

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA STROJNÍ**



**Metalografický rozbor souboru středověkých železných  
předmětů a kovářských strusek**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**LIBEREC: 28. KVĚTNA 1999**

**OSAMA ISMAEL**

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA STROJNÍ**

**KATEDRA MATERIÁLU**

**obor: STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE**

**zaměření: Tepelné zpracování a zkoušení materiálu**

**Metalografický rozbor souboru středověkých železných  
předmětů a kovářských strusek**

**The Metallographic Analysis of the Set of the Medieval  
Iron Objects (Tools) and Smithy Slag.**

**OSAMA ISMAEL**

**KMT – 110**

**Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Louda, CSc.**

**Konzultant: Ing. Jiří Hošek**

**Liberec: 28. května 1999**



# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra materiálu

Školní rok : 1997-98

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro

**Osamu ISMAELA**

obor

Strojírenská technologie

zaměření

Tepelné zpracování a zkoušení materiálu

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje diplomovou práci na téma :

### **Metalografický rozbor souboru středověkých železných předmětů a kovářských strusek**

**Zásady pro vypracování :**

- 1) Seznamte se s hutními a kovářskými technologiemi užívanými při přímé výrobě železa
- 2) Proved'te metalografický a chemický rozbor souboru archeologických železných předmětů
- 3) Proved'te diskusi výsledků analýz dodaných kovářských strusek
- 4) Proved'te souhrnnou diskusi zaměřenou na problematiku kovářské produkce ve sledovaných lokalitách a formulujte závěry.

KMT/TZ  
65 s., 37 s. příl.

V 36/99 S

Rozsah průvodní zprávy : cca 40 - 60 stran

Seznam odborné literatury:

- /1/ Pišek,F.: Nauka o materiálu, II/2 a III/2, Praha 1962, ČSAV
- /2/ Jech,J.: Tepelné zpracování ocelí - metalografická příručka, SNTL Praha 1983
- /3/ Tholander,E.-Blomgren,S.: ON THE CLASSIFICATION OF ANCIENT SLAGS BY MICROSTRUCTURE ECAMINATION, In: THIRD NORDIC CONFERENCE ON THE APPLICATION OF SCIENTIFIC METHODS IN ARCHAEOLOGY, Marichamn 1984, str.415-424
- /4/ Pleiner,R. -Kořan,J.-Kučera,J.-Vozár,J.: Dějiny hutnictví železa v Československu 1, Praha1984. Academia

Vedoucí diplomové práce : Ing. Petr LOUDA, CSc.

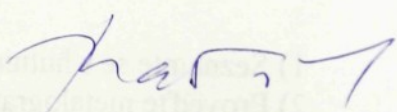
Konzultant : Ing. Jiří Hošek

Termín zadání diplomové práce : 16.3. 1998

Termín odevzdání diplomové práce : 15.12. 1998

  
Ing. Petr LOUDA, CSc.  
vedoucí katedry



  
Doc. Ing. Ludvík PRÁŠIL CSc.  
děkan

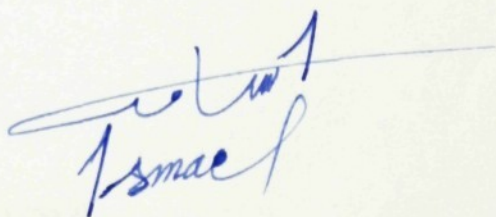
V Liberci dne 16.3. 1998



„Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně  
s použitím uvedené literatury.“

V Liberci, dne 28. května 1999

Osama ISMAEL

A handwritten signature in blue ink, reading "Osama Ismael". The signature is stylized with a long horizontal line extending to the right.

ANNOTATION

Osama Ismael

Theme: The Metallographic Analysis of the Iron of the Medieval Iron Objects  
(Tools) and Smithy Slag

This diploma work is intended as study of applied analysis technology applied  
with production of iron objects, found in locations with archaeological with  
metallurgy or smithy working (Trojský, Stěpanice) or study of structure watched  
types of objects (the smithy – Valečský, the iron – Dobrovice). It  
is complemented with results of analyses of hardware store's slag from watched  
locations (Trojský, Stěpanice).



## ANOTACE

Osama Ismael

**Téma: Metalografický rozbor souboru středověkých železných předmětů a kovářských strusek.**

Tato diplomová práce je zaměřena na studium užitých kovářských technik uplatněných při výrobě železných předmětů, nalezených v lokalitách se zjištěným hutnickým nebo kovářským provozem (Trosky, Štěpanice), či studium konstrukce sledovaných typů předmětů (oštěp - Valečov, sekera - Dobrovice). Doplněna je také výsledky rozborů železářských strusek ze sledovaných lokalit (Trosky, Štěpanice).

## ANNOTATION

Osama Ismael

**Theme:** The Metallographic Analysis of the Set of the Medieval Iron Objects (Tools) and Smithy Slag.

This diploma work is intended on study of applied smithy technology applied with production of iron objects, found in locations with investigate with metallurgy or smithy working (Trosky, Štěpanice) or study of structure watched types of objects (the spearhead – Valečov, the axe – Dobrovice). Is complemented with results of analyses of hardware store's slag from watched locations (Trosky, Štěpanice).

# PODĚKOVÁNÍ

Dovoluji si touto cestou poděkovat **ing. Petru Loudovi, CSc.**  
 a **ing. Jiřímu Hoškovi** za odborné vedení mé diplomové práce, poskytnutí  
 písemných materiálů a cenných rad, i všem ostatním členům katedry materiálu  
 strojní fakulty TU v Liberci i všem svým blízkým za všestrannou pomoc.

Osama Ismael



# OBSAH

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. ÚVOD.....</b>                                                | <b>3</b>  |
| <b>2. REŠERŠNÍ ČÁST.....</b>                                       | <b>4</b>  |
| 2.1 POPIS SLEDOVANÝCH LOKALIT S KOVÁŘKOU A HUTNICKOU ČINNOSTÍ..... | 4         |
| 2.2 ZAŘÍZENÍ A VYBAVENÍ KOVÁREN.....                               | 6         |
| 2.3 KOVÁŘSKÁ TECHNIKA.....                                         | 9         |
| 2.4 KOVÁŘSKÉ ZKOUŠENÍ MATERIÁLU.....                               | 19        |
| 2.5 PŘÍMÁ VÝROBA ŽELEZA.....                                       | 21        |
| 2.6 STRUSKY.....                                                   | 25        |
| 2.7 VÝROBKY STARÉ ŽELEZÁRNY.....                                   | 28        |
| 2.8 VÝROBA NEŽELEZNÝCH KOVŮ VE STŘEDOVĚKU.....                     | 30        |
| <b>3. PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>                                     | <b>33</b> |
| 3.1 PŘÍPRAVA METALOGRAFICKÉHO VZORKU .....                         | 33        |
| 3.2 ROZBORY ŽELEZNÝCH PŘEDMĚTŮ.....                                | 34        |
| 3.2.1 Lokalita Trosky hrad.....                                    | 34        |
| 3.2.2 lokalita dolní štěpanice hrad .....                          | 39        |
| 3.2.3 lokalita Dobrovice .....                                     | 46        |
| 3.2.4 Lokalita Valečov .....                                       | 48        |
| 3.2.5 chemická analýza.....                                        | 50        |
| 3.3 ROZBORY ŽELEZÁŘSKÝCH STRUSEK .....                             | 52        |
| 3.3.1 Lokalita Trosky .....                                        | 52        |
| 3.3.2 Lokalita Dolní Štěpanice .....                               | 54        |
| <b>4. DISKUSE.....</b>                                             | <b>55</b> |
| <b>5. ZÁVĚR.....</b>                                               | <b>63</b> |
| <b>Seznam použité literatury: .....</b>                            | <b>65</b> |

PŘÍLOHA 1

PŘÍLOHA 2

## Rozsah práce :

počet stran : 65

počet obrázků : 22

počet tabulek : 11

počet map : 1

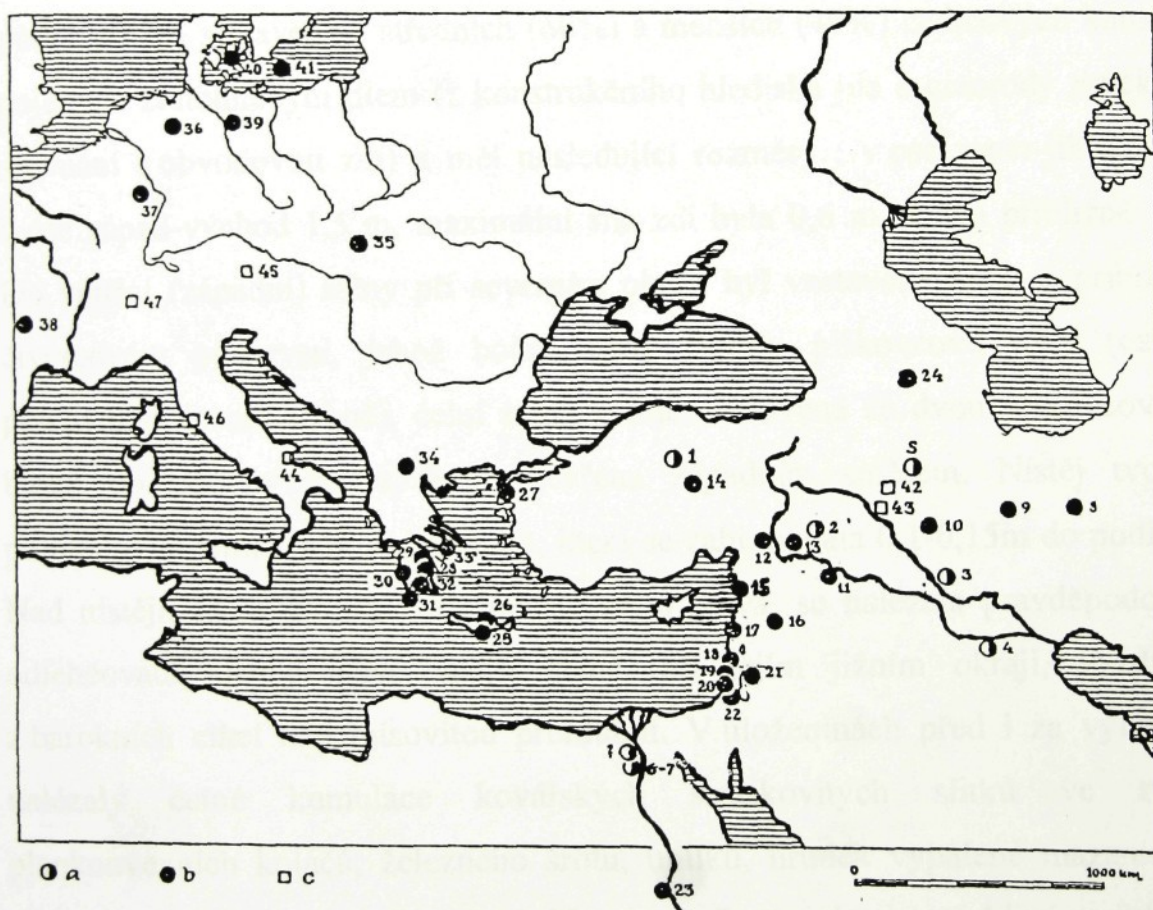


## 1. ÚVOD

Archeometalurgie se zabývá zkoumáním a tříděním hmotných pramenů, které jsou důležité pro studium nejstaršího období lidské společnosti a činnosti z hlediska hutnictví a kovářské výroby, která má kořeny **na starém kontinentu i v Malé Asii.** ( viz. mapa )

Tato diplomová práce se zabývá metalografickým rozбором a archeometalurgickým zhodnocením souborů středověkých železářských strusek a železných předmětů z několika lokalit (Dolní Štěpanice, Trosky, Valečov, Dobrovice) a navazuje tak na výzkum příslušných archeologických pracovišť (OMČR v Turnově a MM v Mladé Boleslavi). Práce se tak snaží přispět k rozšíření poznatků o stavu železářských aktivit v dané době a daném regionu i k rozšíření poznatků o úrovni a rozsahu užívaných technologií.

