

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vít LEHKÝ

2000



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ

Katedra materiálu

Obor: Strojírenství
Zaměření: Tepelné zpracování a zkoušení materiálů

Bakalářská práce na téma:
**Metalografický rozbor archeologického souboru užitkových železných předmětů
datovaných do 14. – 16. století**

**Metallographical analysis of archaeological set of iron utilities form 14th to 16th
century**

Vít LEHKÝ

KMT – B67

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Věra Vodičková

Konzultant bakalářské práce: Ing. Petr Vodička – ŠKODA AUTO a.s.

Rozsah: počet stran: 37
počet obrázků: 33

V Liberci dne 26.5. 2000



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení

Vít LEHKÝ

obor

Strojírenství

zaměření

Tepelné zpracování a zkoušení materiálů

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Metalografický rozbor archeologického souboru užitkových železných předmětů datovaných do 14. - 16. století

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznamte se s problematikou výroby železných užitkových předmětů ve středověku.
2. Archeologický soubor zdokumentujte, připravte vzorky, proveďte metalografický rozbor, změřte mikrotvrdost identifikovaných fází.
3. Ze zjištěných faktů se pokuste odvodit výrobní technologii s ohledem na užité vlastnosti předmětů.

V 104/2000 Sb

KMT/TEZ
382. / 1000 1000

Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva v rozsahu 25 - 40 stran
- přílohy

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

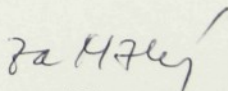
- [1] Pleiner,R.,Kořan,J.,Kučera,M., Vozár,J.: Dějiny hutnictví železa v Československu
Akademia Praha, 1984
- [2] Černický,D. : Diplomová práce TU Liberec 1998
- [3] Stuchlý,M.: Bakalářská práce TU Liberec 1999

Vedoucí bakalářské práce: RNDr.Věra Vodičková

Konzultant bakalářské práce: Ing.Petr Vodička , Slévárna Ostašov a.s.


Ing. Petr LOUDA, CSc.
vedoucí katedry




Doc. Ing. Ludvík PRÁŠIL, CSc.
děkan

V Liberci dne 31. 10. 1999

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Anotace

Fakulta strojní

Katedra materiálu

Obor: strojírenství

Školní rok: 1999/2000

Zaměření: Tepelné zpracování a zkoušení materiálů

Název bakalářské práce: **Metalografický rozbor archeologického souboru
užitkových železných předmětů datovaných
do 14. až 16. století**
**Metallographical analysis of archaeological set of iron
utilities form 14th to 16th century**

Číslo BP: B67

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Věra Vodičková

Konzultant bakalářské práce: Ing. Petr Vodička – ŠKODA AUTO a.s.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá metalografickým rozбором souboru archeologických nálezů datovaných do 14. – 16. století, nalezených v Chrudimi. Jedná se o nálezy nožů, hřebu a rožně. Z každého předmětu byl odebrán vzorek a proveden metalografický výbrus za účelem zjištění nečistot a strukturních fází. Dále bylo provedeno měření mikrotvrdosti jednotlivých fází.

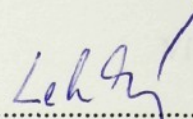
Annotation

Bachelor work is focused on metallographical analysis of archaeological items set dated from 14th to 16th century, found in Chrudim. The set contains knives, nail and turnspit. Sample of material was taken from each item and these samples were further investigated by metallographical cut to detect impurity and structural phase. Finally there was measured microhardness of respective phases.

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval sám s použitím uvedené literatury.

V Liberci dne 26.5. 2000



Vít Lehký

Poděkování

Rád bych zde poděkoval své vedoucí BP RNDr. Věře Vodičkové a svému konzultantovi Ing. Petru Vodičkovi za jejich rady při vypracovávání této bakalářské práce a paní Vlastě Čílové za její rady a pomoc při práci v metalografické laboratoři.

Vít Lehký

1. Úvod	2
2. Rešerše	3
2.1. Výroba železa v Čechách	3
2.1.1. Hutě v Čechách [1]	3
2.1.2. Ruda a uhlí [1]	4
2.1.3. Příprava rudy [1]	4
2.1.4. Výhňové redukční pece [1]	5
2.1.5. Šachtové redukční pece [1]	7
2.2. Zpracování železa v Čechách v 14. až 16. století [1]	8
2.2.1. Tváření za tepla [2]	9
2.2.2. Tepelné zpracování [2]	13
2.3. Hodnocení obdobných předmětů z dostupné literatury [3]	15
3. Praktická část	16
3.1. Popis vzorků	16
3.2. Metalografické hodnocení	19
3.2.1. Výsledky měření	20
4. Diskuse výsledků	35
5. Závěr	37
Použitá literatura	38

1. Úvod

Archeologie se jako specializovaná historická věda zabývá vyhledáváním, tříděním a zkoumáním hmotných i nehmotných historických pramenů.

Jako samostatná disciplína archeologie se archeometalurgie vyčlenila až ve druhé polovině dvacátého století. V tehdejší Československé republice byl soustavný archeometalurgický výzkum zahájen v roce 1954.

Tato část archeologie se, jak už název napovídá, zabývá výzkumem archeologických nálezů vyrobených z kovů, jejich užitnými vlastnostmi a technologiemi, které byly v minulosti k jejich výrobě použity. Zároveň archeometalurgie poskytuje cenné informace o celém řetězci dobývání a zpracování rud, technologickém vývoji a z nich plynoucích dopadech na společnost a její vývoj v minulosti i současnosti.

Ve své bakalářské práci se zabývám metalografickým rozбором užitkových železných předmětů datovaných do 14. – 16. století. Předměty pocházející z nálezů v Chrudimi a byly zapůjčeny Muzeem Východních Čech Hradec Králové po dohodě s Dr. Kalferstem.

Toto téma jsem si zvolil pro svůj zájem o staré chladné zbraně. Chtěl bych zjistit více o jejich výrobě a zpracování kovových částí. Jsem přesvědčen, že mi to, tato práce ve velké míře umožní.

2. Rešerše

2.1. Výroba železa v Čechách

2.1.1. Hutě v Čechách [1]

Mezi léty 1300 – 1600 existovalo na 250 známých hutí (viz mapku č. 1). To ovšem ani zdaleka nejsou všechny hutě, které se na našem území ve tomto období nacházely. Jejich skutečný počet asi nebude nikdy zjištěn, protože kvůli zásobám a kvalitě rud šlo převážně o redukční výhně a šachtové pece malé kapacity, ve kterých nebyla nepřetržitá výroba. Většina těchto pecí vyráběla 1 – 2 hroudy týdně, čili pracovaly jen 1 – 2 dny v týdnu a při nepříznivém počasí nepracovaly vůbec.

Zvýšená potřeba železa vyžadovala nejen větší počet železáren, nýbrž i zdokonalenou techniku a technologii výroby. Poněvadž jediným požadovaným výrobkem bylo téměř až do konce 16. století především kujné železo a ocel, vystačilo se s přímou výrobou „železa“ v redukčních výhních nebo šachtových pecích.



Mapa č. 1.

2.1.2. Ruda a uhlí [1]

U nás se ruda těžila v několika oblastech. Nejdůležitější byla oblast barandienovská, která se nachází mezi Prahou a Plzní až k Domažlicím. Využití těchto rudných zásob je písemně doloženo až od 14. století, ale zkoumáním bylo zjištěno, že již byly využívány dříve. Obsah železa se pohyboval mezi 21% - 36%. Barandienské rudy rovněž obsahovaly kolem 1% fosforu a z tohoto důvodu surové železo z nich vyrobené bylo jen obtížně zkujnitelné. Obsah fosforu byl však přínosem při výrobě litiny.

V západních Čechách byla železná ruda těžena v lokalitách kolem Svržna na Domažlicku, na Tachovsku a Chebsku. Tamní naleziště obsahovala převážně malá ložiska křemitých limonitů, která vznikla větráním železitých křemičitanů nebo sulfidů, zvláště pyritu nebo pyrhotinu. Železná ruda těžená v západních Čechách však byla relativně chudá, obsahovala 18% – 20% železa.

Na Českomoravské vrchovině bylo šest skupin železorudných ložisek. Nejběžnějším železnorudným ložiskem, které lze nalézt především v moravské části Českomoravské vrchoviny, je ložisko skarnového typu. Z hlediska bakalářské práce je obzvláště pozoruhodné magnetitové ložisko Budeč u Žďáru, kde probíhala těžba již v letech 1325 – 60 a magnetitová ložiska u Vlastějovic a Malešova na Kutnohorsku. V moraviku Českomoravské vrchoviny se naleziště rudných limonitů táhnou ve 20 km dlouhém pásu od Velké Bitýšky k Jestřebí.

V železná naleziště v Krušných horách, tvořená žilnými krevely, skarnovými magnetity a v podhůří na Sokolovsku rovněž terciérními hnědely a siderity, obsahovala v průměru 33% železa. Dvě nejvýznamnější zrudněná křemenná žilná pásma se táhnou v délce několika desítek kilometrů až do dnešního Saska.

V obvodu východní části Krkonošsko-Jesenické soustavy jsou dva druhy rud: jeden v krystaliniku a druhý v devonu. U devonského typu rudy obsahovaly nejbohatší naleziště i přes 50% železa. V oblasti západních Karpat obsahovala čistá ruda 25% - 30% železa.

