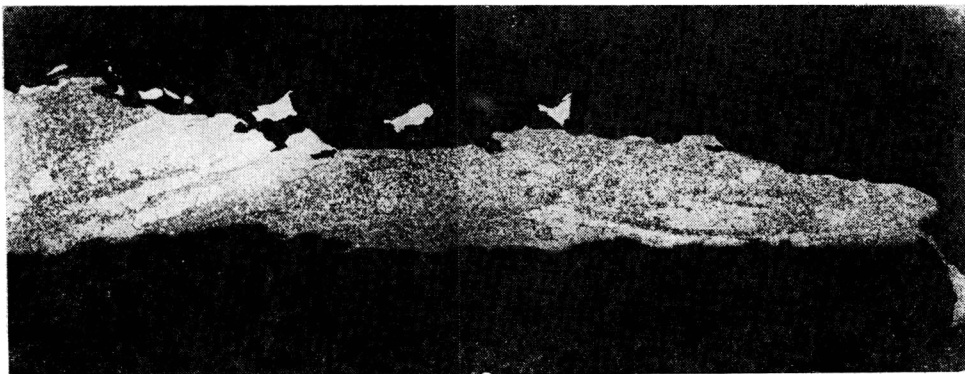


Metalografický rozbor nálezů

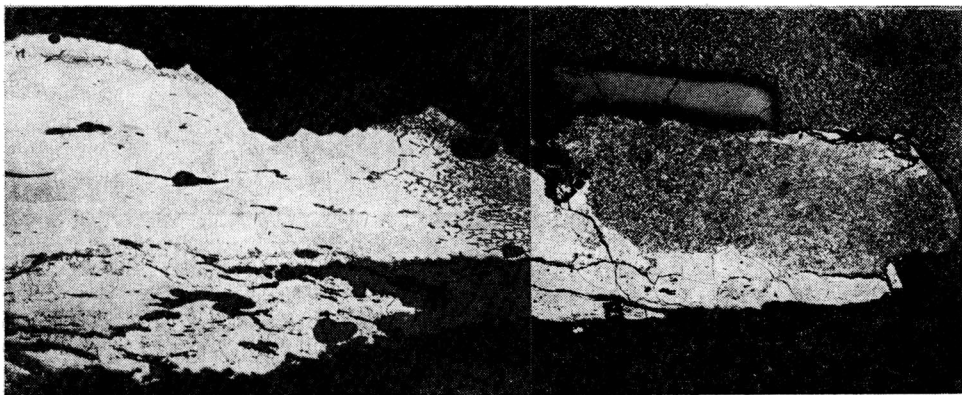
JIŘÍ ZEMAN

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

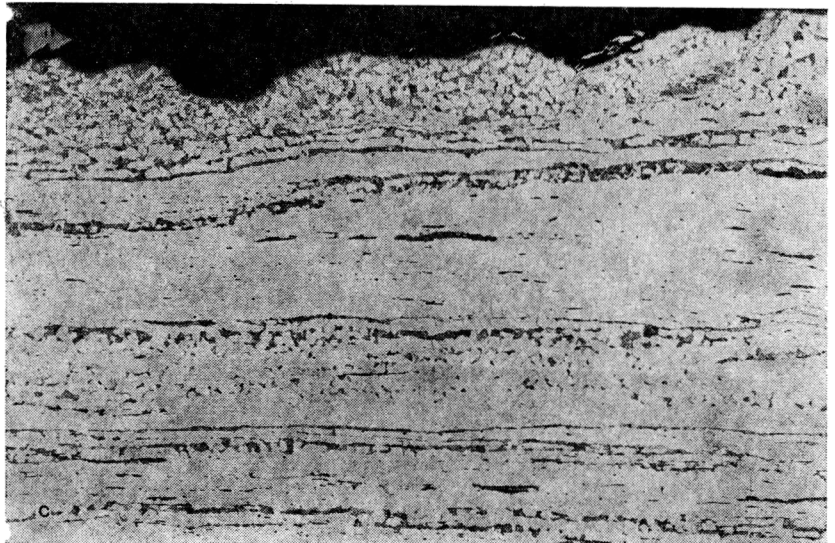
Poněvadž se v převážné míře jedná o výrobu předmětů souvisejících s běžnými pracovními úkony v zemědělství, dá se předpokládat, že zmíněná

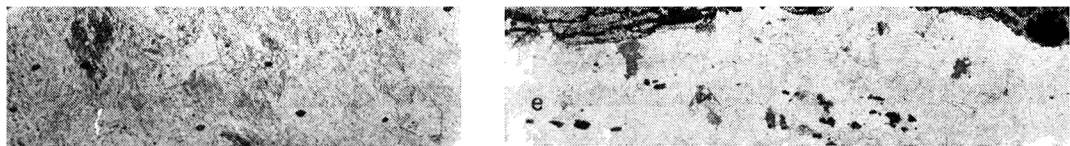


Obr. 14. Příčný řez bíltem nože.