Práce byla provedena v laboratořích TU v Liberci, na Katedře materiálu.



**Mapka nejstarších železných nálezů:** - Abb.S. Karte der ältesten Eisentande. – 1 Alacar Höyük , 2 Tell Cáger Bazár , 3 Tell Asmar , 4 Ur , 5 Geoy Tepe , 6 Gíza , 7 Sakkara , 8 Tepe Siaik , 9 Tepe Gyian , 10 Jordan Tepe , 11 Mari , 12 Karchemiš , 13 Tell Chaláf , 14 Chattušaš , 15 Ugarit , 16 Katna , 17 Bydlos , 18 Meggido , 19 Gezer a Lachis , 20 Gagar , 21 Tell el Fará , 22 Bein Šemeš , 23 Théby , 24 Helenendorf u Kirovabadu , 25 Faistos , 26 Knossos , 27 Troja , 28 Dendra , 29 Tyrins , 30 Kakovatos , 31 Asine , 32 Vaphio , 33 Athény-Kerameikos , 34 Vardarovca , 35 Gánovce , 36 Vorwohlde , 37 Mosela , 38 Aveyron , 39 Seddin , 40 Finnen , 41 Gotland , 42 Dur Šarukkén (Chorsabad) , 43 Ninive , 44 Coppa Nevigata , 45 Hallstatt , 46 Populonia , 47 La Tène. – Vysvětlivky : *a* železo z 3. tisíciletí př. n. l.; *b* železo z 2. tisíciletí př. n. l.; *c* významná mladší nálezitě železných předmětů , 1. tisíciletí př. n. l.



## 2. REŠERŠNÍ ČÁST

### 2.1 POPIS SLEDOVANÝCH LOKALIT S KOVÁŘKOU A HUTNICKOU ČINNOSTÍ

Na lokalitě **Trosky-hrad** byl odkryt při předstihovém výzkumu v letech 1997 a 1998 při severní patě věže Baby objekt interpretovaný jako kovářská dílna. Relikt zděného objektu se nacházel pod několika destrukčními vrstvami v čediči vytesané místnosti o rozměrech cca 8×4,5m. Nalezený objekt 'L' půdorysu byl sestaven ze středních (60%) a menších (40%) čedičových kamenů pojených žlutohnědým jílem (z konstrukčního hlediska jde o cizorodý prvek ve srovnání s obvodovou zdí) a měl následující rozměry : v ose sever-jih 2,2 m, v ose západ-východ 1,5 m, maximální síla zdi byla 0,6 m, výška přibližně 1m. Do vnitřní (západní) stěny při severním okraji byl vestavěn objekt o přibližně čtvercovém půdorysu, jehož boční stěny tvořily pískovcové stěly (ostění pracovního otvoru výhně), čelní stěna výhně, sestavená ze dvou pískovcových bloků do podoby prahu, byla otevřena západním směrem. Nístěj tvořila polokulovitá jamka o průměru 0,4m, která se zahlubovala 0,1-0,15m do podloží. Nad nístějí, která prostupovala pod hmotou zdiva, se nalézala pravděpodobně odlehčovací klenba a ve vnější stěně, při jejím jižním okraji, vyzdívka z barokních cihel nad mísovitou prohlubní. V uloženinách před i za výhní se nalézaly četné kumulace kovářských struskovitých slitků ve tvaru plankonvexních koláčů, železného šrotu, uhlíků, hrudek vypálené mazanice a zlomků keramiky. Pro přímé datování kovárny přesto nejsou spolehlivé podklady. Nad skalním podložím nalezené zlomky vrcholně středověké keramiky (14.-15. stol.) nepřispívají k datování výstavby výhně, neboť se může jednat o sekundárně uložené vrstvy z období provozu budovy. Barokní cihly nalezené v konstrukci západní zídky dokládají existenci kovárny ještě v 17.století. Na základě



písemných pramenů je znám pobyt vojenských posádek za třicetileté války. Funkce kovárny je za těchto okolností opodstatněná a mohla plnit úkoly při údržbě a malovýrobě pro potřeby pevnosti [1].

V letech 1994 až 1996 proběhl předstihový archeologický výzkum také v areálu dolního **hradu** na katastru **Dolní Štěpanice** (okr. Semily). Výzkum byl podmíněn narušením archeologicky zajímavých situací v souvislosti se statickým zajištěním reliktů zdí. V areálu bašty dolního hradu, byl zachycen relikt metalurgické dílny, datované do 14./15. století, s četnými nálezy technické keramiky (tyglíky). Na základě rozborů strusky a příškvareů (RNDr. V. Šrejň) lze na Štěpanicích předpokládat hutnění olova, pravděpodobně v souvislosti s metalurgií stříbra.[2]



## 2.2 ZAŘÍZENÍ A VYBAVENÍ KOVÁREN

Co se týče vybavení a vzhledu, jsou tak velké rozdíly, že není možné srovnávat středověké kovárny s dnešními, které jsou bohatě vybaveny dokonalými výhněmi v bateriích, ventilátory, automatickými kladivy, soustruhy a frézami a jiným strojním zařízením, které odpovídá bezpečnostním předpisům.

Ve starých kovárnách bylo zapotřebí temných koutů blízko výhně, aby bylo možné pozorovat spolehlivě barvy žhavého kovu. Podle toho se totiž ještě dnes odhaduje teplota.

Každá kovárna má výheň, která se skládá z ohniště (jímky), kde se v žáru spaluje palivo a kde se ohřívá kov, určený k zpracování. Ohniště jsou buď obezděná nebo jsou umístěná v litinových podstavcích. Do ohniště ústí forma (výfučna) od dmychadla: u starých s boku od kovářského měchu, u novějších odspoda od elektrického ventilátoru rozličných systémů. Přívod vzduchu je u těchto výhní regulovatelný. Spálené produkty (kouř a plyny) zachycuje plechový lapač kouře čili dymník, který ústí do komína. Staré kovárny mají často ještě jen zděné kryty výhní. U každé výhně je nádrž s vodou a zásobník na palivo. Z náradí patří k výhni škrabky a háky na strusku, ploché výhňové lopatky k úpravě palivového zásypu. Hlavním nástrojem kovárny je kovadlina (Obr.1:28).

Kovadlina je blok měkké oceli s horní plochou, nazývanou dráha; je navařena z tvrdé oceli a zakalena. Musí být pružná a tvrdá jsou v ní obvykle vybrány dva otvory: jeden okrouhlý pro probíjení kovu, druhý čtvercový pro zasazování různého příslušenství kovadliny. Podstava kovadliny je zpravidla zaklínována do stabilního špalku nebo usazena na plochu pískem odpruženého betonového podstavce. Jsou známy různé druhy kovadlin (německá, štýrská, francouzská a anglická). Pro kováře není kovadlina mrtvým kusem zařízení kovárny, ale nanejvýš důležitou pracovní pomůckou. Kovář zkouší její zvuk a odraz kladiva a sleduje, není-li puklá nebo jinak poškozená.

K uchopení žhavého kovu a k držení na kovadlině slouží kovářské kleště. Mají dvě dlouhá ramena, opatřená často ještě upínacím poutkem, a protáhlou

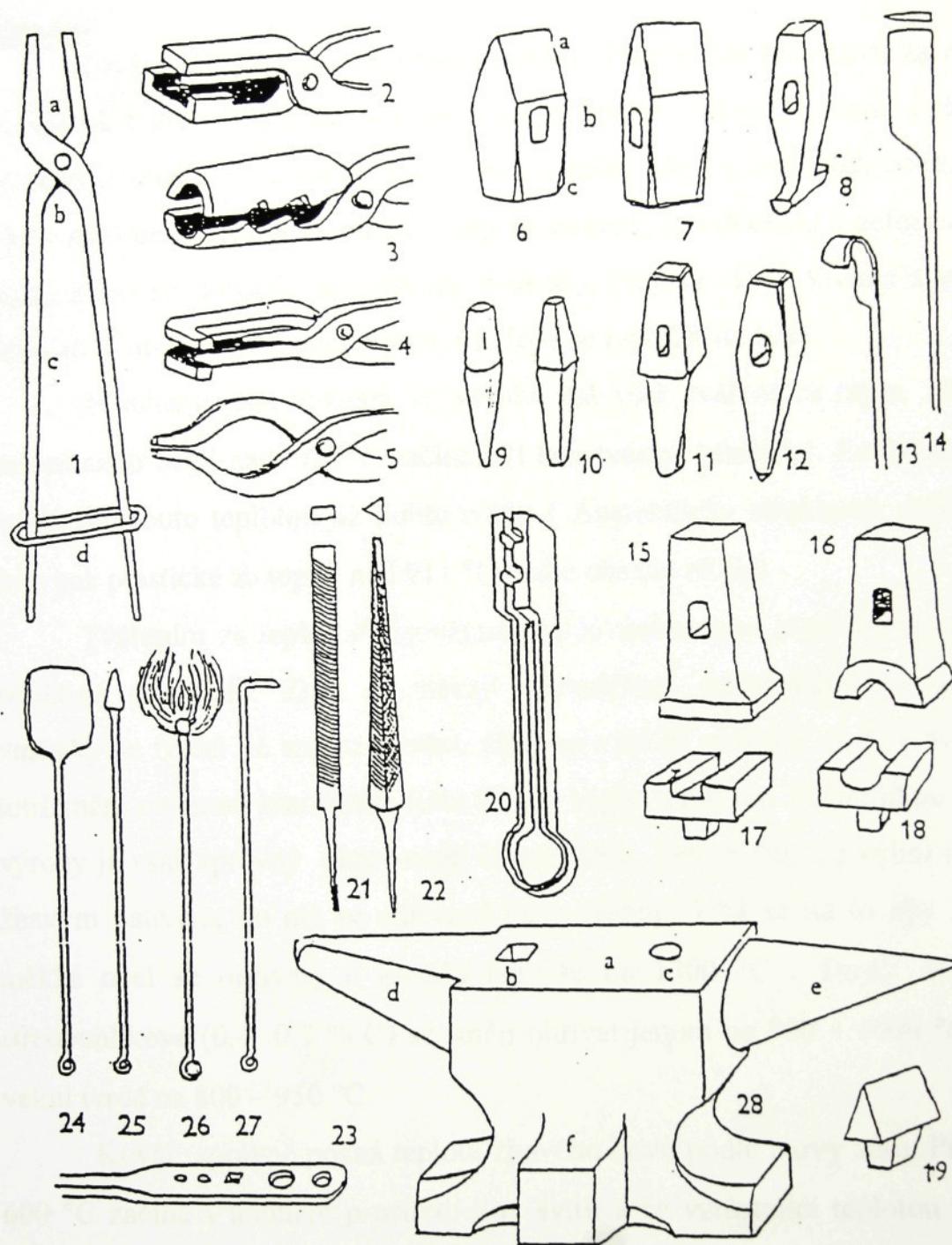


hubu s dvěma čelistmi (Obr.1:1). Délka čelistí má být v poměru 1 : 6 vzhledem k délce ramen. Kleště mívají délku 30–60 cm a jsou zhotoveny z měkké uhlíkové oceli. Podle tvaru čelistí a huby, který je podmíněn účelem kleští, se rozeznávají kleště skřínkové (pro ploché pásy), hákové (pro malé předměty ) nebo s dutými čelistmi (Obr.1:2-5).