2.1.3. Příprava rudy [1]

Redukční výhně a šachtové pece vyžadovaly málo rudy, ale musela být kvalitní.

Dlouho se vystačilo s dobýváním rudy na výchozech ložisek, protože ruda byla zvětralá, a proto se snadněji redukovala.

Příprava rudy se prováděla následujícím postupem:

- a) ruda se drtila na zrna velikosti lískového ořechu – v tomto období se roztloukání a drcení provádělo pomocí kladiv a palic, později se začalo využívat strojů poháněných vodní silou a ruda se drtila ve stoupách.
- b) ručně se oddělovaly jalové části od rudných.
- c) pro obohacení se ruda pražila, stala se tak pórovitější a díky tomu i přístupnější redukčním plynům (rudy obsahující méně než 40% železa se nedaly ve výhních a dýmačkách redukovat). V pecích se hojně používala dýmařská struska s obsahem železa kolem 50%.

Hamerníci dobývali rudu sami, nebo ji nechali dobývat na vlastní náklady, anebo ji kupovali od důlních družstev.

Král zasahoval v některých oblastech do železářství i přímými instrukcemi. Nebylo snadné získat povolení ke zřízení hamru tam, kde byly doly na drahé kovy. Tak v instrukci pro českou komoru z roku 1592 si vyhrazuje císař právo rozhodovat o zřízení hamrů nebo minerálního závodu, neboť odebírají dřevo dolům a hutím drahých kovů[1].

Druhá používaná surovina při výrobě železa bylo dřevěné uhlí, které se vyrábělo pálením dřeva v milířích. Dřevo nakupovali hamerníci zpravidla od majitelů pozemku nebo kupovali uhlí přímo od uhlířů.

2.1.4. Výhňové redukční pece [1]

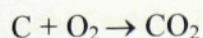
K redukcí železné rudy v malých výhních nebo v nízkých šachtových pecích stačil vzduch, který se vháněl ručními měchy. Postavení a používání takovýchto pecí bylo levné, proto se tento typ udržel po celé období přímé výroby železa, obzvláště na odlehlých místech a v horách, kde byl dostatek rudy a dřeva.

Při přímé výrobě železa vznikalo redukcí rudy kujné železo v těstovitém stavu a tekutá struska. Redukce začíná při teplotě 400 – 600 °C, ale ke vzniku kujného železa je potřeba tekuté strusky, která vzniká

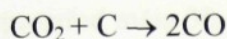


při teplotě 1200 – 1300 °C. Dřevěné uhlí se v peci spalovalo a docházelo ke vzniku oxidu uhličitého,

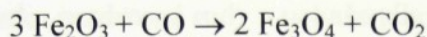
Obr. 1.Redukční výheň



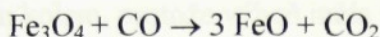
který se ve styku se žhavým uhlím redukoval na oxid uhelnatý.



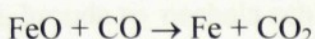
Oxid uhelnatý postupně redukoval oxid železitý Fe_2O_3 na Fe_3O_4 .



Pro redukci Fe_3O_4 na FeO je potřeba redukčního plynu s 25% CO.



Pro redukci FeO na Fe je potřeba redukčního plynu s 70% CO.



K nauhličení železa může dojít teprve tehdy, kdy je většina FeO zredukována na železo. Nepřímou redukcí se některá zrna zredukují na FeO , jiná na železo a některá se mohou nauhličit na ocel nebo surové železo. Při přímé redukci, která probíhala v dolní části pece při teplotách nad 1000 °C vzniklo železo, které se nauhličkovalo.

Ve spodní části pece se zrna vzájemně ovlivňovala, části s vyšším obsahem uhlíku mohly redukovat zbylou rudu nebo strusku. Struska, která vznikla při přímé výrobě, měla bod tání okolo 1000 °C. Protože byla tekutá snadno se z ní oddělovalo železo. Struska obsahovala víc než 40 % železa, většinou ve formě FeO . Ruda, ze které se mělo získat železo, musela mít větší obsah železa než struska. Z tohoto důvodu musely být rudy pro dýmačskou práci obohacovány a získané strusky byly bohatou surovinou. Vyrobené „železo“ bylo měkké a snadno svařitelné. Rudy, které obsahovaly více fosforu, byly nevhodné z toho důvodu, že „železo“ bylo lámavé za studena. Obsah manganu v rudě usnadňoval nauhličení a tím vznik oceli.

Biringuccia, který znal výrobu z vlastní praxe, popisuje přímou výrobu „železa“. Popis se týká pouze výroby z vysoce kvalitních krevelů z povodí Elby, které obsahovaly 50 % železa.

Ruda se rozdrtila na kousky velikosti ořechu a nahromadila se před formou. Kolem ní se navrstvili do kruhu větší kusy rudy nebo jaloviny, které držely drobnou rudu s uhlím pohromadě. Vzduch se dmychal měchem, poháněným vodním kolem. Redukční pochod trval 8-10 hodin, vyredukováné „železo“ mělo konzistenci těsta. Ohrada se odstranila a ještě žhavé „železo“ se velkým ručním kladivem rozdělilo na menší kusy. Každý kus „železa“ se znovu vyhřál ve výhni a pod hamrem se z nich kovaly dejly. Dejly se vyráběly dvakrát týdně.

Vyhřívaly se pak v téže výhni a vyráběly se z nich základní tvary, jako tyče. Při správném postupu činila ztráta na železo (propal) 40 až 45 %. Jak je patrné, výroba byla na dosti vysoké úrovni, neboť měchy i hamr byly poháněny vodním kolem.

Podle Agricoly je postup obdobný. Výheň měla hloubku asi 105 cm, šířku a délku 150 cm a uprostřed měla 30 cm hlubokou a 45 cm širokou prohlubeň. Rozměry výhně mohly být větší i menší podle obsahu železa v rudě. Hutník dal do prohlubně ve středu výhně uhlí a na ně lopatku rozdrčené rudy a nehašeného vápna. Dále pak přidával střídavě vrstvu uhlí a rudy, až udělal hromádku. Uhlí zapálil a oheň udržoval dmýcháním vzduchu. Měchy byly poháněny vodním kolem, protože výheň měla veliký objem. Redukční pochod trval 8-10 hodin. Takto se vyrobila hrouda o hmotnosti 2 až 3 centýře (123,6 až 185,4 kg). Nato byla vypuštěna struska, hrouda se nechala zchladnout a vylomila se z pece. Kladivy se otloukla struska a hrouda byla pod bucharem rozseknuta na několik dílů, které se vyhřály ve výhni a vykovaly se do základních tvarů. Při zpracování „železa“ pod bucharem se polévalo vodou, aby měly výkovky hladký povrch, a aby se okuje nezakovávaly do povrchu.

2.1.5. Šachtové redukční pece [1]

Podle Biringuccia a Agricoly se rudy horší jakosti zpracovávaly v šachtových pecích, ve kterých bylo možno zpracovávat větší množství rudy a uhlí. Stejně jako u výhňových pecí musela být ruda nadrcena do velikosti ořechu. Měchy vhánějící vzduch do pecí museli být vzhledem k celkovým rozměrům zařízení poháněny vodním kolem. Celé zařízení pro vhánění vzduchu bylo 3 – 4 metry vysoké. Vzduch byl do nístěje pece



Obr. 2. Náradí u šachtové pece

vháněn tak, že vyústění dmyhadla sahalo až do středu pece. Ruda se redukovala podle jakosti jednou nebo dvakrát až se získalo „železo“, které se dalo kovat bucharem. Ani na tehdejší dobu přesné dodržení výrobního postupu nevedlo vždy ke kýženým výsledkům. Vyrobené železo bylo příliš křehké pro zpracování v kovárnách. Podle Biringuccia byly příčinou nečistoty v rudě. Podle staré technologické literatury bylo ve výhňových pecích vyráběno

„železo“ ze snadno redukovatelných rud a z rud chudých a těžko redukovatelných v šachtových pecích.

Autoři literatury o železářství ze 16. století znali pouze vodním kolem poháněné měchy jak u výhňových, tak u šachtových pecí. V předcházejících obdobích však technologický vývoj neumožňoval masové nasazení vodního pohonu, a proto byly běžné měchy na ruční či nožní pohon.

Vodní kolo pohánělo kromě měchů také buchary a stoupy na drcení rudy. Podle Johannsena vodní pohon měchů předcházal vodnímu pohonu bucharu, protože byl jednodušší a levnější investicí.

V českých pramenech nebyly známy pece jako kusová, šachtová nebo redukční. Prameny uvádějí jedinou šachtovou pec, a to dýmačku. Česká dýmačka zpracovávala těžko redukovatelné kyselé krevelly, magnetity a jen výjimečně kvalitnější hnědely. Není známo jaká byla výška a jaký byl tvar dýmačky, ale nebyla patrně všude stejná. Její tvar ovlivňoval především druh rudy, který se v ní zpracovával. V každém případě však byla česká dýmačka pecí šachtovou.

Dýmačka je popisována takto: Spodní část pece se nazývala *nístěj*, která byla vyzděna a vyložena kameny a pískem. Do ní byl přístup *hrudí* pece, která byla hliněná. Při vyndávání hroudy z pece se vylomila. V této stěně byl také otvor na vypouštění strusky. U nízkých pecí byla ruda vyndávána kleštěmi horním otvorem pece. Na opačné straně pece, než byla hrud', se nacházely měchy poháněné vodním kolem.

