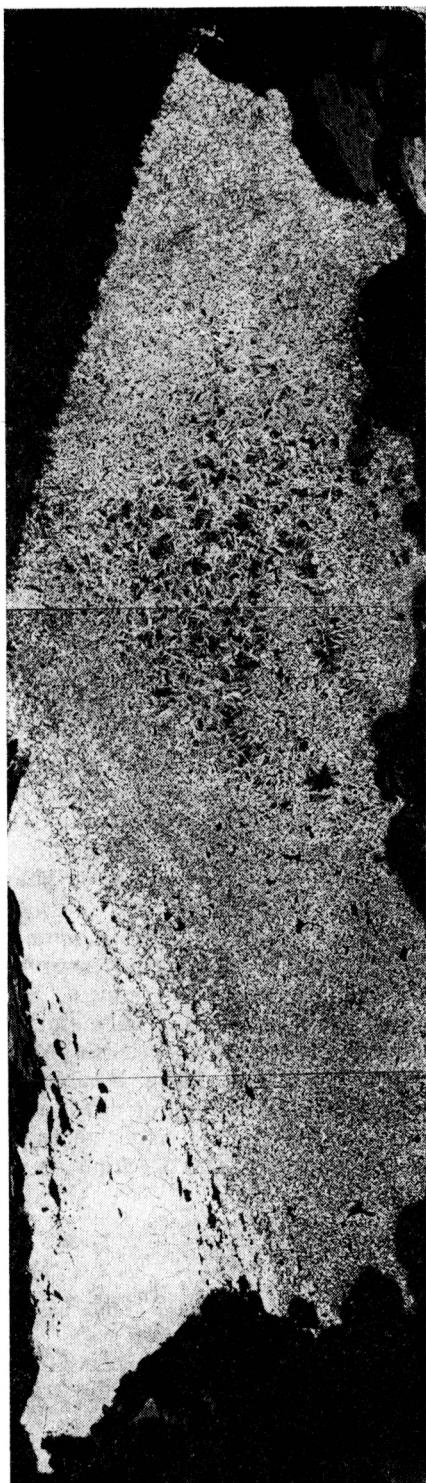
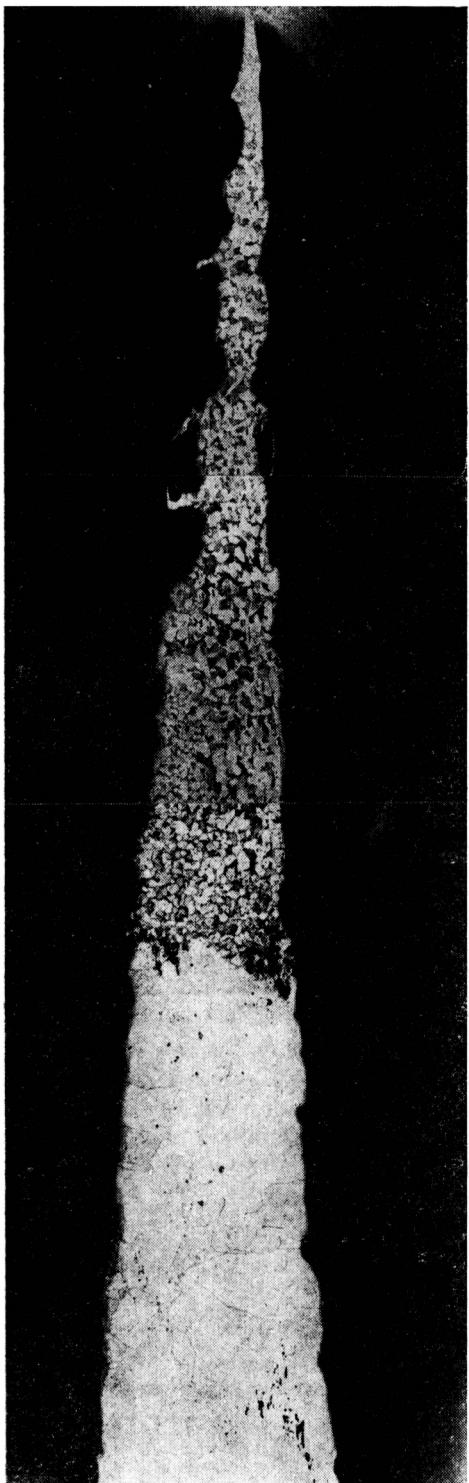
třetině břítové části, není až do vzdálenosti 9 mm od břitu patrný význačnější rozdíl mikrostruktury, takže se dá předpokládat, že celý nůž byl vyroben z materiálu srovnatelné kvality. Menší lokální mikrostrukturální změny pak spíše odpovídají heterogenitě rozložení uhlíku v rámci původního polotovaru (suroviny). Rentgenová spektrální energiově disperzní mikroanalýza potvrdila pouze přítomnost asi 0,45 až 0,65 % křemíku, obsah síry a fosforu byl menší než 0,01 %. Použitý materiál lze proto považovat za velmi čistý, pokud nebereme v úvahu četné drobné a v mikrostruktúře relativně rovnoměrně rozložené oxidy železa.