Většina kovářských úkonů se provádí kladivy. Kovářské kladivo je z kalené a popuštěné ocele a má na jedné straně plosku (dráhu), která je mírně vypouklá, na druhé straně pak klínovité oboustranné seříznutí, kterému se říká nos. Tělo kladiva je proraženo otvorem pro nasazení topůrka (okem), které se upevňuje železným klínem se zpětnými zářezy (Obr.1:6). Jsou kladiva jednoruční (0,5 – 1) kg, méně často 2 – 2,5 kg) a dvouruční přitloukácí perličky o váze 3–10 kg. Některé perličky mají nos rovnoběžný s osou oka; těm se říká křížová nebo příčná kladiva. Jiná kladiva nemají nos, ale dvě plosky (plochá či oblá kladiva). Kladivo které se klade na kovaný předmět a do něhož se buší jiným kladivem, nazývá se sedlík. Sedlíky mohou sloužit různým účelům a k tomu bývá jejich tvar zvláště přizpůsoben. Jsou to žlábková kladiva hladící kladiva se širokou plochou dráhou, probíjecí kladiva oblá nebo hranatá, zápustková kladiva jimiž se dává materiálu výkovků určitý tvar, kladiva k vyhoblování jamek (Obr.1:8,15) a sekáče na topůrku k dělení kovu. Sekáče s tupým úhlem v břitě jsou určeny k utínání tenkých kusů za studena, nástroje s ostrým úhlem v břitě k dělení za tepla (Obr.1:13-14).

Důležitými nástroji jsou ocelové průbojníky, jimiž – stejně jako probíjecími kladivy – se prorážejí do žhavého kovu otvory o různé podobě – čtvercové, obdélné, kruhové (Obr.1:9-12). K ruční výrobě hřebíků slouží podlouhlá želízka s otvory, zvané hřebovky (Obr.1:23). Pomocí tohoto nástroje se pěchují hlavy hřebů. Hlavičkáři se tvarují hlavy nýtů. V kovářské dílně se ještě setkáváme s některými nástroji určenými k práci se studeným kovem: jsou to kalené pilníky s výtečné oceli, nůžky na plech, pilky na kov atd. . Veškeré kovářské nástroje je nutno udržovat neustále v naprostém pořádku, protože na tom závisí nejenom úspěch práce, ale i bezpečnost pracovníků. [3]





**Obr.1.** Kovářské nástroje: 1 Kleště (a—huba s čelistmi, b—oko, c—ramena, d—upínací pouto), 2 skříňkové kleště, 3 vříč zuby, 4–5 kleště k uchopení tenkých předmětů, 6 kladivo (a—nos, b—oko, c—ploška), 7 křížové kladivo, 8 žlábkové kladivo, 9–12 průbojníky, 13–14 sekáče, 15 hladicí sedlák, 16 zápusťkové kladivo, 17–18 zápusťky, 19 utínka, 20 pérová zápusťka, 21–22 pilníky, 23 hřebovka, 24 výhňová lopatka, 25 bodák, 26 kropáč, 27 hák na strusku, 28 kovářlina (a—dráha, b—otvor pro zápusťky, c—otvor k probíjení, d—hranatý roh, e—kuželový roh, f—pěchovačka).



## 2.3 KOVÁŘSKÁ TECHNIKA

### Kování

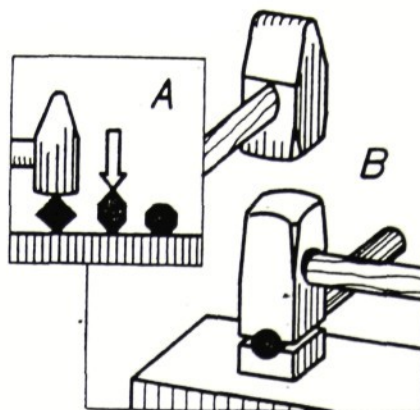
Kování je jedna ze základních technik, kterým lze tvar kovu za různých podmínek tvářet. Rozlišuje se tváření za studena a tváření za tepla. Tváření za studena je možné nejenom u cínu, olova a mědi, ale i u měkkých ocelí. Menší hlavy nýtů nebo plechy se zpracovávají za studena, kde dochází k deformaci zrna feritu a tím se zvyšuje pevnost (až dvakrát). Při tom kov křehne a ztrácí na tažnosti. Čím méně má ocel uhlíku, tím lépe se tváří za studena.

Mnohem větší význam ve výrobě má však tváření za tepla. Při ohřátí železa nebo oceli nad  $727^{\circ}\text{C}$  začíná být kov tvárný, plastický. Eutektoidní ocel se dá nad touto teplotou již dobře tvářet (Austenitická struktura), měkkí oceli jsou pak plastické za teplot nad  $911^{\circ}\text{C}$  podle obsahu uhlíku.

Tvářením za tepla, ať lisováním, válcováním nebo kováním se upravuje struktura materiálu. Zrna se stávají drobnějšími (rekrytalují) a nekovové vměstky se řetězí ve směru kování, čímž se vytváří vláknitý sloh. Kováním se totiž mění nejenom tvar tělesa (Obr.2), ale i jeho struktura. Podmínkou úspěšné výroby je však správný ohřev oceli či materiálu. Ten se děje ve výhni naplněné žhavým palivem, do níž se ohříváné kusy vsazují. Dbá se na to aby železo a měkká ocel se ohřívaly u kovářů nejvýše na  $1300^{\circ}\text{C}$ . Tvrdší ocel ocele středouhlíkové (0,4- 0,7 % C) se smějí ohřívát jenom na  $800 - 1000^{\circ}\text{C}$ . Ocele velmi tvrdé na  $800 - 950^{\circ}\text{C}$ .

Kovář správně pozná teplotu žhavého kovu podle barvy žáru. Při teplotě  $600^{\circ}\text{C}$  začíná v temném prostředí kov svítit a se vzrůstající teplotou se barva žáru mění od temně červené po bílou. Teplota se proto v praxi (i dnes) často označuje podle barvy žáru. Třešňově červeným žářem se například rozumí teplota mezi  $780 - 800^{\circ}\text{C}$ . Protože rozličné kovářské práce vyžadují různých teplot, uvádím přehled teplot a barev žhavého železa podle **tab. 1**.





**Obr.2** Kování kulatiny ze čtyřhranu  
A – pracovní postup  
B – dokončení v zápustce

**tab. 1**

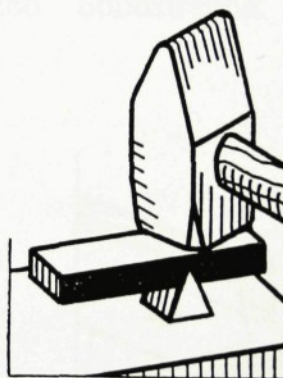
| °C          | Žár              |
|-------------|------------------|
| cca 550     | počínající hnědý |
| 580 – 650   | hnědočervený     |
| 650 – 750   | temně červený    |
| 750 – 780   | temně třešňový   |
| 780 – 800   | třešňový         |
| 800 – 830   | jasně třešňový   |
| 830 – 880   | jasně červený    |
| 880 – 1050  | oranžový         |
| 1050 – 1150 | temně žlutý      |
| 1150 – 1250 | jasně žlutý      |
| nad 1250    | bílý             |

Odhad teploty podle barvy je subjektivní a hodně záleží na temnotě prostředí. Kov musí být ohříván stejnoměrně, neboť různě teplá místa reagují při kování každé jinak. Zvláště větší předměty se ohřívají obtížně, protože jejich povrch se může již spalovat, zatím co nitro není ještě ani prohráté ani plastické.



### **Utínání (odsekávání)**

Jedná se o nejrychlejší způsob dělení materiálu a proto v kovárnách běžný. Často je třeba oddělit kus oceli během zpracování, a nebo i po dohotovení výrobku. Odsekávat lze za studena, ale jen u tenkých prutů nebo plechů. K tomu jsou určené sekáče, jejichž úhel ostří je asi  $60^\circ$ . Údery kladiva se vedou na sekáč na hraně kovadliny. Důležitější je však sekání za tepla. Sekáče se kladou na místa ohřátá do červeného žáru a úderem kladiva se zatnou do děleného kusu. Odseknutí se pak dokončí nad hranou kovadliny. To je sekání shora; kromě toho se odtíná také odspodu, a to pomocí utínky (Obr.3), zasazené do hranatého otvoru kovadliny. Silnější kusy se nasekávají z obou stran utínkou i sekáčem. Sekáče na hmotnější kusy mají podobu podlouhlé sekery a užívá se jich většinou v hamrech.



**Obr.3** Přesekávání na utínce

### **Pěchování**

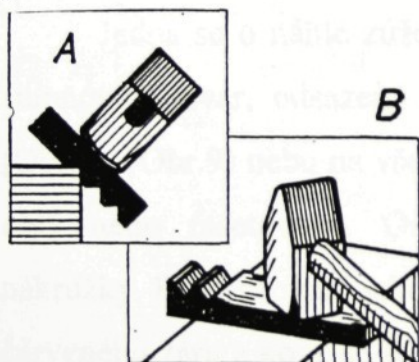
K pěchování žhavého kovu dojde jestliže při úderech ve směru podélné osy předmětu se délka zmenšuje a průměr zvětšuje. Pěchuje se tedy tam, kde je třeba předmět zesílit. Pěchováním za studena se docílí také zvýšené pevnosti materiálu. Zamýšlí-li kovář zesílit průměr tyče jen na určitém místě, ohřeje ji právě jen tam do světle žlutého žáru a vede údery plosky kladiva v daném směru. Napěchování se využívá pro tváření hlav čepů, hřebů a nýtů. Tyto hlavy

sepěchují většinou na tyčích, zasazených do děrované desky nebo do otvoru hřebovky.



## Prodlužování neboli vytahování

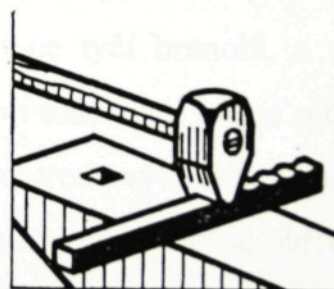
Je to jedna ze základních předběžných operací, již se dosahuje přibližného průřezu nebo délky, kterou má výkovek mít. (Obr.4), (Obr.5) (Obr.6) Vytahováním se kov prodlužuje a ztenčuje. Držadla, žerdě, řapy, osy, tyče, čepele a všechny další kusy se vytahují z výchozích oddělených kusů kovu. Při ručním vytahování si počíná kovář tak, že nos kladiva, do něhož bije stavi napříč tyče od prostředku, takže vznikají příčné žlábký vzhledem k ose tyče. Při dalším kování se pak žlábký zarovnají. tyč se obrací o 90°, aby se udržoval tvar průřezu a aby prodlužování bylo stejnoměrné. Při této operaci kov rychle chladne; jakmile přejde do tmavě červeného žáru, musí se s kovářím přestat a znovu ohřívat, jinak by vznikly trhlinky a v zrnech kluzné čáry. Proto se musí pracovat rychle, s rozmyslem a využívat každého okamžiku. Technika vytahování může být jednostranná nebo oboustranná. Obměnami vytahování jsou : rozkovávání, ostření a hročení.