V české dýmačce se vyráběla hrouda měkkého kujného „železa“. Někdy se možná podařilo získat nauhličené tvrdé kujné „železo“, ale nikdy nevzniklo surové železo.

2.2. Zpracování železa v Čechách v 14. až 16. století [1]

Železárna v období 1350 – 1600 se u nás běžně nazývala hamr. Skládal se z výhňové redukční pece nebo šachtové pece nebo dýmačky a kovárný, která se skládala z vyhřívačky, bucharu, kovadliny, stoup a kovářské výhně.

Pokud se hrouda vyráběla v šachtové peci nebo dýmačce, potom se musela hrouda nebo její části před zpracováním ohřívat ve zvláštní peci. Tato zvláštní pec se nazývala vyhřívačka.

Zvýšená poptávka po železných výrobcích se nedala uspokojit zvýšenou výrobou

„železa“, nýbrž zvýšenou produkcí železných výrobků. Vyřešení tohoto požadavku přinesl vynález vodním kolem poháněného bucharu. V železárně na přímou výrobu byl buchar zařízením nejdražším a také technicky nejvyspělejším. Vodním kolem poháněné buchary, neboli hamry, se v Čechách objevují již v první polovině 14. století, ačkoliv první písemné doklady o nich jsou až od poloviny století.

Buchar byl poháněn vodním kolem, které mělo průměr okolo 5 metrů. Kolo bylo umístěno v samostatné menší místnosti, odkud vedl hřídel na pohánění bucharu do kovárny. Hřídel byl zhotoven z kmene silnějšího stromu. Na obvodě hřídele byly dřevěné, později železné palce, které stlačovaly silnou násadu, která se nazývala *chvost*, bucharu. Na druhém konci násady bylo větší či menší železné kladivo. Pod kladivem byla železná kovadlina připevněná ke dřevěné podložce.

Po spuštění vodního proudu se poháněcí kolo začalo točit, otáčelo hřídelem, palce po obvodu hřídele stlačovaly násadu bucharu, který se tím nadzvedával. Zvednuté kladivo na druhém konci poté pravidelně dopadalo na kovadlinu. Kovář v té chvíli mohl začít zpracovávat „železo“ do požadovaného tvaru.

2.2.1. Tváření za tepla [2]

U každého výrobku z období středověku můžeme pozorovat způsob tváření, který byl použit při výrobě.

Dělení a sekání

Tyto operace u výrobku nemůžeme pozorovat, ale dá se předpokládat, že byly použity. Bylo nutno požadovaný kus oddělit od polotovaru, aby se mohl dále zpracovat. K tomuto účelu se používali různé dlátovité sekáče.

Pěchování

U tohoto tváření se snižuje výška a zvětšuje se průměr. Nástroje k tomuto tváření byly kladivo, kleště, pevná a tvrdá podložka (většinou kovadlina). Zpracovávali se dlouhé kusy, které byly ohřáté v jednom místě nebo malé kusy, které se museli držet v kleštích.

Vytahování

Kusy „železa“ se vytahovaly do tyčovitého tvaru. Používalo se k tomu kladivo. Střídavými údery nosu a plošky kladiva. Vytahováním se vyráběly tyče, meče a další tyčovité výrobky.

Rozkovávání

Působením nosu kladiva (údery) na tyč se rozšiřovala plocha. Vyráběly se takto např. hlavice kopí, břity seker. Tato operace se používá v hojné míře už od počátku kovářství.

Ostření a hrocení

Tyto operace jsou vlastně dokončovacími pracemi vytahování a rozkovávání. Dokončuje se zúžením hrany až do ostří nebo hrotu. Při ostření dlouhých předmětů se muselo dbát na udržení tvaru a rozměrů výrobku. Ostření nebylo nikdy operací ozdobnou, ale mělo výrobku dodat jeho specifické vlastnosti. Při ostření musel kovář dávat pozor na oduhličení ostří, protože to pak ztrácelo své vlastnosti, tj. ostrost a tvrdost břitu. Navařovaná ostří vyžadovala obzvláštní pozornost při této operaci. Hrocení bylo v podstatě to samé jako ostření, avšak nevytvářelo se ostří po délce výrobku, ale jen hrot na konci. Používalo se při výrobě bodců vidlí, jehel, hřebů atd..

Osazování

Tato operace se používala pro změnu velikosti průřezu. Nešlo provádět primitivními nástroji, ale vyžadovalo přinejmenším kladivo a kovadlinu. Používalo se u sekáčů, rukojetí nožů, dlátek.

Ohýbání

Tato operace se u slabých výrobků dala provádět za studena. U větších a silnějších výrobků se provádělo ohýbání za tepla. Ohýbalo se jak do oblouku tak do úhlu. Při ohýbání do oblouku se používalo kuželovitého trnu. Zatímco při ohýbání do úhlu se používalo ostré hrany kovadliny.

Svinování

Tato operace je zvláštní druh ohýbání. Prováděla se na rozkovaných částech výrobku. Byla to technika důležitá, protože její pomocí se upevňovalo nářadí na násadu.

Tordování (zkrucování)

Tato operace nepatřila u výrobku mezi nezbytně nutné, ale přesto byla hojně používána. Malé výrobky se zkrucováním zpevnily proti nežádoucímu ohybu. U většiny výrobků zkrucování mělo ozdobný charakter, neboť zvýrazňovalo účinek světla a stínu.

Prorážení otvorů

Tato operace se prováděla za studena nebo za tepla. Za studena u tenkých plechů, do kterých se prorážely otvory pro hřebíky či nýty. Za tepla sloužilo k probíjení otvorů do silných výrobků pro nasazování násad a topůrek. Dalším použitím bylo prorážení účelových či ozdobných otvorů. K prorážení bylo potřeba kladiva a průbojníků.

Svařování (kovářské)

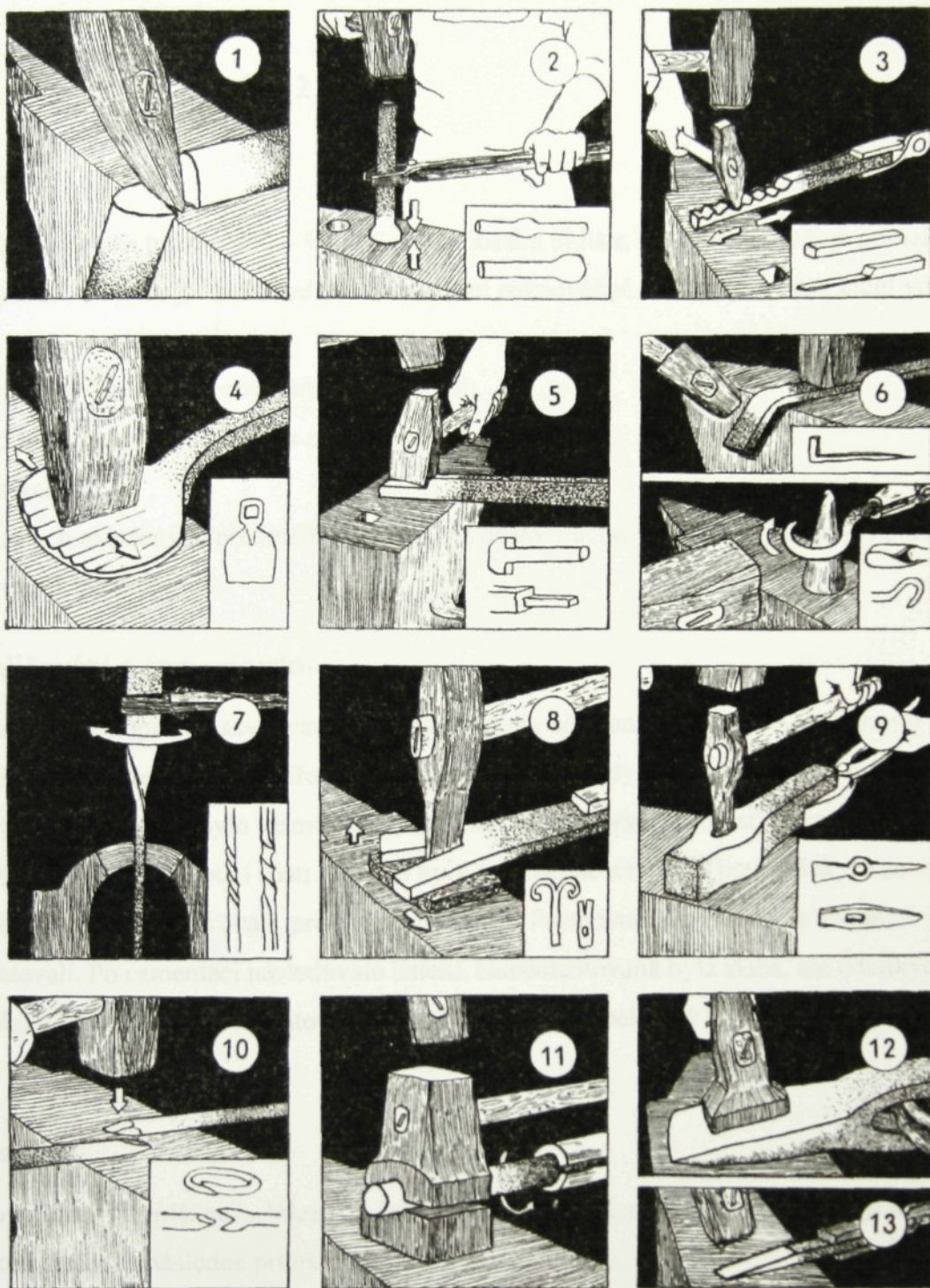
Až do novověku nebylo kovářům známo jiné svařování než kovářské. Je to druh za normálních podmínek nerozebíratelného spoje. Tato operace je nejobtížnější z kovářských prací. Vyžaduje zkušenost, zručnost a rychlost provedení. Pomůckami byly kovádlina, kladivo, kleště, svářecí prostředek a výheň. Jako svářecí prostředek byl používán jemný křemičitý písek nebo železné piliny.