Srp (obr. 6b) měl poměrně dobře dochovaný břit. Byl analyzován na příčném řezu. Z mikrostrukturálního hlediska se jedná o spojení dvou kvalitativně různých materiálů. Vlastní břit je z nauhličeného materiálu, zhruba stejně kvality jako v předchozím případě, tělo srpu je z materiálu čistě feritického, i když se zde lokálně vyskytuje hrubší části karbidu Fe₃C (obr. 15). Rozsáhlejší koroze tvořící kompaktní vrstvy, která zejména v oblasti břitu zredukovala účinný průřez srpu, nedovoluje přesněji specifikovat, zda nauhličení srpu bylo provedeno sekundární difúzní cementací nebo zda byla uhlíková ocel nakována na železné feritické jádro srpu. Charakter mikrostruktury a snížená tvrdost kaleného břitu nevylučuje možnost ovlivnění následným ohřevem (požár v místě nálezu).

Sekera (obr. 8b) je zajímavá jednak svou makrostrukturou ukazující postupné rozkování hranolu (plátu) do břitu, a jednak tím, že v tomto případě lze oprávněně předpokládat kovářské spojení oceli s přibližně eutektoidní koncentrací uhlíku (0,6–0,7 % C) v místě břitu o síle asi 1 mm, s ocelí těla sekery s podstatně nižším obsahem uhlíku (0,3 %). Po zakalení měla sekera pevný a tvrdý břit a měkký houževnatější jádro. Rozhraní mezi těmito vrstvami je dekorováno vrstvou oxidů železa (obr. 16). Mikrostruktura ve zmíněných oblastech však neodpovídá stavu po zakalení, respektive popuštění. Je tvořena almelárním perlitem a feritem. Jejich poměrné zastoupení odpovídá zmíněnému obsahu uhlíku. Takovouto mikrostrukturu lze získat poměrně rychlým ochlazením na vzduchu po kování za tepla, případně i při následném ohřevu do oblasti teplot nad 800 °C a obdobném rychlejším chladnutí. Nelze proto vyloučit, že takový teplotní režim se mohl uskutečnit při požáru v místě nálezu a ani vyloučit, že sekera nebyla po kování za tepla z různých příčin zakalena.

Břitva (obr. 5b). Řez v místě klínovité se zužujícího břitu ukázal, že až do vzdálenosti 4,5 až 5 mm od břitu je mikrostruktura tvořena přibližně rovnoměrně zastoupenými zrny perlitu a feritu, čemuž odpovídá obsah uhlíku v oceli asi 0,4 %. Tato vrstva poměrně diskrétně přechází do čistě feritické části průřezu. Feritická zrna jsou v této části velmi hrubá. Oba materiály jsou relativně velmi čisté bez větších oxidických vmešťků (obr. 17). Charakter rozhraní, zejména pak jeho tloušťka, neposkytuje argumenty pro předpoklad aplikace lokálního nauhličení. Více pravděpodobnější je použití postupu nakování uhlíkové oceli na jádro z čistého železa. Podobně jako v předchozím případě analyzovaného srpu nemá makrostruktura znaky zakalení a popouštění. Fříčiny tohoto stavu jsou patrně analogické.

Ostruha je opět příkladem, v tomto případě zcela jednoznačným, kovářského spojení dvou kvalitativně odlišných materiálů (obr. 18). Kovářský spoj dekorovaný oxidy železa je zde dobře rozlišen v celém průřezu. V části (ukončení ramen vidlice) tvořené výseuhlíkovou ocelí je mikrostruktura perlitická s patrnými znaky sferoidizace cementitu, patrně jako následek sekun-



Obr. 17. Překrytý řez britvou britivý.

Obr. 18. Ostruha, spojení dvou odlišných materiálů.