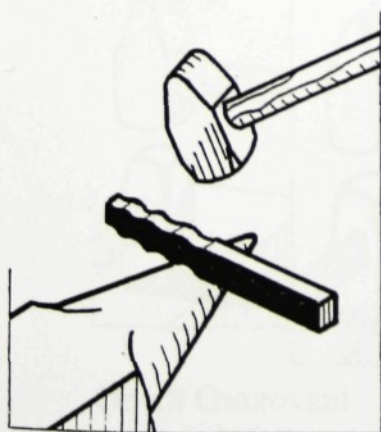
**Obr.4** Prodlužování na hraně kovářiny

A – vytváření vrubů

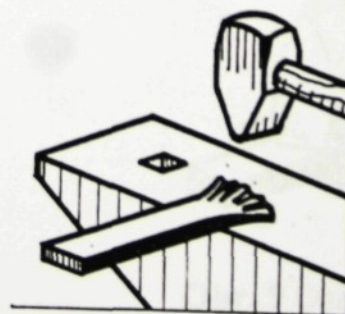
B – zakování vrubů



**Obr. 5** Prodlužování nosem křížového kladiva



**Obr.6** Prodlužování na kuželovém rohu kovářiny.



**Obr.7** Rozšiřování nosem kladiva



## **Rozkovávání čili rozšiřování**

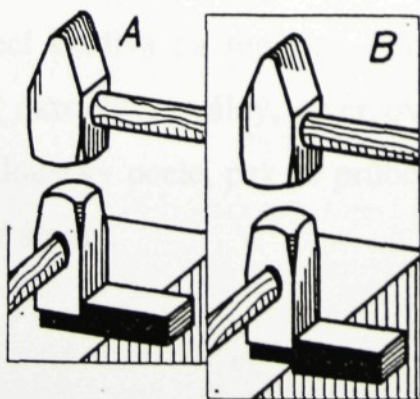
Při rozšiřování se klade nos kladiva rovnoběžně s osou předmětu (Obr.7). Jako při vytahování začíná se od prostředku ohřátého místa, které se rozšiřuje na obě strany a stává se plošším. Vzniklé žlábký je ovšem nutno zase zarovnat ploskou kladiva nebo sedlíkem. Rozšiřováním se zhotovují břitové části čepelí a seker, sekáčů, listy zemědělského a zahradnického nářadí. Rozkovávání je také hojně užívanou předběžnou operací před použitím dalších technik (rozštěpování, svinování).

## **Ostření a hrocení**

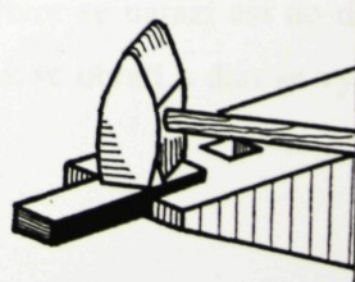
Je taky druhem vytahování a jeho cílem je dát hranám předmětu na žádaných místech tvar břitu (břity seker, čepele, a dláta) nebo hrotů různého průřezu (hřeby, klíny, bodce). Při hrocení se musí předmět neustále otáčet, aby hrot byl rovný a souměrný.

## **Osazování**

Jedná se o náhlé zúžení a zároveň změna průřezu výkovku, čímž vzniká stupňovitý útvar, odsazený. Osazují se konce tyčí hranolů, a to jednostranně (Obr.8) ,(Obr.9) nebo na všech stranách a při tom tenčí konec může být hranatý, oblý nebo fasetovaný. Osazováním uprostřed výkovku vznikají zářezy a nákržky. Při osazování jako při většině kovářských prací se ohřívá ocel do jasně červeného žáru a kove se tak dlouho, až temně červený žár upozorní, že je nutno ohřev opakovat, není-li práce dokončena.



**Obr.8** Osazování  
A – z jedné strany sedlíkem  
B – z obou stran (sedlíkem i hranou kovádky)



**Obr. 9** Osazování na hraně kovádky.



### **Rozštěpování, štěpení**

Často je potřeba výrobek naseknout, aby se konce mohly ohýbat do různých směrů. Zejména při hotovení různých vidlic, zpětných háků.

Úkon se provádí podobnými nástroji jako při sekání – sekáči nebo speciálními prořezávacími kladivy.

Rozštěpování se děje za tepla, neboť neohřáté konce by se snadno mohly odlomit. Při tom se postupuje v rozdělování od konce doprostřed a sekáč se drží šikmo.

### **Probíjení čili prorážení, děrování**

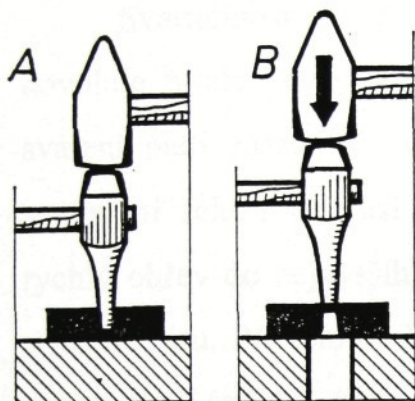
Nejrychlejším a nejvýhodnějším způsobem, jak opatřit ocelové nástroje různými otvory, je probíjení v žhavém stavu.

V malovýrobním kovářství se probíjejí otvory do rozmanitých kování (Obr.10),(Obr.11), pak do všech nástrojů stěžejových pro vsazení nýtu či čepu (nůžky, kleště) a konečně se prorážejí otvory pro nasazené topůrka ve větších výkocích (kladiva, sekáče, sekery, motyčky).

Probíjení má oproti vrtání výhodu, že do značné míry respektuje vlákna, která roztahuje. Probíjení se provádí na kruhovém otvoru v kováččině v kovu, ohřátém do temně žlutého žáru (cca 1100 °C).

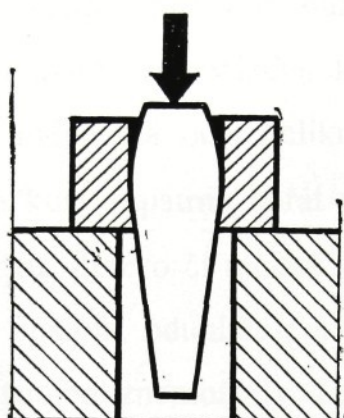
Nástroji jsou při tom kladivo a průbojníky z nástrojové oceli nebo probíjecí kladiva na topůrku. (Obr.12) Otvory jsou podle potřeby zvolené do tvaru : okrouhlý, oválný, čtvercový nebo obdélný. Otvor se narazí asi do dvou třetin tloušťky ocele, pak se průbojník vyjme, výrobek se obrátí a dno se vyrazí z druhé strany.



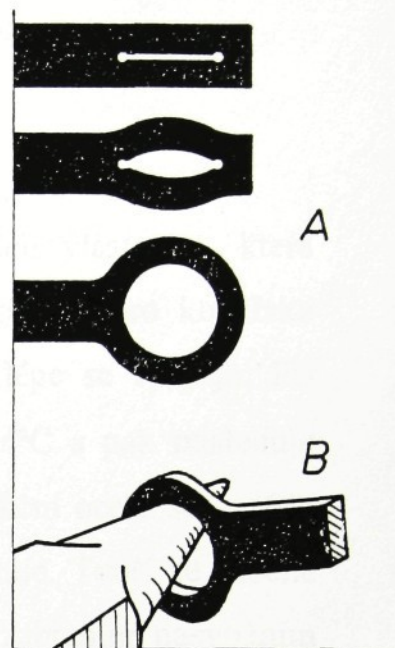


**Obr. 10** Probíjení ze dvou stran  
A – z jedné strany

B – dokončení z druhé strany



**Obr.11** Úprava díry trnem  
(po probíjení)



**Obr. 12** Zhotovení velkého otvoru na kovářské kladce

### Zkrucování čili tordování

Při konstrukci malých výrobků se užívalo zkrucování s velkou oblibou, zvláště při výrobě kování k vozům a různých spojek, jejichž otvory byly přibíjeny na plochy nestejných směrů. Nejčastěji se užívá zkrucování v uměleckém kovářství. Což se provádí tak, že jeden chladný konec se upevní (např. ve svěráku) a druhým se otáčí pomocí kovářských kleští o libovolný úhel nebo několikrát kolem osy.

### Ohýbání

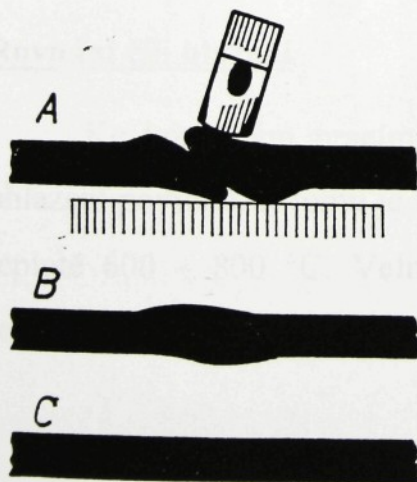
Je to velmi častá kovářská operace, při níž se uděluje ose předmětu jiný směr. Rozlišuje se ohýbání do úhlu, do oblouku a svinování. Tenčí dráty ze železa nebo měkkých ocelí se ohýbají za studena, silnější průřezy se musí ohřívat na 1000 – 1100 °C (žlutý žár). V místě ohybu nastává zeslabení průřezu, proto při ohýbání do úhlu se místo ohybu předem napěchuje. Větší množství



úplně stejných profilů se ohýbá ve speciálních zápustkách. Ohýbání do oblouku se zase provádí na kuželovém rohu kovadliny nebo u menších předmětů na růžku. Touto technikou se zhotovují háky, očka, články řetězů apod.

### **Kovářské svařování**

Svařitelnost železa je jednou z jeho nejdůležitějších vlastností, která dovoluje trvalé pevné spojení dvou částí v jeden kus (Obr.13). pro kovářské sváření platí zásada, že čím méně má ocel uhlíku, tím lépe se spojuje. Při svařování železa se musí oba kusy, opatrně ohřát na 850 °C a pak následuje rychlý ohřev do nejvyššího žáru. Železo či měkké konstrukční ocele se svařují v bílém žáru. Při tom se kov spaluje, oduhličuje a okysličuje. Tvoří se mocné vrstvy okují (oxidů), které by spojení znemožnily. Tomu se zabráňuje nasypáním svařovacího prášku (křemičitý písek, práškový jíl). Sváření ocelí je prací pro zkušeného kováře. Staří mistři kováři dovedli v některých oblastech provádět touto technikou pravé zázraky, jejich umění se stalo pro dnešní řemeslníky nedostižným. Dodejme však, že nejměkčí svárková železa mají zpravidla výtečnou svařitelnost, lepší než u plávkové nejměkčí oceli. Příčina tohoto je podle prof. Quadrata ve způsobu vazby oxidu železnatého, který je ve svárkovém železe prakticky obsažen jenom v uzavřené strusce, kdežto v plávkovém materiálu je volně rozptýlen ve feritické matici. [4].



**Obr.13 Kovářské svařování**

A – napěchované konce

B – spojené kusy

C – zakovaný svar



Kováři kdysi museli, stejně jako kováři dnešní, dodržovat při svařování v ohni některé zásady. Patří k nim např.