Druhy svařování:

1. Spojení stejnorodého kovu – „železo“ se ohřálo do žlutého nebo bílého žáru, kusy se spojily a svar se musel dobře prokovat.
2. Sváření paketů – bylo to vytvoření většího kusu „železa“ z malých částí (plátků, hrudek). Vzniklý paket pak sloužil jako surovina pro kování předmětů. Vzniklý kov měl nestejnou strukturu. Skládal se z plátků s různým obsahem uhlíku, tedy z plátků tvrdších i měkčích, mělce nauhličených, hrubozrnných i jemnozrnných, čistých i znečištěných struskovými vměstky. Plátkový paket se dal velmi dobře prokovat. Výsledkem byl pevný blok, který se mohl bez nebezpečí ohřívat, pěchovat, vytahovat, štěpit a kroutit.
3. Sváření kovu nehomogenního – spojení velmi měkkého „železa“ s velmi tvrdou ocelí. Tato operace se považuje i dnes za velmi obtížnou. Tvrdá ocel se musela svářet při 850 – 900 °C, aby se neoduhličila a nespálila, zatímco měkké „železo“ se svářelo dobře při 1300 – 1400 °C. Kovář musel proto jednotlivé kusy ohřívat zvlášť a dbát mimořádně na správný odhad teploty podle barvy žáru.

Rovnění a hlazení

Tyto operace se řadí mezi dokončovací úpravy výrobku. Kovář zahlazoval plochy jemnými údery plosky kladiva na povrch výrobku ohřátý na 600 – 800 °C.



Obr. 3. Kovářské operace: 1. dělení, 2. pěchování, 3. vytahování, 4. rozkovávání, 5. osazování, 6. ohýbání do úhlu, do oblouku, 7. tordování, 8. štěpení, 9. prorážení otvorů,

10. kovářské svařování, 11. kování v zápustce, 12. rovnání (hlazení), 13. ostření

2.2.2. Tepelné zpracování [2]

Žihání

Žihání je ohřev na teplotu 750 – 900 °C podle obsahu uhlíku, po němž následuje pomalé vychladnutí. Účelem je změkčení kovu, dosažení rovnovážné struktury a odstranění vnitřního pnutí.

Kováři žihali ocelové výrobky z těchto důvodů:

1. před plastickým zpracováním za studena
2. před kalením

U některých nalezených předmětů je možné, že došlo k neúmyslnému vyžihání při požáru nebo na pohřební hranici.

Nauhličování a cementování

„Železo“ má schopnost nasycovat se za určité teploty uhlíkem z vnějšku. K prvotnímu nauhličení docházelo v malé míře – někdy jen náhodně, jindy úmyslně regulací pochodu – již při výrobě. Nauhličení bylo velmi nestejněměrné. Uhlík zvyšuje tvrdost železa, a proto se kováři snažili, aby pracovní části nástrojů byly nauhličené a tvrdé. Zjistili však, že se nauhličené části špatně kovají, protože jsou křehké. Proto nauhličovali až po kování – cementovali. Po cementaci následovalo kalení. Nacementovaná byla slabá, ale u tenkých výrobků docházelo k procementování a po kalení byl výrobek celý křehký bez houževnatého jádra.

Kalení

Ocelový břit byl tvrdší než „železný“. Jeho tvrdost šlo ještě zvýšit kalením. Kalení je ohřev na vysokou teplotu a následné prudké ochlazení.

Používaly se tyto způsoby kalení:

1. prokalení – ponořením celého výrobku do chladicí kapaliny
2. kalení místní – ponoření jen určité části výrobku do chladicí kapaliny

3. kalení v pomaleji působících lázních.

Kováři zjistili, že při kalení do studené vody

ocel křehne a nedá se pak použít ke svému účelu. Rychlost kalení snižovali kalením do teplé vody nebo oleje.

4. popouštění – mírné ohřátí kaleného místa a následné ochlazení. Popouštěním se tvrdost příliš nezměnila, ale výrazně vzrostla houževnatost.



2.3. Hodnocení obdobných předmětů z dostupné literatury [3]

Při výzkumu lokality zaniklé osady Bystřec bylo nalezeno mnoho kovových předmětů, které svědčí o velké zručnosti tamních kovářů a také jejich zkušenosti v posouzení kvality používaného kovu. Neboť ocel s vyšším obsahem uhlíku byla používána na řezné a sečné nástroje, materiál nižší kvality byl používán na různé hřeby, klíny, podkovy a pod..

Jako příklad uvádím hodnocení nože a hřebu, které zde byly nalezeny.

Nůž byl vyroben z oceli obohacené uhlíkem. Byl vyroben kováním za tepla. Obsah uhlíku v oceli je 0,6 – 0,7 %, což je blízko eutektoidnímu složení. Sorbitická struktura vznikla kalením a následným popouštěním. Protože se materiálová struktura v části až do 9 mm od břitu nijak neliší, lze z toho usoudit, že celý nůž byl vyroben z materiálu srovnatelné kvality. Rentgenová spektrální energiově dispezní mikroanalýza potvrdila pouze přítomnost asi 0,45 – 0,65 % křemíku, fosforu a síry pod 0,01 %. Použitý materiál lze považovat za velmi čistý, pokud neuvažujeme četné drobné oxidické vměstky.



Obr. 4. Příčný řez břitem nože

Hřeb patří mezi předměty s nižšími nároky na kvalitu materiálu. Materiál byl více různorodý s větším obsahem oxidických vměstků, které jsou obvykle protaženy a uspořádány podle směru tváření materiálu při kování za tepla. Heterogenita materiálu podél průřezu, pozorované kovářské spoje a jiný obsah uhlíku v různých částech ukazují na to, že byl zhotoven ze zbytků materiálů.



Obr. 5. Makrostruktura hřebu v příčném řezu

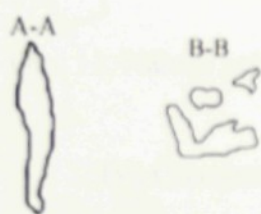
3. Praktická část

3.1. Popis vzorků

I) Prvním vzorkem je část rožně (obr.6). Jeho délka je 280 mm. Jedná se o předmět, který se pravděpodobně odlomil od větší části. Váha rožně je 138,3 g.

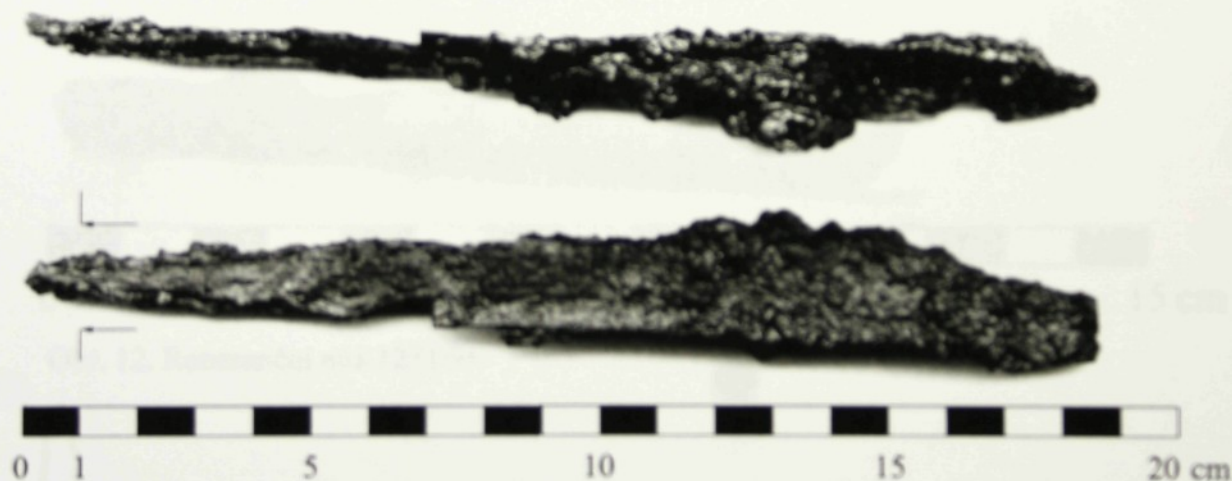


Obr. 6. Rožně 2702/96

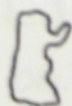


Obr. 7. Náčrsky řezů

II) Druhým vzorkem je čepel nože (obr.8) v silně zkorodované stavu. Její délka je 185 mm. Váha čepele je 53 g včetně zkorodované krusty.



Obr. 8. Nůž 2264/96



Obr. 9. Nůž 2264/96

III) Třetím vzorkem je šípka (obr.10). Délka šípky je 132 mm. Šípka je ve velmi zachovalém stavu. Je čtvercového průřezu. Váha šípky je 49,2 g.