Obr. 19. Makrostruktura hřebu v příčném řezu.

dárního ohřevu a pomalého ochlazování. V místě kovářského spoje je ze strany uhlíkové oceli patrné oduhlícení a redistribuce uhlíku přes rozhraní, dokumentovaná výskytem globulí cementitu na hranicích feritických zrn na opačné straně spoje.

Mezi předměty s menšími nároky na kvalitu materiálu lze zařadit hřebíky, zákloníky (pravděpodobná identifikace), klíče, podkovy aj. Společným znakem všech těchto předmětů je použití různorodých méně čistých materiálů s větším obsahem oxidů železa, obvykle protažených a uspořádaných podél směru toku materiálu při kování za tepla. Dále je to vlastní heterogenita podél průřezu a pozorované kovářské spoje částí odlišných druhů materiálů, zejména co do obsahu uhlíku. Z toho lze vyvzakovat, že tyto předměty byly zhotoveny z různých zbytků materiálů, respektive sekundárně přepracovaných uspotřebených a poškozených nástrojů.

Patrně nejcharakterističtější a nejjazajímavější je hřebík z usedlosti V (ob. 19). Tělo hřebíku bylo kovářsky svinuto z pásku a rozkováno. Kovářské spojení ukazují pásmo oxidických vrstev.

Sekundární využití zbytků materiálu naznačuje oblasti v protilehlých místech eliptického průřezu, ve kterých je větší obsah perlitu, čemuž odpovídá i úměrně vyšší obsah uhlíku. V menším obsahu se perlit vyskytuje i ve střední části průřezu, kam byl svinut původní okraj páskového polotovaru. Sferoidizace karbidů opět naznačuje vliv sekundárního žihání a pomalého ochlazování v oblasti teplot 700–800 °C. Snad se zde opět projevuje požár v místě nálezu.

Zusammenfassung

Metallographische Analyse der Funde aus Bystřec

Anhand der Analyse einer größeren Fundenanzahl kann man feststellen, daß die in der mittelalterlichen Ortschaft Bystřec gefundenen Gegenstände nach ihrer Funktionsbestimmung wenigstens zwei Grundzüge aufweisen.

1. Ein höheres Technologieniveau erscheint bei den stark arbeitsexponierten Werkzeugen wie Rasiermesser, Axt, Sporn, Sichel oder Pfeil. Diese Gegenstände sind

im Schneiden-, ev. Spitzenbereich aus Kohlenstoffstahl, was die Voraussetzung für eine hohe Härte und Festigkeit bei geeigneter Wärmeverarbeitung schafft. Daß diese Wärmebehandlung bei einigen Gegenständen nicht bewiesen wurde, z. B. bei dem Rasiermesser, kann mit der lokalhistorischen Variabilität der Produktion und des Zustands des Gegenstandes zusammenhängen (Rohstoff, Halbzeug, Rückgut, sekundäre Erwärmung bei, Brand der Gemeinde u. ä.). Außer einem Messer (Abb. 14), wo Diffusionsaufkohlen (Zementieren) angewandt wurde, ist bei anderen Gegenständen Schmiedeverbindung zweier Stähle im Schneiden- und Spitzenbereich mit hochgekohltem Stahl mehr wahrscheinlich, obwohl seine Kohlenverteilung heterogen war. Am deutlichsten ist es bei dem Sporn (Abb. 18). Der Handwerker hatte verschiedene Stahlqualitäten zur Verfügung, die er zielbewußt zur Herstellung anspruchsvollerer Gegenstände benutzte.

2. Die weniger anspruchsvollen Bestandteile wie Nügel, Keile, Hufeisen, Radnügel, Schnallen, Wagenbeschlag usw. stellte man aus jenen Materialien her, die aus den Resten der Qualitätsproduktion stammten oder sekundär umgeschmiedet wurden. Es ist auch wahrscheinlich, daß verschiedene Stahlreste in größere Stücke zusammengeschmiedet und wieder als Rohstoff für weitere Produktion benutzt wurden, wie es archäologische Funde beweisen.

A b b i l d u n g e n :

Abb. 14. Querschnitt durch die Messerschneide.

Abb. 15. Querschnitt durch die Sichelsschneide.

Abb. 16. a — Querschnitt durch die Axtschneide; b — Axtkern; c — Abschluß der antkohlten Schicht der Axt; d — Detail der Axtschneide; e — Grenze der gekohlten Schicht und des Kerns.

Abb. 17. Querschnitt durch die Rasiermesserschneide.

Abb. 18. Sporn, Verbindung zweier unterschiedlichen Materiale.

Abb. 19. Kleinstruktur des Nagels im Querschnitt.