- Čím méně uhlíku má ocel, tím lépe se svařuje – to je zásada kovářského svařování. Dnes v ohni obvykle svařujeme konstrukční oceli s obsahem uhlíku 0,12%.
- Prokováním svaru vytlačujeme ze svarového švu částičky strusky. Všechna struska se sice nevykove, ale malé zbytky strusky se prokováním rozptýlí mimo svarový šev.
- Kovářské svařování se snažíme provést na jeden ohřev.
- Jakost svaru zajišťujeme ohřátím svařeného výkovku od jednoho konce. Svítí-li kov kolem svaru doztracena, je svar dobrý, je-li ostrý přechod mezi žhavým a studeným koncem, ukazuje to, že v místě sváru jsou trhliny a větší části strusky.[5]

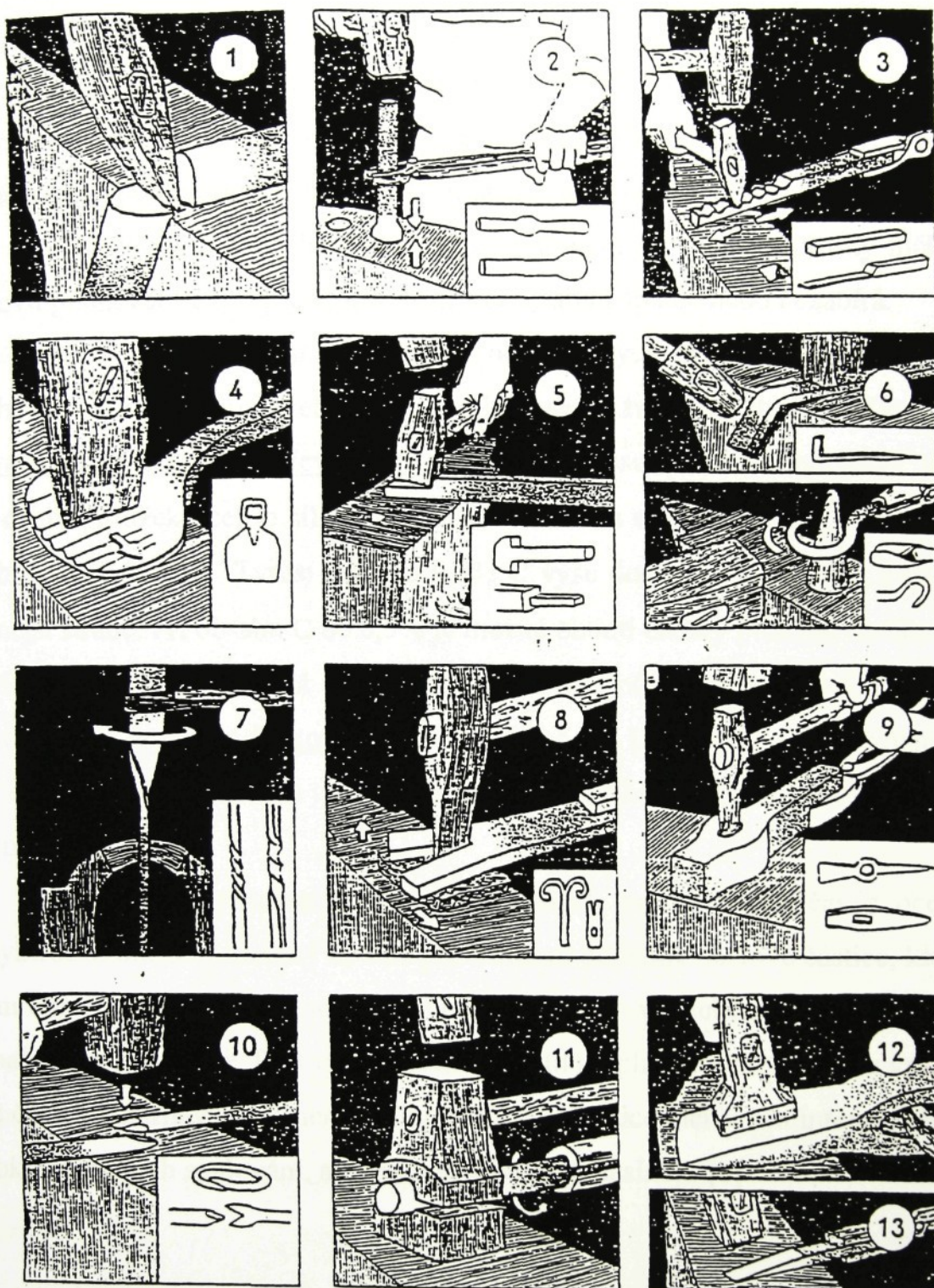
### **Nasazování za tepla**

Je technika málo používaná jedná se o jiný způsob spojování. Je založeno na skutečnosti, že chladnoucí ocel nebo železo se smršťuje. Například objímka, ohřátá na 900 °C se nasadí na osu či hřídel – její světlý průměr ve žhavém stavu přesně odpovídá průměru osy. Po vychladnutí se stáhne tak, že je kose pevně připojená.

### **Rovnění čili hlazení**

Ke konečným pracím při výrobě železných předmětů patří urovnání a uhlopení povrchu. K tomu je třeba užít plosky kladiva. Práce se provádí při nízké teplotě 600 – 800 °C. Velmi často k tomu stačí teplota dokovací, zvláště u jednoduchých výrobků.





**Obr.14** Přehled základních kovářských operací dle prof. Pleinera: 1 – utínání, 2 – přechování, 3 – vztahování, 4 – rozšiřování, 5 – osazování, 6 – ohýbání do úhlů a do oblouků, 7 – zkrucování (tordování), 8 – štěpení, 9 – probíjení, 10 – kovářské svařování, 11 – kování v zápustkách, 12 – rovnání (hlazení), 13 – ostření. Podle R. Pleinera [3].



## 2.4 KOVÁŘSKÉ ZKOUŠENÍ MATERIÁLU

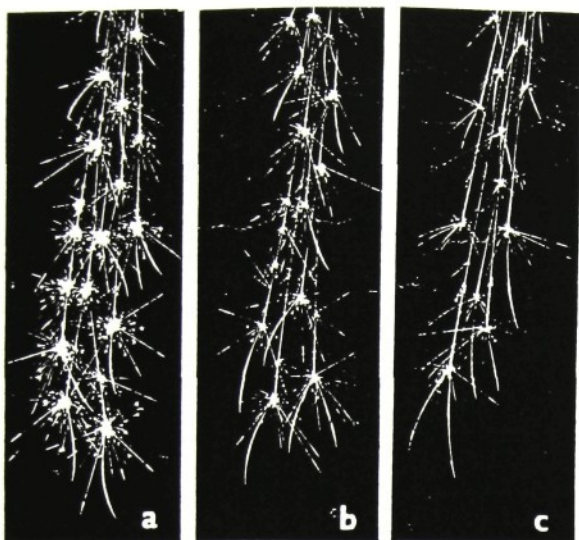
Dílenských zkoušek je dnes celá řada a zkušený kovář dovede rozeznat jednotlivé druhy ocelí poměrně velmi dobře. Například lehkým úderem kladívka do zavěšeného kousku kovu lze rozeznat železo nebo měkkou ocel od oceli nástrojové podle zvuku: tvrdší ocel zní jasněji a dlouho.

Rozšířeným způsobem je zkouška pilníkem: při hlazení plošky měkkého kovu pilník zabírá, při přejíždění tvrdé oceli zabírá špatně nebo nezabírá.

Srovnáním se známými vzorky normovaných druhů lze určit množství uhlíku. Čím méně má ocel uhlíku, tím lépe se dá tvářet za studena. Zkoušením ohebnosti (vlastně houževnatosti) lze rovněž usuzovat na množství uhlíku v oceli: proužek oceli o síle 4mm lze přehnouti za studena o 180°, nemá-li více uhlíku než 0,15%. Tvrdší ocel od 0,2% C výše dostane při přehybu trhliny na vnější straně. Při obsahu C do 0,3% je možné ohnutí takový proužek do úhlu 40°, kdežto při 0,35% C se již objeví trhliny. Jiným způsobem rozlišování měkké a tvrdé oceli je jiskrová zkouška (Obr.15),(Obr.16) [3]. Je všeobecně známo, že ocel při broušení za sucha jiskří, přičemž podle druhu oceli rozeznáváme několik typů jisker.

**Podstatou jiskření** je spalování malých rozžhavených částic oceli ve styku se vzduchem. Brusný kotouč při broušení odděluje ocelové částice, které se tím ohřejí tak vysoko, že se rozžhaví a ve styku se vzduchem jejich oxidace (tj. spalování) pokračuje. Při tom následkem rozdílu tepla mezi povrchem a vnitřkem se částice roztrhávají na menší dílky. Čím jsou částice menší tím intenzivněji pak pokračuje jejich spalování, až poslední zbytky dohasínají. [6].



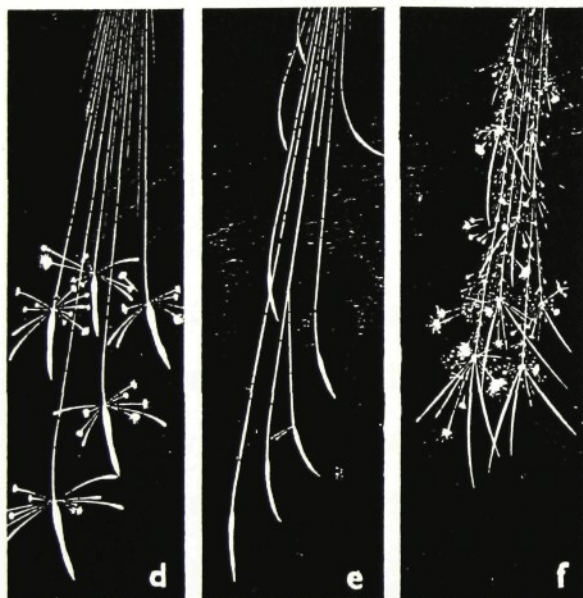


**Obr.15.** Jiskrové zkoušky k rozlišení různých ocelí (uhlíková ocel s různým obsahem uhlíku).

**a:** tvar jisker oceli s vysokým obsahem uhlíku (okolo 1 %)

**b:** tvar jisker oceli s prostředním obsahem uhlíku

**c:** tvar jiskry s malým obsahem uhlíku (okolo 0,2 %)



**Obr.16.** Jiskrové zkoušky různých ocelí (oceli vysoce sléváné).

**d:** jiskra oceli wolframové se středním obsahem wolframu (5 %) a vysokým obsahem uhlíku (přes 1 %)

**e:** jiskra obyčejné rychlořezné oceli s 18 % wolframu

**f:** jiskra oceli s vysokým obsahem chromu (12 %) a vysokým obsahem uhlíku (2 %)

Kromě toho je ještě řada zkoušek žhavého kovu, při nichž se zjišťuje kujnost (kroucení, vytahování, hrocení, rozkovávání bez trhlin). Při nichž se kov proráží průbojníky, ohýbá za tepla, zkouší se svařitelnost v ohni, kalitelnost atd..

Všechny tyto způsoby byly a jsou dostupné i v nejmenší kovárně a není pochyby o tom, že i kováři v pravěku podobných způsobů užívali. Přestože neznali metalografii ani chemické složení kovů dovedli provést správnou volbu materiálů. Poznali kov dobrý a špatný, tvrdý a měkký a dovedli jistě přezkoušet i kvalitu výrobků. Jejich práce byla proti dnešku ztížená ještě tím, že svářkové ocele, které měli k použití, byly velmi nestejnorodé, takže výběr suroviny se musel touto skutečností řídit. [3].