Obr. 10. Šípka 2628/96

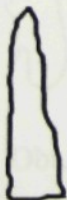


Obr. 11. Nákres průřezu

IV) Čtvrtým vzorkem je renesanční nůž (obr.12) s ulomený kusem čepele. Délka nože je 115 mm. Váha nože je 35 g včetně kostěné rukojeti.



Obr. 12. Renesanční nůž 1231/96

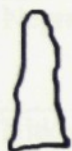


Obr.13. Nákres průřezu

V) Pátým vzorkem je úlomek čepele nože (obr.14) v silně zkorodovaném stavu. Délka úlomku je 93 mm. Váha úlomku je 25 g včetně zkorodované vrstvy.



Obr. 14. Čepel nože 2088/96



Obr. 15. Náskres průřezu

VI) Šestým vzorkem je hřeb (obr.16). Délka hřebu je 76 mm. Váha hřebu je 6,5 g.



Obr.16. Hřeb 2628/96



Obr. 17. Náskres průřezu

3.2. Metalografické hodnocení

1) Příprava vzorků

Vzorky pro metalografické hodnocení byly připraveny běžným způsobem. Pro pozorování struktury byly naleptány Nitemem.

2) Hodnocení vměstků

Pro hodnocení vměstků se používají vyleštěné vzorky v neleptaném stavu.

Vměstky se hodnotí podle normy ČSN 420471 (Metalografické stanovení nekovových vměstků v oceli). Pro náš účel je toto hodnocení nevyhovující, proto použijeme sestavenou tabulku hodnot pro hodnocení vměstků.

Tabulka č. 1

Tvar/velikost [mm]	Malá	Střední	Velká
Nepravidelný	$x = 0 \div 0,064$ $y = 0 \div 0,019$	$x = 0,065 \div 0,119$ $y = 0,020 \div 0,049$	$x = 0,120$ a větší $y = 0,050$ a větší
Nitkovitý	$x = 0 \div 0,059$ $y = 0 \div 0,005$	$x = 0,060 \div 0,349$ $y = 0,006 \div 0,009$	$x = 0,350$ a větší $y = 0,010$ a větší
Globulární	$\check{R} = 0 \div 0,005$	$\check{R} = 0,006 \div 0,009$	$\check{R} = 0,010$ a větší

3) Hodnocení velikosti zrn

Pro pozorování struktury byly vzorky naleptány Nitemem. Po vysušení byly pozorovány při stonásobném zvětšení, při nezřetelné struktuře bylo použito pětisetnásobné zvětšení.

Velikost zrn se hodnotí srovnávací metodou podle normy ČSN 420462 (Stanovení velikosti zrna ocelí a neželezných kovů).

4) Měření tvrdosti HV

Měření tvrdosti HV bylo provedeno na mikrotvrdoměru ZWICK 3212, který byl připojen na počítač vyhodnocující naměřené hodnoty. Při měření bylo použito konstantní zatížení 0,2 kg.

5) Chemické složení

Hrubý odhad obsahu uhlíku byl proveden podle srovnávacích tabulek sestavených ing. V. Košelevem.

3.2.1. Výsledky měření

Předmět: Rožeh 2702/96

Tabulka č. 2

	Hodnocení vměstků			
	Tvar	Velikost	Poznámka	Obr. č.
Špička	Globulární	Malé	Ve shlucích	18
	Nepravidelný	Střední, velké	V pásech	
Konec	Globulární	Malé	Ve shlucích	19
	Nepravidelný	Střední	V pásech	

Tabulka č. 3

	MATRICE					
	Struktura	Obsah perlitu [%]	Zastoupení v %	Velikost zrna	Poznámka	Obr. č.
Špička	Feritická		100	7 (8)		20
Konec	Feritická		90	6		--
	Feriticko-perlitická	30	10		Rozpad Widmannstättenovy struktury	21

Tabulka č. 4

Měřená část	Struktura	Naměřené hodnoty tvrdosti HV 0,2					
		1	2	3	4	5	Prům. hodnota
Špička	Feritická	145,9	166,6	183,8	183,1	164,5	168,78
Konec	Feritická	161,2	141,1	157,7	132,2	133,7	145,18
	Feritickoperlitická	189,4	193,6	201,2	196,0		195,5

Tabulka č. 5 [5]

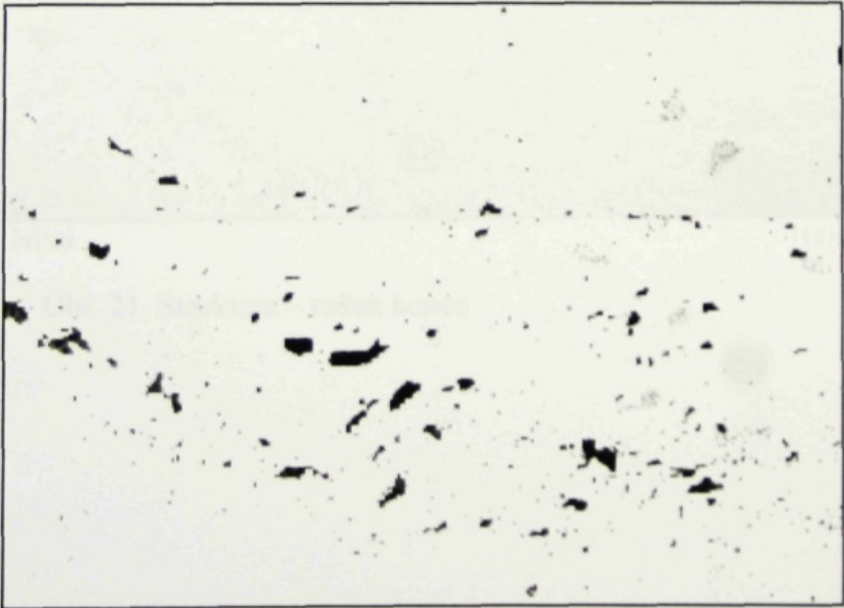
Chemické složení		
	Chemicky prvek	Obsah [%]
Špička	Uhlík	0,1
Konec	Uhlík	0,06
	Uhlík	0,3