Obr. 15. Příčný řez břitu srpů.





obr. 16. a — příčný řez břitu sekery; b — jádro sekery; c — ukončení oduhlčené vrstvy sekery; d — detail břitu sekery; e — rozhraní nauhličené 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 potvrzují 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 surovinu (patrně pro výrobu hmotnějších předmětů), tak i sekundárně přepracovávat již opotřebené předměty (převážně pro výrobu drobných, méně náročných předmětů). Je nesporné, a provedené rozborů potvrzují, 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 nauhličování umožňující lokální zakalení a zpevnění vyráběného předmětu.

Tyto praktické znalosti uplatňoval diferencovaně s ohledem na užité 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 zřetelem byl patrně diferencován i depot suroviny obsahující předměty již opotřebené a nebo jejich zbytky.

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

Nůž (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

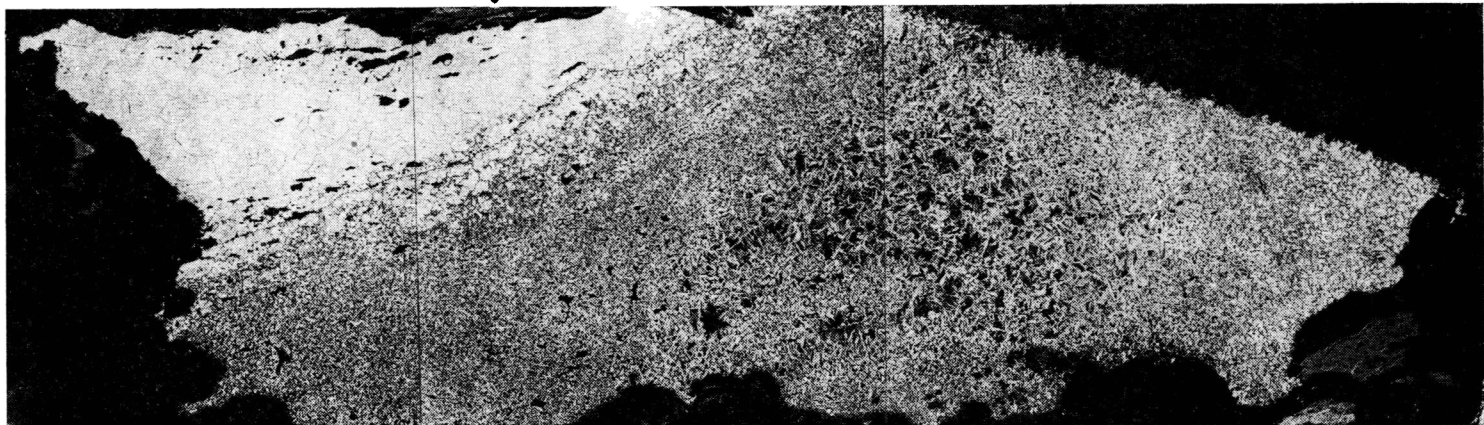
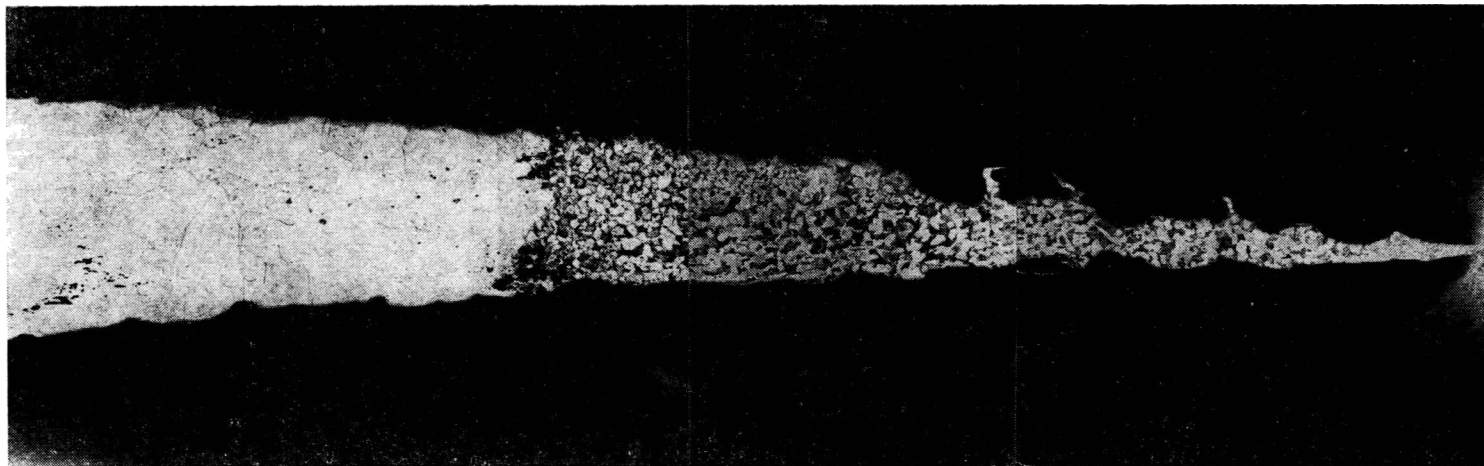
třetině břitové části, není až do vzdálenosti 9 mm od břítu patrný význačnější rozdíl mikrostruktury, takže se dá předpokládat, že celý nůž byl vyroben z materiálu srovnatelné kvality. Menší lokální mikrostrukturální změny pak spíše odpovídají heterogenitě rozložení uhlíku v rámci původního polotovaru (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 mikrostruktuře relativně rovnoměrně rozložené oxidy železa.