## 2.5 PŘÍMÁ VÝROBA ŽELEZA

Přímá výroba železa z rud spočívala přibližně v tomto [7]:

1. železná ruda se nejprve rozdrtila, roztřídila, propřala, mnohdy se pražila a někdy se nechávala zvětrat.
2. takto upravená ruda byla společně s palivem vsypána do rozpálené redukční pece.
3. za neustálého žáru, který bylo třeba udržovat několik hodin, vznikla železná hrouda promísená struskou a zbytky paliva. Ta se po zchladnutí z pece vyňala.
4. ve vyhřívacích výhních se železná hrouda opět zahřála, aby se pomocí kování vytlačila struska.

ad1, úprava rudy: spočívala v mechanickém oddělení hlušiny v co největší míře od rudy. To se provádělo pomocí kladiv a palic. V pozdější době, kdy bylo již známo vodní kolo, se ruda drtila ve stoupách (Obr.17) . Takto rozdrčená ruda se lépe tavila. Poté se z takto připravené drtě oddělovaly nežádoucí hmoty (hlína, kámen...) prouděním vody, kde se využívalo specifických vah těchto částí. Další úpravou bylo pražení rudy nebo se někdy nechávala zvětrat, tím se stala pórovitější a byla lépe přístupná redukčním plynům. Ztratila svou vlhkost a došlo ke snížení obsahu oxidu uhličitého  $\text{CO}_2$  a síry S.

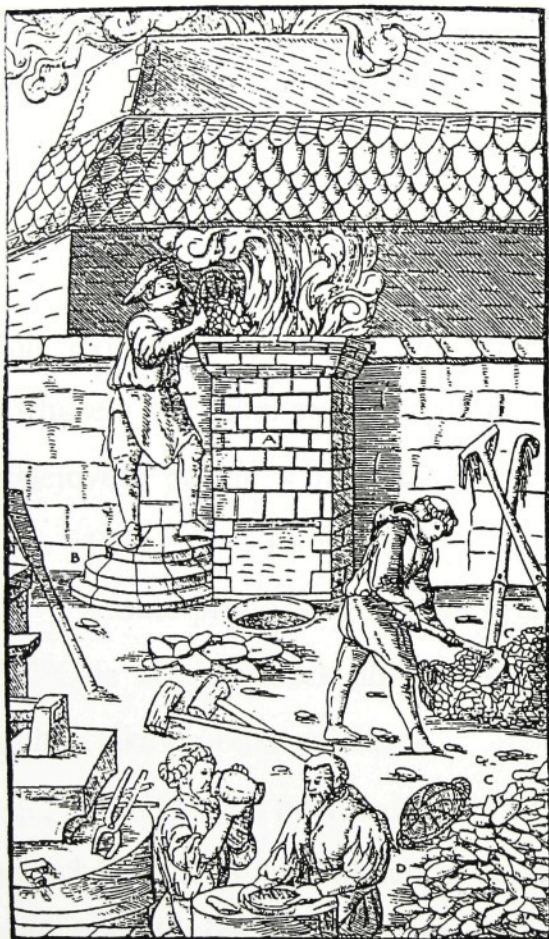


**Obr.17** : Pohled do hutnické dílny. Uhlí (A), korýtko (B), stoupy (C).

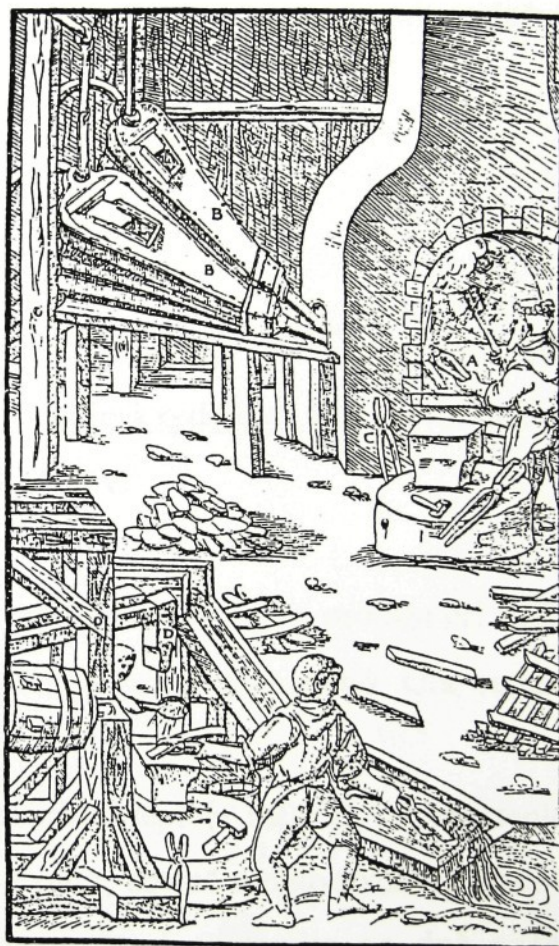
Podle J. Agricoly [23]



ad2, palivo: výhradně se k přímé výrobě železa používalo dřevěné uhlí, které se připravovalo postupným spalováním dřeva (nejčastěji borového) za minimálního přístupu vzduchu. Uhlí vynikalo značnou hořlavostí a čistotou, a proto taviči mohli z čistých rud získávat i jakostní druhy surového železa (Obr.18).



**Obr.18** Kusová pec (A) Dle Agricoly



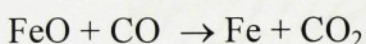
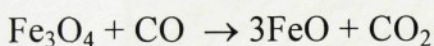
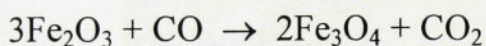
**Obr.19** Kovářská dílna s hamrem (D) a výhní (A) s měchy (B). Podle Agricoly

ad3, redukční pochod:(Obr.19) ruda a dřevěné uhlí byly sypány do rozpálené pece a nakupeny do šachty vrchovatě. Redukční pochod započal, když se sázka pece zahřála na teplotu  $500^{\circ}\text{C}$ . K hoření byl potřeba dostatečný přístup vzduchu, který vnikal do pece přirozeným způsobem nebo se vháněl pomocí měchů ruční, šlapací, později poháněné vodním kolem).

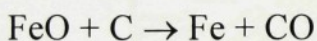


Při spalování dřevěného uhlí vznikl oxid uhličitý  $C+O_2 \rightarrow CO_2$ , který se ihned ve styku se žhavým uhlím redukoval na oxid uhelnatý  $CO_2+C \rightarrow 2CO$ . Oxid uhelnatý CO a uhlík C byly hlavními redukujícími, které při redukci oxidují na oxid uhličitý  $CO_2$  a oxid uhelnatý CO. Oxid uhelnatý z přímé redukce je z části ještě využit při nepřímé redukci.

Redukce železa z jeho oxidů probíhala postupně od vyšších oxidů k nižším za stále větší spotřeby redukčního plynu CO (oxid uhelnatý) - **nepřímá redukce**, tato redukce probíhala v horním pásmu pece nad oxidačním pásem v rozmezí teplot 500-700°C.



Pod oxidačním pásmem, ve kterém byla spalována část dřevěného uhlí, docházelo k redukci oxidů kovů uhlíkem - **přímá redukce**, která probíhala v nížejším pásmu v rozmezí teplot 700-1100°C.



Pásmo přímé nelze přesně vymezit od nepřímé redukce, protože při teplotě 700°C je někdy účinek uhlíku silnější než kyslíčnicku uhelnatého. Obě redukce mohou také probíhat současně.

V některých pecích dosahovala maximální teplota 1400°C, při této teplotě nedocházelo k nauhličení železa do takové míry, aby se mohlo roztavit. Redukcí rudy vzniklo jen železo v těstovitém stavu, které se kupilo na dně pece a svařovalo v železný kus. V jiných případech zůstávalo rozptýleno v menších částech ve struskovém nístějovém svitku, který se po zchladnutí z pece vyňal a dále zpracovával.

Výrobky redukčních pecí a výhni při přímé výrobě železa z rud nemohly být chemicky, ani metalograficky přesně definovány. Stará hutnická a nová archeologická literatura zná názvy železná houba, hrudky, hroudy, lupy, dejly nebo vlky. Neodlišovalo se surové železo od oceli, všechny produkty přímé výroby dostaly souhrnný název železo.



ad4, zpracování vyredukovaného železa: po ukončení redukčního pochodu, který trval 8-10 hodin, se z vychladlé pece vylomila hrouda vyredukovaného železa. Získaný produkt bylo nutno zbavit strusky (Obr.20), zbytků paliva a jiných vměstků. Hrouda se opět ohřála (aby se struska roztavila a železo bylo v těstovitém stavu) ve větších vyhřívacích výhních nebo speciálních pecích s umělým dmycháním. Konstrukce těchto zařízení dovoľovala dosáhnout teploty nad 1200°C. Takto ohřátá hrouda se pomocí dřevěných palic prokovala tak, aby se struska vytěsnila a železo se pak svařovalo v poněkud homogennější lupu.



Obr. 20 Pohled do dílny středověkého hamru. G - hamr, D - prokovávání železné lupy dřevěnými kladivy. Dle Agricoly [23].



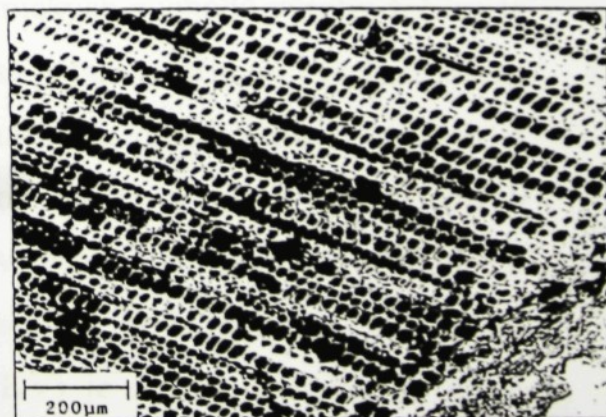
## 2.6 STRUSKY

K doplnění pohledu na výrobu nebo zpracování kovu v dané lokalitě významně pomáhají také rozborů železářských strusek, neboť rozhodnutí o původu strusek na základě jejich vnějšího tvaru je velmi problematické. Struska pocházející z procesu přímé výroby železa v malých redukčních pískách může být ve formě nepravidelně tvarovaných kusů. Takové tvary strusky jsou důsledkem jejího vylomení z vnitřku pece, nebo se jedná o pouhé fragmenty většího struskového koláče, formovaného klesající struskou. Struska formovaná během kovářských procesů se utvářela v menším množství a hromadila se ve vsázce dřevěného uhlí výhně v blízkosti výfučen kovářských měchů nebo se hromadila v nístěji kovářské výhně. Pro takovéto strusky pak byl typický miskovitý tvar strusky, jejíž průměr závisel na rozměrech výhně. Spoléhat však pouze na tvar struskovitých kusů může být zavádějící.

Kovářské strusky jsou formovány především hmotou fayalitu  $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ , který vzniká reakcí křemenného písku a okují. Okuje, tj. oxidy železa vznikající na povrchu ohřátého kovu, znemožňovaly další procesy kovářského svařování a proto musely být odstraněny. Ztečení nebo snadné vytlačení fayalitu ze svarových ploch bylo způsobeno jeho nižší teplotou tání. Vedle základní hmoty fayalitu byly kovářské strusky tvořeny i zbytky okují a křemenného písku, (obr.21).



Obr.21. Korozní produkty a vměstky křemičitého písku ve struktuře kovářské strusky



Obr.22. Částice křemičitanu vápenatého ve struktuře kovářské strusky



Často se ve strusce objevují i částčky metalického železa ve formě korozních produktů. Také určité množství strusky formované v procesech tavby se stávala součástí strusky kovářské, neboť se do kovářské výhně přenesla ve formě struskovitých inkluzí v ohřívaných železných polotovarech. Chemické složení strusky nám také může pomoci k základnímu rozlišení mezi dvěma typy strusek. Pro hutnické strusky přímé výroby železa je charakteristický poměr celkového obsahu železa a obsahu železnatých oxidů blízký jedné nebo menší než jedna. To znamená, že většina železa v těchto struskách je přítomna v železnaté formě. V kovářských struskách je také většina železa přítomna v železnaté formě, avšak může se zde nacházet také mnoho částic metalického železa. Kovářské strusky obsahují mimo to také zbytky okují s částicemi železa v železité formě. Z toho vyplívá, že v kovářských struskách je celkový poměr obsahu železa a obsahu železnatých oxidů vyšší, a v mnoha případech dosahuje hodnot kolem dvou i více.