Neleptáno

100×

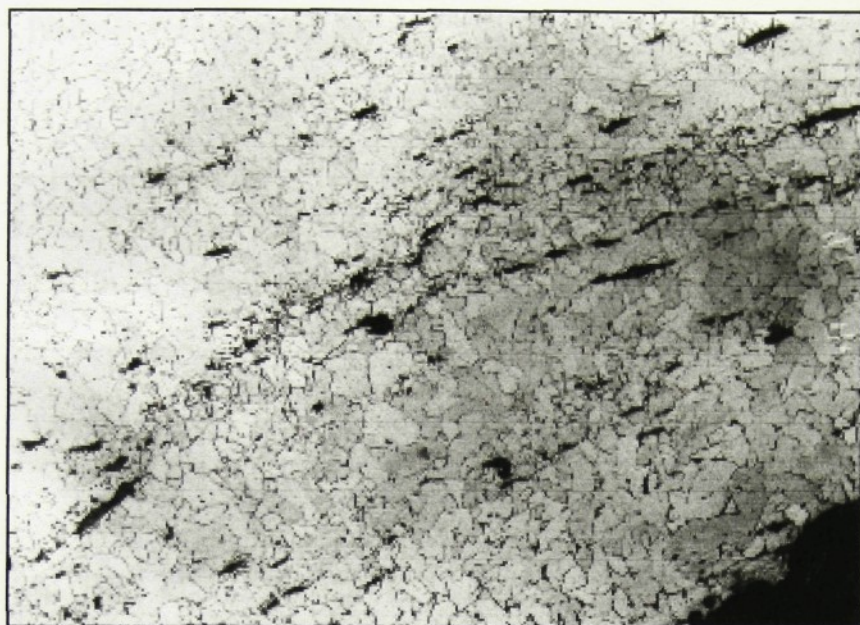
Obr. 18. Vměstky – rožeň špička



Neleptáno

100×

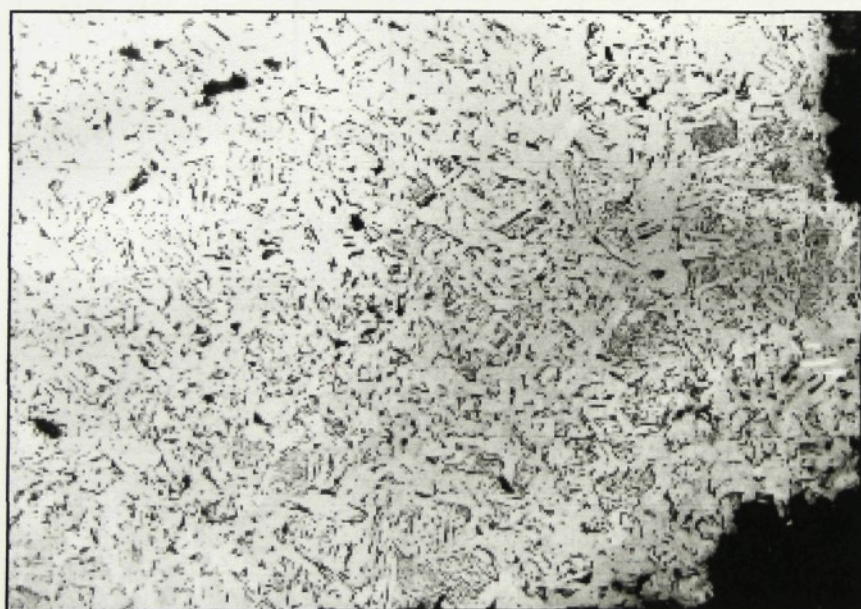
Obr. 19. Vměstky – rožeň konec



Nital

100×

Obr. 20. Struktura – rožň špička



Nital

100×

Obr. 21. Struktura – rožň konec

Tabulka č. 6

	Hodnocení vměstků			
	Tvar	Velikost	Poznámka	Obr. č.
Špička	Globulární	Malé		22

Tabulka č. 7

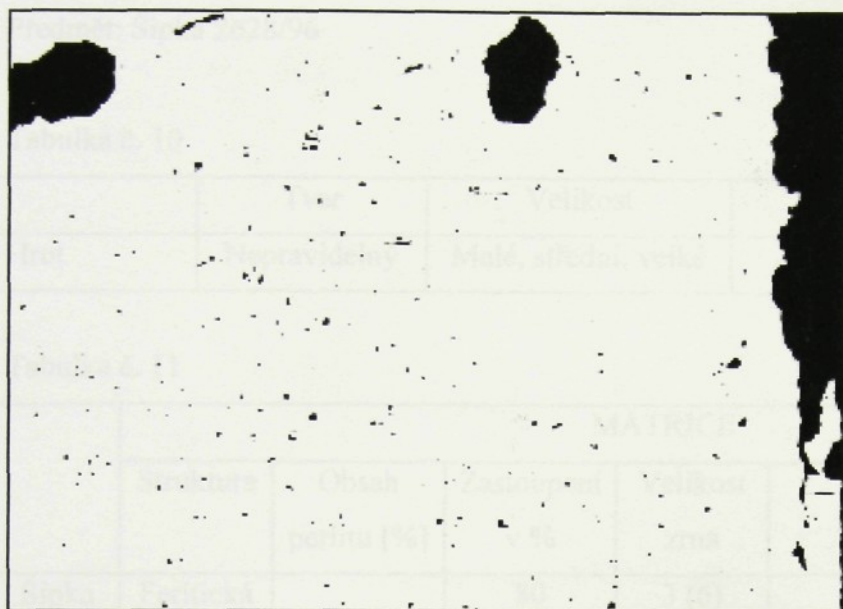
	MATRICE				
	Struktura	Obsah perlitu [%]	Zastoupení v %	Velikost zrna	Obr. č.
Špička	Feritická		100	6	23

Tabulka č. 8

Měřená část	Struktura	Naměřené hodnoty tvrdosti HV 0,2								
		1	2	3	4	5	6	7	8	Prům. hodnota
Tulej	Feritická	134,2	147,7	149,6	150,4	146,4	153,0	137,9	165,2	148,05

Tabulka č. 9 [5]

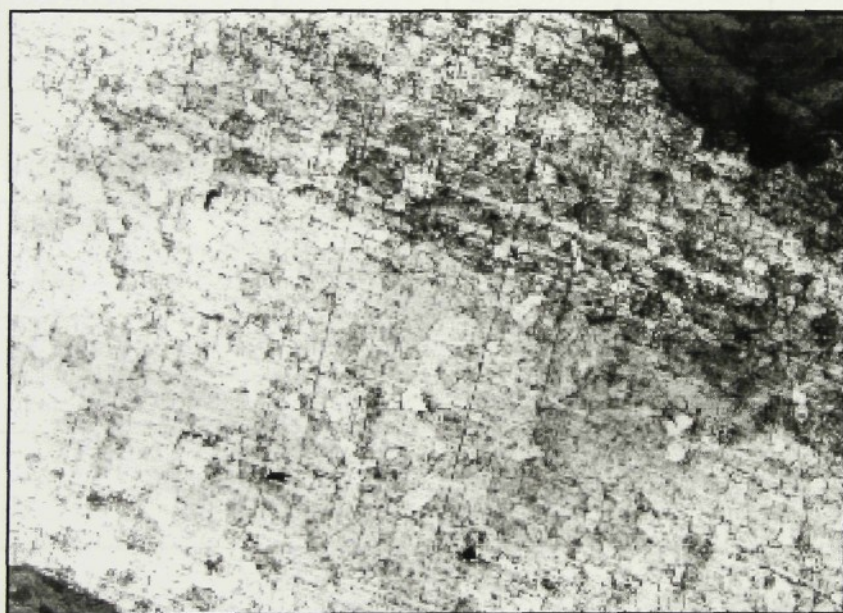
Chemické složení		
	Chemický prvek	Obsah [%]
Špička	Uhlík	0,06



Neleptáno

100×

Obr. 22. Vměstky – nůž špička



Nital

100×

Obr. 23. Struktura – nůž špička

Předmět: Šipka 2628/96

Tabulka č. 10

	Tvar	Velikost	Poznámka	Obr. č.
Hrot	Nepravidelný	Malé, střední, velké		24

Tabulka č. 11

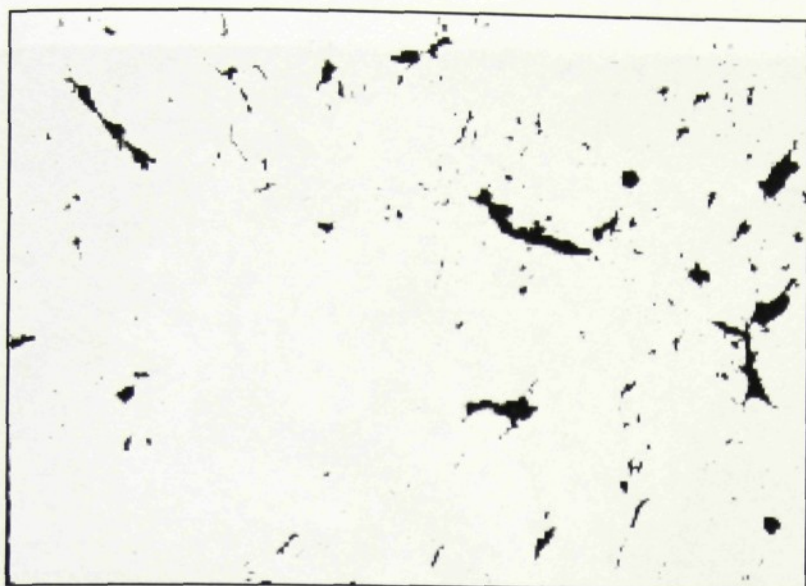
	MATRICE					
	Struktura	Obsah perlitu [%]	Zastoupení v %	Velikost zrna	Poznámka	Obr. č.
Šipka	Feritická		80	3 (6)		--
	Feriticko- perlitická	30	18	6 (7)	Rozpad Widmannstättenovy struktury	25, 26
	Perlitická	100	2	6		

Tabulka č. 12

Měřená část	Struktura	Naměřené hodnoty tvrdosti					
		1	2	3	4	5	Prům. hodnota
1	Feritickoperlitická	167,4	170,6	188,5	195,2	190,1	182,36
	Perlitická	215,6	250,4	286,1			250,70
2	Feritickoperlitická	198,5	177,6	190,1	173,5		184,93
	Perlitická	285,7	279,2	245,6	226,3		259,20

Tabulka č. 13 [5]

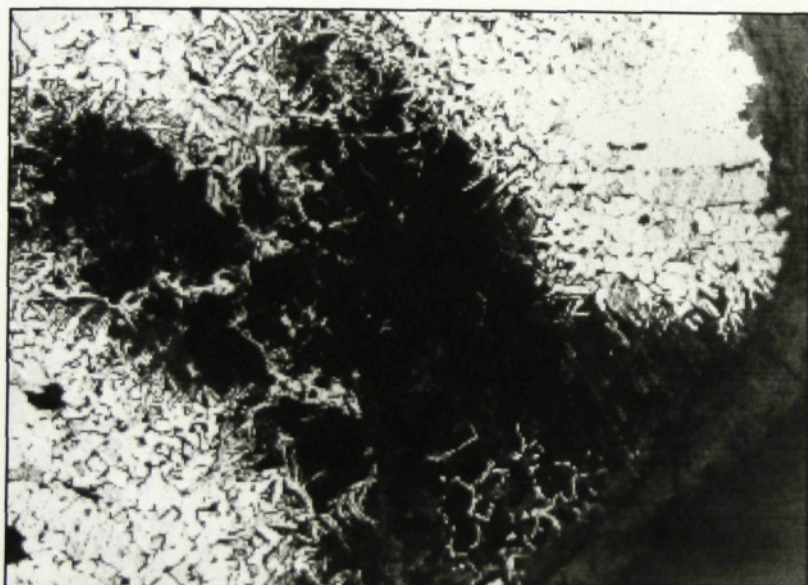
Chemické složení		
Struktura	Chemický prvek	Obsah [%]
Feritická	Uhlík	0,06
Feritickoperlitická	Uhlík	0,3
Perlitická	Uhlík	0,6



Neleptáno

100×

Obr. 24. Vměstky – šipka



Nital

100×

Obr. 25. Struktura – šipka



Nital

15×

Obr. 26. Struktura – šipka

Tabulka č. 14

	Tvar	Velikost	Poznámka	Obr. č.
Břit	Nitkovité	Střední	Kolmo na směr tváření	27
	Nepravidelný	Malé, střední		
Tulej	Nitkovité	Střední	Kolmo na směr tváření	--
	Nepravidelný	Malé, střední		