Srp (obr. 8b) měl poměrně dobře dochovaný břit. Byl analyzován na příčném řezu. Z mikrostrukturního hlediska se jedná o spojení dvou kvalitativně různých materiálů. Vlastní břit je z nauhličeného materiálu, zhruba stejné kvality jako v předchozím případě, tělo srpů je z materiálu čistě feritického, i když se zde lokálně vyskytují hrubší části karbidu Fe_3C (obr. 15). Rozsáhlejší koroze tvořící kompaktní vrstvy, která zejména v oblasti břítu zredukovala účinný průřez srpů, nedovoluje přesněji specifikovat, zda nauhličení srpů bylo provedeno sekundární difúzní cementací nebo zda byla uhlíková ocel nakována na železně feritické jádro srpů. Charakter mikrostruktury a snížená tvrdost kaleného břítu nevylučuje možnost ovlivnění následným ohřevem (požár v místě nálezu).

Se k e r a (obr. 8b) je zajímavá jednak svou makrostrukturou ukazující postupně rozkování hranolu (plátu) do břítu, 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 břítu 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 měkčí 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 koresponduje 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 rozličných příčin zakalena.

B ř í t v a (obr. 5b). Řez v místě klínovitě se zužujícího břítu ukázal, že až do vzdálenosti 4,5 až 5 mm od břítu 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 vměstků (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 srpů nemá makrostruktura znaky zakalení a popuštění. Příčiny tohoto stavu jsou patrně analogické.

O s t r u h a 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 výšeuhlíkovou ocelí je mikrostruktura perlitická s patrnými znaky sferoidizace cementitu, patrně jako následek sekun-



Obr. 17. Příčný řez břítem břitvy.

Obr. 18. Ostruha, spojení dvou odlišných materiálů.

dárního ohřevu a pomalého ochlazování. V místě kovářského spoje je ze strany uhlíkové oceli patrné oduhličení 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, zákolníky (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 podle 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 vyvozovat, že tyto předměty byly zhotoveny z různých zbytků materiálů, respektive sekundárně přepracovaných uspořádaných a poškozených nástrojů.

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

Sekundární využití zbytků materiálu naznačují 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 žhání 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 Fundenzahl kann man feststellen, daß die in der mittelalterlichen Ortswüstung Bystřec gefundenen Gegenstände nach ihrer Funktionsbestimmung wenigstens zwei Grundzüge aufweisen.

1. Ein höheres Technologieniveau erscheint bei den stark arbeitsexpominierten 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 Nägel, Kelle, Hufeisen, Radnägeln, 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.

Abbildungen:

Abb. 14. Querschnitt durch die Messerschneide.

Abb. 15. Querschnitt durch die Sichelschneide.

Abb. 16. a — Querschnitt durch die Axtschneide; b — Axtkern; c — Abschluß der 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.