Zajímavý jsou také výsledky výzkumu prof. Mihoka u kovářských strusek z hradu Ľubovňa. Ve struskách se objevovala i jinak dosti řídce se vyskytující buněčná struktura tvořená částicemi křemičitanu vápenatého, (Obr.22). , částečně naleptaných vodou během přípravy mineralogického výbrusu. Takováto struktura odpovídala výsledkům chemické analýzy udávající 23 hm% CaO. Pro kovářskou produkci na hradu Ľubovňa byly tedy charakteristické přídavky hašeného vápna do kovářské výhně. [8].

**Co se týče strusek** pocházejících z hutnických pochodů výroby železa, je možné uvažovat tři základní způsoby. Jedná se jednak o přímou výrobou železa z rud v redukčních pecích ( **RP**, tj. v dýmačkách, v redukčních výhních a kusových pecích), dále o nepřímou výrobou železa z rud v dřevouhelných vysokých pecích (**VP**, které pracují rovněž v redukčním režimu) a v kujnících výhních (**KV**, které pracují v režimu oxidačním). Bylo zjištěno, že složení strusek z uvedených technologií (**RP**, **VP**, **KV**) je natolik typické, že může zpětně posloužit k jejich poměrně spolehlivé identifikace. Je-li přitom splněna podmínka stejné, nebo alespoň přibližně stejné výchozí rudné vsázky, co do



obsahu P, pak je určení použité technologie pomocí složení příslušné strusky velmi spolehlivé.

Zatím co **pochod přímé výroby železa** z rud v redukčních pecích vytápěných dřevěným uhlím z 11. až 16. století (RP – ať již v pecích šachtových nebo výhňových) je charakterizován velmi nízkými obsahy oxidu fosforečného a síry a poměrně vysokými obsahy oxidů železa (struska Olomoučany, Nesměř a experimentální tavby).

**A pochod nepřímé výroby železa** z rud v dřevouhelných vysokých pecích je charakterizován vysokými obsahy oxidu křemičitého, zvýšenými obsahy oxidu vápenatého a vyššími obsahy oxidu hlinitého. Obsah oxidů železa je přitom nízký a obsah oxidu fosforečného a síry jsou extrémně nízké (VP – struska Kadov). Pro oba redukční pochody - VP a RP je zároveň společný extrémně nízký obsah oxidu fosforečného a síry ve struskách.

Zkujňování surového železa ve výhních je ve struskách provázeno poměrně vysokými obsahy oxidů železa, obsahy oxidu fosforečného v jednotkách procent a velmi nízkými obsahy síry (KV – Hlubocký hamr na Bílém potoce). Oxidační pochod v kujnících výhních - KV - se tedy odlišuje od redukčního pochodu v dýmačkách - RP – řádově vyššími obsahy oxidu fosforečného ve struskách, přičemž je pro oba pochody charakteristický poměrně vysoký a přibližně stejný obsah oxidů železa. Všechny popisované pochody (technologie) se shodují ve velmi nízkých obsazích síry. Strusky z těchto pochodů jsou kyselé. Pro pochod v dřevouhelné vysoké peci je vzhledem ke zbývajícím typický zvýšený obsah oxidu vápenatého. Uvedené charakteristické znaky strusek lze využít k odhadu technologií, které byly na jednotlivých hutích a hamerských lokalitách používány. [9].



## 2.7 VÝROBKY STARÉ ŽELEZÁRNY

Jedním z možných hledisek posouzení středověkých předmětů, zvláště na lokalitách, kde lze předpokládat přítomnost kovářské dílny, je posouzení, zda předměty mají charakter výrobků kovaných ručně, či zda by se mohlo jednat spíše o produkty specializovaných železáren, jejichž výrobky jsou charakteristické nižším počtem výrobních operací. Jistě je v tomto směru vhodné mít základní přehled výrobků, které byly v takových železárnách vyráběny. Víme, že v období vrcholného středověku byly hlavními producenty železa hamry. V hamerní budově se soustředila nejen výroba železa z rud, ale také výroba jeho základních druhů a masová výroba zemědělského nářadí.

Základním tvarem železa byl šín. Z údajů o ceně železa v 16. stol. lze soudit, že šín vážil 4 – 5 liber, čili 2 – 2,6 kg.

Druhým základním tvarem byly tyče, štavce. Nejčastějším předmětem výroby v hamrech byly radlice, existovaly však i specializované hamry kovářské a srpařské. Byly zakládány tam, kde se vyrábělo železo s vyšším obsahem uhlíku, blížící se oceli. Vrchlabský hamr vyráběl r. 1552 hlavně kosy a vyvážel je do Polska a do Francie. Pařížské kosy měly hmotnost asi 2,3 libry (1,18 kg) a kosy polské o hmotnosti 2,7 – 3,0 libry (1,4 – 1,54 kg). Vyrábělo se až 13500 kos ročně; na 1000 kos se spotřebovalo 800 kg železa, 430 kg břítevní a 90 kg sekerní oceli. Ještě byly vyráběny specializované pechy, dráty. Hamry vyráběly také různé železné zboží na objednávku, jako průboje na chmelnici, čepy do hřídele, vřetena, pánvice. Důležitým železným zbožím byly hřebíky, které se vyráběli ve městech i na vesnicích.

**Učinit si představu** o výrobních schopnostech starých železáren vybavených dýmačkou nám mohou pomoci údaje v [10]. Soupis byl učiněn na základě výkazů několika hutí, které nejsou o stejném obsahu. Naše pozornost by měla patřit především vrchlabské železárně, která se bezprostředně vztahuje k železářskému regionu do něhož spadají i Dolní Štěpanice.



Pro **vrchlabskou železářnu**, která měla 4 dýmačky, vyhřívačky a dva vlašské hamry máme k dispozici výkaz výroby z období 1551 – 1553. Za 79 týdnů, z nichž byla železářna 19 týdnů mimo provoz. Železářna vyráběla 1–5 hrud železa. Hmotnost hrudy se pohybovala mezi 287 – 349 kg. Ztráta při zpracování hroudy byla asi 30%. Na 1 centnýř (ctr, 56 kg) kujného železa se spotřebovalo 2,7 vozu uhlí.

Dýmačka ve **Starých Hutích u Berouna** vyráběla r. 1575 denně 85 šínů, čili 220 kg. I ve Staré Huti byly při zpracování ztráty 30%, čili vyrobená hrouda vážila 314 kg. Na její výrobu byly potřeba 40koše uhlí a na její zpracování rovněž 4 koše. Z toho vyplývá, že na 100 kg kujného železa se spotřebovalo 650 – 850 kg uhlí.

Třetím významným pramenem jsou tzv. sobíňovská registra. Podle nich hroudou železa, nazývanou plik, zdýmali dva dýmači za den. Týdně se zdýmaly 1 – 3 pliky, čili dýmačka pracovala převážně 1–3 dny v týdnu. V období 1590–92 vyrobila 275 pliků železa, nakoupila 5643 kusů uhlí a vyrobila 138 ctr. (8528,4 kg) železa ze strusek. Z těchto údajů lze odhadnout, že plik vážil asi 350 kg.

V další huti, na panství **Janovice**, byla dýmačka v provozu ještě r. 1616; vyráběla raucheysen (surové železo). Tato dýmačka vyrobila za 33 týdnů 215 hrudů železa o hmotnosti 49 tun, hrouda vážila 280 kg. Dýmačka pracovala každý den někdy vyrobila i 8 želez.

Dýmačka v **Raspenavě** byla vznikla r. 1643. do pece se dávala směs rudy „tvrdé“, bahenní a strusky. Hrouda vážila 347 kg a vyrobilo se z ní 230 kg železa. Ztráta při zpracování byla 34%. Dýmačka pracovala 26 týdnů a vyrobila 18,2 tun železa při spotřebě 421 kg uhlí na 100 kg železa.



## 2.8 VÝROBA NEŽELEZNÝCH KOVŮ VE STŘEDOVĚKU

V letech 1994 až 1996 proběhl předstihový archeologický výzkum v areálu dolního hradu na katastru Dolní Štěpanice. V areálu bašty dolního hradu byl zachycen relikt metalurgické dílny, datované do 14./15. století, s četnými nálezy technické keramiky (tyglíky). Na základě rozborů strusky a příškarů lze na Štěpanicích předpokládat hutnění olova, pravděpodobně v souvislosti s metalurgií stříbra. Tato kapitola nastíní způsob výroby neželezných kovů, o kterých lze předpokládat, že mohly být na Štěpanicích vyráběny.

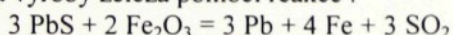
**Stříbro** byl kov významnější než zlato, neboť to byl ve středověku mincovní kov. Ložiska se stříbronosnými minerály v Čechách ve středověku dobývaná byla nedotčená žilná ložiska, a proto měl zachovalou nedotčenou cementační zónu s ušlechtilými rudami stříbrnými a ryzím stříbrem. Poskytovaly tedy naše stříbrné doly ve svých počátcích rudu podstatně bohatší než později, kdy se přešlo na primární ložiska, kde byl až na krušnohorskou oblast hlavně galenit. Nebyla tedy výroba stříbra z obohaceného pásma obtížným úkolem. Z vytěžené rudniny se ručně vytrídilo stříbro, které stačilo jen přetavit. Ale i z bohatých stříbrných rud, jako byl argentit, se dalo snadno vyrobit stříbro zolovňováním, tj. vnášením bohatých rud do roztaveného olova. Tak vzniklo tzv. hutní olovo, tj. slitina olova se stříbrem, ze kterého se získávalo stříbro starodávným způsobem zvaným shánění či odhánění. Pochod spočíval v tom, že se oxidovalo proudem vzduchu za vzniku klejtu a stříbra. Klejt se odstraňoval, a to tak dlouho, až se zalesklo stříbro. Tímto zábleskem stříbra, zvaným „Silberblick“, u našich starých hutníků „plik stříbra“, se pochod skončil. Získané stříbro nebylo zcela čisté, a proto se čistilo oxidačním třibením. Původně se oxidovala tavenina v kelímku jen vzduchem. Pálení se několikrát opakovalo, až bylo získáno stříbro požadované čistoty. Mathesius píše o stříbře i sedmkrát přepalováním. Toto stříbro se nazývalo přepalované, čili „prant“, a mělo později nejméně 15,75 lotu Ag ve hřivně, čili bylo 98,43%.



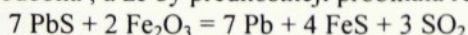
**Olovo** se vyrábí třemi způsoby<sup>1</sup>. Pro staré hutnictví přicházely v úvahu dva, a to pražně redukční, při kterém vzniká pražením kysličník olovnatý a ten se redukuje na olovo, a pražně reakční, při kterém pražením vzniklý PbO dává s PbS Pb a SO<sub>2</sub>.