Tabulka č. 15

	MATRICE				
	Struktura	Obsah perlitu [%]	Zastoupení v %	Velikost zrna	Obr. č.
Břit	Nízkouhlíkaté martenzitické jehlice		10	4	28
Tulej	Feritická		90	4	--

Tabulka č. 16

Měřená část	Struktura	Naměřené hodnoty tvrdosti				
		1	2	3	4	Prům. hodnota
Břit	Nízkouhlíkaté martenzitické jehlice	404,8	392,7	282,3	266,3	336,53
Tulej	Feritická	165,3	154,0	142,2	152,3	153,45

Tabulka č. 17

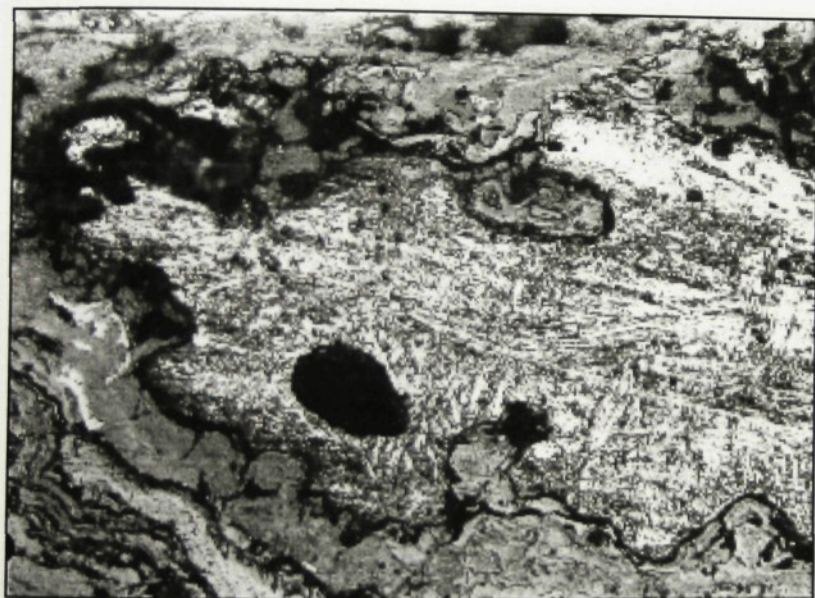
Chemické složení		
Struktura	Chemický prvek	Obsah [%]
Feritická	Uhlík	0,1
Nízkouhlíkaté martenzitické jehlice	Uhlík	0,3



Neleptáno

100×

Obr. 27. Vměstky – renesanční nůž



Nital

300×

Obr. 28. Struktura – renesanční nůž

Tabulka č. 18

	Tvar	Velikost	Poznámka	Obr. č.
Tulej	Globulární	Malé, střední		29
	Nepravidelný	Střední, velké	Kolmo na směr tváření	
Břit	Globulární	Malé		--
	Nepravidelný	Střední	Kolmo na směr tváření	

Tabulka č. 19

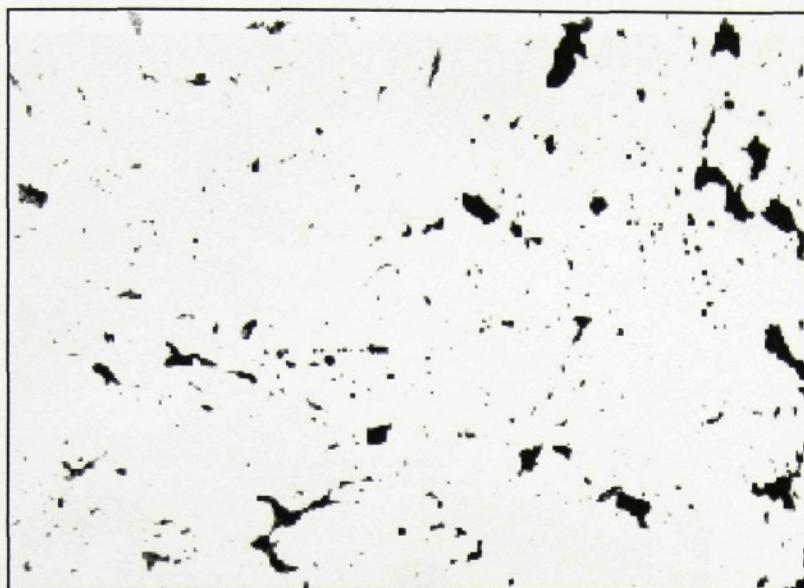
	MATRICE				
	Struktura	Obsah perlitu [%]	Zastoupení v %	Velikost zrna	Obr. č.
Břit	Feritickoperlitická	40	10	9	30, 31
Tulej	Feritická		90	5 (8)	

Tabulka č. 20

Měřená část	Naměřené hodnoty tvrdosti								
	1	2	3	4	5	6	7	8	Prům. hodnota
1	146,5	140,8	133,3	228,7	220,0	164,8	182,9	193,3	176,29
2	125,4	121,8	121,6	117,0	125,3	120,7	198,1	199,4	141,05

Tabulka č. 21

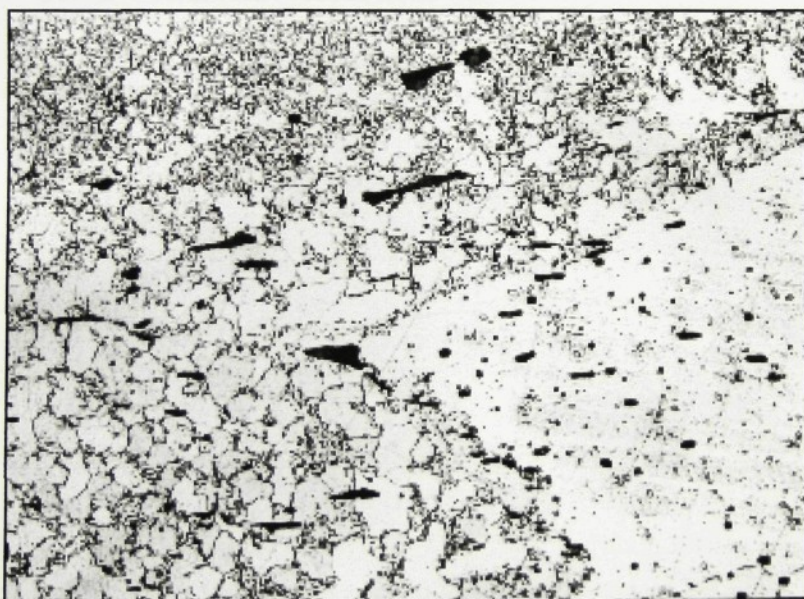
Chemické složení		
Struktura	Chemický prvek	Obsah [%]
Feritická	Uhlík	0,06
Feritickoperlitická	Uhlík	0,3 – 0,4



Neleptáno

100×

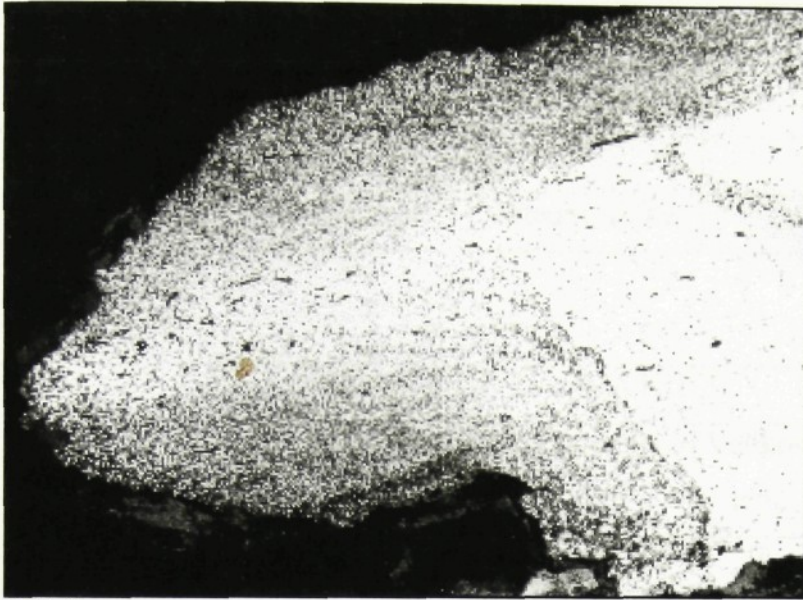
Obr. 29. Vměstky – čepel nože



Nital

300×

Obr. 30. Struktura – čepel nože



Nital

60x

Obr. 31. Struktura – čepel nože

Tabulka č. 22

	Tvar	Velikost	Poznámka	Obr. č.
Hřeb	Globulární	Malé		32
	Nepravidelný	Střední, velké		

Tabulka č. 23

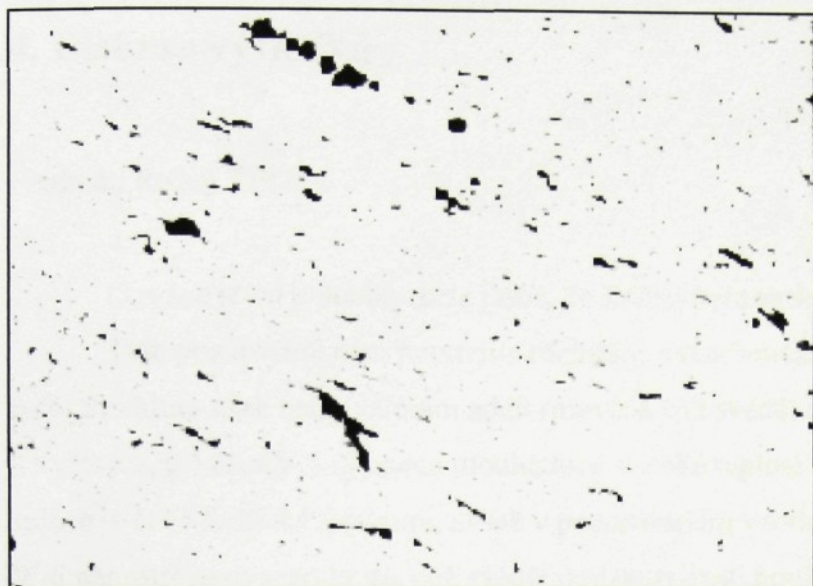
	MATRICE					
	Struktura	Obsah perlitu [%]	Zastoupení v %	Velikost zrna	Poznámka	Obr. č.
Hřeb	Feritická		80	7		--
	Feritickoperlitická	40 - 50	20		Rozpad Widmannstättenovy struktury	33

Tabulka č. 24

Měřená část	Naměřené hodnoty tvrdosti								
	1	2	3	4	5	6	7	8	Prům. hodnota
Hřeb	120,3	140,3	122,9	121,4	138,9	140,7	143,2	143,6	133,91

Tabulka č. 25

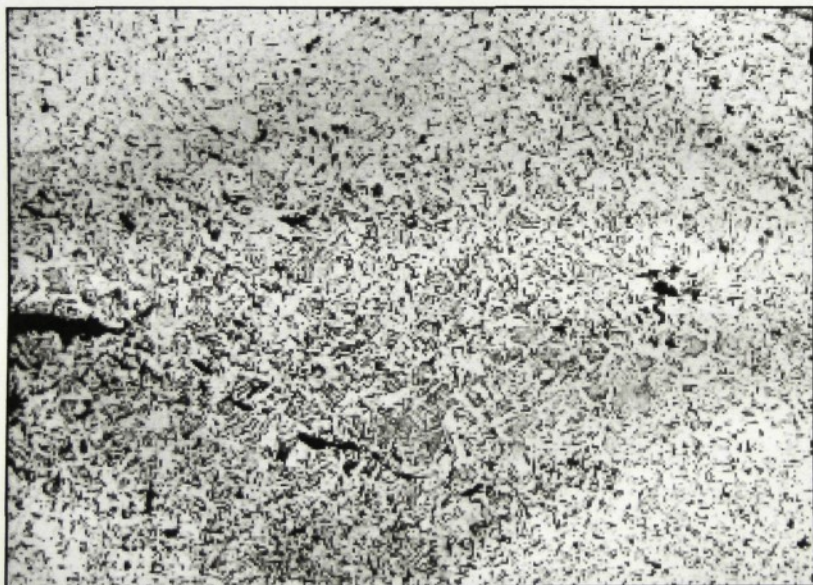
Chemické složení		
Struktura	Chemický prvek	Obsah [%]
Feritická	Uhlík	0,1
Feritickoperlitická	Uhlík	0,3 – 0,4



Neleptano

100×

Obr. 32. Vměstky – hřeb



Nital

100×

Obr. 33. Struktura - hřeb

4. Diskuse výsledků

Předmět: Rožeň 2702/96

U rozně je od pohledu zcela jasné, že špička byla rozkována a tyč byla tordována.

Tyto pozorování nám potvrzuje rozložení a tvar vměstků, jak ve špičce, tak i v konci tyče. Struktura však není tvářením zdeformována což svědčí o tom, že po tváření došlo k vyžhání, tj. rožeň byl vystaven dlouhodobě vysoké teplotě a pak pomalu vychladnul. Ve špičce je čistě feritická struktura, avšak v pozorovaném vzorku tyče se nachází i rozpadlá Widmannstättenova struktura, což svědčí o různorodosti použitého materiálu.

Přestože byl rožeň nejspíše namáhán za tepla, nebyly při výrobě na to brány ohledy a byl použit poměrně znečištěný materiál vměstkama odpovídající technologické úrovni běžné výroby.

Předmět: Nůž 2264/96

Nůž je v silně zkorodovaném stavu. U pozorovaného vzorku se nezachoval žádný zřetelný břit. V tuleji jsou malé globulární vměstky, materiál je jinak velmi čistý.

Struktura pozorovaného vzorku je feritická, což potvrzují hodnoty tvrdosti kolem 148 HV 0,2. Struktura není tvářením zdeformována, proto lze předpokládat, že vzorek prošel požárem.

Předmět: Šipka 2628/96

Ze vzorku je vidět, že byla svinována.

V materiálu jsou velké nepravidelné vměstky, které svědčí o tom, že kovář nepovažoval za důležité, z důvodu jednorázového použití, vyrobit šipku z lepšího materiálu.

Tento názor potvrzuje i různorodost struktury, neboť se zde nachází jak místa s téměř čistým feritem, tak místa feritickoperlitická s rozpadlým perlitem a místa s čistým perlitem. Toto náhodné rozmístění napovídá, že se nejednalo o úmyslné vylepšení vlastností.

Předmět: Renesanční nůž 1231/96

U vzorku jsou vměstky znatelně tvářené, směřují kolmo na směr tváření.

Materiál tuleje je feritický. Mezi strukturou tuleje a břitů je zřetelně viditelná hranice bez sekundárních znaků běžně doprovázejících nakování (struska, okuje). Domnívám se proto, že při tepelném zpracování došlo k nauhličení ostří do cca 0,5 mm. Bylo zakaleno, vznikly jehlice nízkouhlíkatého martenzitu, čemuž i odpovídali naměřené hodnoty tvrdosti kolem 400 HV.

Vzhledem k použití předmětu je zcela jasné, že se jedná o úmyslné zlepšení požadovaných vlastností.

Předmět: Čepel nože 2088/96

U vzorku jsou vměstky v oblasti břítů zřetelně deformované kovářím. Je zřetelné nakování ostří.

Struktura tuleje je feritická. V břítu je rozpadlý perlit částečně sbalený do glubolí. Při zkoušce tvrdosti se pohybovaly hodnoty na feritickoperlitické části kolem 140 HV 0,2 a feritické kolem 200 HV 0,2. Což bylo proti očekávání. To svědčí o tom, že ferit může být nezáměrně legován, legura mohla být obsažena v surovině nebo k nalegování mohlo dojít při neřízené výrobě.

Předmět: Hřeb 2628/96

Na vzorku je zřetelně vidět svinutí materiálu, vměstky jsou směřovány kolmo na směr kování. Průřez hřebu je obdélnový. Hlava je rozkována též do obdélníkového tvaru.

Struktura je různorodá, náhodně rozmístěná, což svědčí o tom, že se kovář nesnažil nijak úmyslně vylepšit vlastnosti.

5. Závěr

U zapůjčeného souboru vzorků jsem provedl metalografický rozbor s těmito výsledky.

1) U pozorovaných předmětů byl materiál znečištěný vměstky, vyjma nože 2264/96, který jeví nejnižší stupeň znečištění.

2) U všech předmětů je převážně feritická struktura s občasným výskytem feritickoperlitické nebo perlitické.

Výjimku tvoří renesanční nůž 1231/96 na jehož břitu byli zjištěny nízkouhlíkaté jehlice martenzitu, což svědčí o tepelném zpracování břitu nože. Toto zjištění potvrzují naměřené hodnoty tvrdosti od 266 do 404 HV.

U nože 2088/96 je feritickoperlitická struktura dodána úmyslně nakováním břitu. Tvrdost břitu se pohybuje od 115 do 200 HV. Snížené mechanické vlastnosti jsou pravděpodobně způsobeny požárem.

U rožně 2702/96 a hřebu 2628/96 byly nalezeny rozpadlé Widmannstättenovy struktury.

U šipky 2628/96 byly zjištěny nahodilé ostrůvky čistého perlitu a rozpadlé Widmannstättenovy struktury.

Nalezené struktury odpovídají metodě přímé výroby.

Použitá literatura

- [1] Pleiner, R.; Kučera, M.; Vozár, J.: Dějiny hutnictví železa v Československu, Academia Praha 1984
- [2] Pleiner, R.: Staré evropské kovářství, Nakladatelství československé akademie věd, Praha 1962
- [3] Archaeologica historica 13/88, Rudé právo Brno
- [4] Stuchlý, M.: Bakalářská práce TU Liberec 1999
- [5] Košelev: Metalografické tabulky, Technicko-vědecké vydavatelství 1952
- [6] Kužel, M.: Bakalářská práce TU Liberec 1999
- [7] ČSN 420462
- [8] ČSN 420471

Prohlášení k využívání výsledků DP :

Jsem si vědom(a) toho, že diplomová práce je majetkem školy a že s ní nemohu sám (sama) bez svolení školy disponovat, a že diplomová práce může být zapůjčena či objednána (kopie) za účelem využití jejího obsahu.

Beru na vědomí, že po 5-ti letech si mohu diplomovou práci vyžádat v Univerzitní knihovně TUL v Liberci, kde je uložena.

Jméno a příjmení (-rodné příjmení) : VÍT LEHKÝ

Adresa: ŠERŤÍKOVÁ 2826, ČESKÁ LÍPA, 440 01

Podpis :

Lehký