Nevíme, který z nich staří hutníci používali. Snad kombinace obou, která byla spojena se značnými ztrátami.[11]. Hlavní rudou olova, a u nás jedinou, byl galenit, což je v podstatě siřník olovnatý s teoretickým obsahem 86,6% olova [12]. Většina našich galenitů byla stříbronosná a vyskytovala se spolu se sfaleritem a pyritem. Dva primitivní způsoby výroby olova popisuje Agricola. Ve Vestfálsku se postupovalo tak, že na hromadu dřevěného uhlí na úpatí svahu se dala vrstva slámy a na tu ruda olova. Hromada se zapálila, ruda se tavila a pražila a vzniklá tavenina procházela uhlím a redukovala se na olovo, které tuhlo na placky na rovině pod svahem. Vyrobené olovo se přetavovalo. V Horním Slezsku se ještě v 16. století používalo ohniště obložených cihlami. Ohniště se svažovalo na obě strany a nahoře mělo plošinku. Na plošinku se dala polena, nejdříve velká, pak menší a nakonec třísky. Na to přišla ruda, která se pokryla poleny a hromada se zapálila. Roztavená hmota procházela zuhelněným dřevem. Po vyhoření dřeva se kov sesbíral. [11].

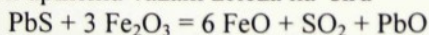
<sup>1</sup> Samostatným a jistě velmi zajímavým problémem souvisejícím s výrobou olova je, zda mohlo dojít k objevu výroby železa pomocí reakce .



Termodynamické výpočty jasně prokazují , že tato reakce je při teplotách pod 2000 K velmi málo pravděpodobná , a že by přednostněji probíhala reakce

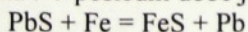


kdy kovové železo nevzniká . Může se ovšem snadno stát, že při přebytku železné rudy nad olověnou nedojde k úplnému vázání železa na síru



a v následujícím redukčním procesu je pak železo známým způsobem redukováno na „vlka„ . Toto nebezpečí hrozí tehdy , je-li železná ruda přidávána k olověné záměrně , neboť do jisté míry usnadňuje pražící a redukční proces .

Poznámka : V poslední době je věnována určitá pozornost tzv. „srážecí reakci“



jejíž rovnováha je tím více posunuta vpravo , čím je vyšší teplota . Její použití pro výrobu olova v dávnověku je málo pravděpodobné , neboť vyžaduje podstatně vyšší teploty než redukce uhlíkem , dává menší výtěžek a konečně předpokládá dostatečné množství levného železa . Z hlediska interpretace archeologických nálezů je ovšem nutno věnovat pozornost zpětnému průběhu reakce , kdy na nižších teplot může dojít v kamínku k samovolnému vzniku kovového železa . Takto vzniklé železo nemůže v žádném případě sloužit za základ technické výroby železa .

Z řady důvodů jsou „ vlky „ vzniklé při výrobě olova podstatně čistší , než při výrobě mědi (větší rozdíl teplot tání železa a olova , nerozpustnost olova v železe , částečný přechod doprovodných prvků do olova atd.) , takže mají podstatně vyšší houževnatost (nelze je např. dost dobře roztlouci na menší kusy) . [13].



**Cín** se v zemské kůře vyskytuje poměrně málo. Jeho rudou byl cínovec (v podstatě oxid cíničitý –  $\text{SnO}_2$  s teoretickým obsahem 78,8% cínu), který se získával rýžováním. Redukce cínovce probíhá podle rovnice  $\text{SnO}_2 + \text{C} = \text{Sn} + \text{CO}_2$ . Přestože se tato redukce zdá být snadnou záležitostí, je spojena s některými obtížemi. V první řadě se musí cínovec redukovat při vyšší teplotě, při které se redukují i jiné kysličníky, jejichž kovy přecházejí do cínu. Současně při vyšší teplotě vznikají ztráty těkáním cínu.

Další potíž spočívá v tom, že  $\text{SnO}_2$  je kyselinotvorný a dává obtížně redukovatelný cíničitan, kdežto  $\text{SnO}$ , který vzniká redukcí  $\text{SnO}_2$ , je zásaditý, a dává proto křemičitan cínatý. Proto byla hutnická výroba cínu na nízké úrovni a byla značně ztrátová. U nás se snad vyráběl cín stejně jako ve staré Anglii, a to takto: Jáma se naplnila dřevem, na které se nakladla ruda. Dřevo zuhelnatělo a cínovec jím procházející se redukoval na cín [11]. Dnes se cínovec lehko redukuje uhlím v šachtových, plamenných anebo v elektrických pecích. Taví se při 1200 až 1300 °C a získává se surový cín, který se dobře odděluje od strusky. Struska obsahuje až 25% cínu, který je potřeba ještě přetavit. Surový cín obsahuje až 3% nečistot, které se odstraňují rafinací. [12].



### 3. PRAKTICKÁ ČÁST

#### 3.1 PŘÍPRAVA METALOGRAFICKÉHO VZORKU

Přípravou metalografického vzorku rozumíme takový postup a sled operací, abychom získali vyleštěný povrch. K tomu používáme tzv. abrasivní metodu, která spočívá v opakování brusných operací s rostoucí jemností brusiva. Po vyleštění musíme získat takový povrch, který bude dokonale rovný, hladký a bez rýh.

Základem postupu přípravy jsou tyto fáze:

1. **volba vzorku:** Vzorky byly odebrány z dodaných železných předmětů a strusek, zpravidla z funkčních partií nástrojů.
2. **oddělení vzorku:** Vzorky v metalografii oddělujeme rozbrušováním, které vytváří minimální deformace na povrchu. Při vyřezávání je důležité, aby nedošlo k tepelnému ani jinému ovlivnění vzorků, a proto jsme přiváděli chladicí kapalinu na vzorek. K docílení přesného oddělení jsem nejprve musel vzorek pevně upnout.
3. **zalévání vzorků:** Zalitím vzorku do formy se nám usnadní manipulace s ním, lépe se bude brousit, leštit a zároveň jej chráníme před poškozením. K zalévání vzorků jsem používal speciálního lisu typu SIMPLIMET 2 firmy BOUHLER. Vzorek jsem položil do sloupku válce pozorovanou plochou dolů, kde jsem ho zasypal dostatečným množstvím termo-plastického prášku – značky DENTAKRYL. Za stálého zahřívání (cca. 130 °C) a působení tlaku (cca. 30 Mpa) se prášek vytvrdil. Po ochlazení a vyjmutí bylo možno se vzorkem okamžitě pracovat.
4. **broušení a leštění vzorků:** Pro metalografické pozorování musíme plochu řádně připravit broušením. Broušením docílíme odstranění nerovností vzniklých při oddělování vzorků, při zalévání do pryskyřice atd. Broušení bylo



prováděno na metalografických brusných papírech (P – 1200, 800, 600, 220, 120) za mokra. Leštění diamantovými pastami.

5. **pozorování v nenaleptaném stavu:** Nebylo použito normy ČSN.... , neboť typ vměstkovitosti této normě neodpovídal. Bylo použito nestandardní metody popisu vměstkovitosti svářkového kovu na základě tab. 2 – vměstky.

tab. 2

| VMĚSTKY                 |                                |                                        |                                |
|-------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|
| TVAR / VELIKOST<br>[mm] | MALÁ                           | STŘEDNÍ                                | VELKÁ                          |
| NEPRAVIDELNÝ            | x = 0 ÷ 0,069<br>y = 0 ÷ 0,014 | x = 0,070 ÷ 0,159<br>y = 0,015 ÷ 0,039 | x = 0,160 ÷ ∞<br>y = 0,040 ÷ ∞ |
| NITKOVITÝ               | x = 0 ÷ 0,129<br>y = 0 ÷ 0,005 | x = 0,130 ÷ 0,349<br>y = 0,006 ÷ 0,009 | x = 0,350 ÷ ∞<br>y = 0,010 ÷ ∞ |
| GLOBULÁRNÍ              | Ø = 0 ÷ 0,003                  | Ø = 0,004 ÷ 0,008                      | Ø = 0,009 ÷ ∞                  |

6. **leptáno:** Ke zviditelnění struktur se používá metoda, kdy chemicky naleptáváme povrch vzorku. Zviditelnění leptadlem je závislé na různé rychlosti naleptání jednotlivých složek materiálu, čímž pak pod mikroskopem dochází k odlišným odrazům světla od jednotlivých složek. Používal jsem leptadla NITAL (pro uhlík) a OBERHOFFER (pro fosfor).

Ke kontrole tvrdosti bylo použito tvrdoměru ZWICK 3202. Měření provedl pomocí Vickersovy metody HV 1, u které je zatížení 1 kg.

3.2 ROZBORY ŽELEZNÝCH PŘEDMĚTŮ

3.2.1 LOKALITA TROSKY HRAD

Předměty datované do přelomu 14.a 15. Století nalezené na hradu Trosky v rámci předstihového výzkumu v letech 1996 a 1997.



## 1. šipka s tulejkou 26/96, obr. P-1

### Metalografický popis:

Jedná se o materiál poměrně čistý s malými a jemnými vměstky převážně globulárního tvaru. Vměstky jsou v matici kovu rozesety dosti rovnoměrně. Struktura je feritická s terciálním či volným cementitem na hranicích některých zrn.. Struktura nemá tvářecí texturu, v některých zrnech se však objevují stopy kluzových čar. Velikost zrn byla v celé matici vzorku stanovena na hodnotu 6 podle ČSN 42 0462, obr.P-11. Průměrná tvrdost byla  $111,6 \pm 9,3$  HV1.

### Tvrdost feritu

---

|       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 103,7 | 114,9 | 121,5 | 100,0 | 117,7 |
|-------|-------|-------|-------|-------|

## 2. nůž 271/97, obr. P-2

### Metalografický popis:

Nůž byl mikroskopicky zkoumán v příčném řezu.

Struktura nože byla tvořena především oblastmi se strukturami s převahem bainitu, nebo směsí feritu a bainitu či přechodového perlitu. Struktura feriticko-bainitická/prech.perlitická se nacházela v ostří nože, obr.P-12, v oblasti I s obsahem uhlíku do 0,4%, tvrdostí  $243,4 \pm 58,2$  HV1 a velikostí zrn asi 9,5 dle ČSN 42 0462. Podobná struktura byla i ve zhruba střední části příčného řezu čepelky, oblasti IV, kde však byl obsah uhlíku nižší 0,25-0,3%, obr.P-13, tvrdost  $216,0 \pm 32,4$  HV1. Oblast II je tvořena strukturou přechodového perlitu a bainitu s tvrdostí  $347,1 \pm 30,0$  HV1, bainitická struktura je v oblastech III, tvrdost  $501,7 \pm 44,4$  HV1, a VI, tvrdost  $565,6 \pm 70,0$  HV1, obr. P-14. Oblast V představuje pozvolný přechod mezi IV a VI a je tvořena směsí bainitu, přechodového perlitu a feritu, viz obr. P-15, kde je zachycen výskyt kalených struktur rozložených kolem nedokonalého kovářského svaru.



V břitu materiálu jsou zřetelné nedokonalé kovářské svary rozevřené prostupující korozi. Objevují se zde velmi drobné vměstky řazené v pásmu uvažovaného toku materiálu. Směrem k hřbetu začíná přibližně v oblastech II a III přibývat malých vměstků nitkovitého tvaru. V oblasti IV se vyskytují již v menší míře vměstky převážně nepravidelného tvaru a je zde i výrazný nedokonalý kovářský spoj. Přejít mezi oblastmi V a VI je také z části zvýrazněn podobným spojem, je zde i množství větších vměstků globulárního tvaru. V hřbetu čepelky jsou koncentrovány malé i středně velké vměstky nepravidelného tvaru a část zřejmě nedokonalého svaru. Nalézá se zde i prasklina prostupující od povrchu až do 1/3 tloušťky hřbetu.

V plošném výbrusu ostří byly obdobné struktury rozloženy přibližně dle nákresu.

Obr. P-16. ukazuje konstrukci ostří, obr. P-17 tok materiálu ve střední části šířky čepelky po zvýraznění rozložení fosforu naleptáním podle Oberhoffera.

Naměřené hodnoty tvrdosti v oblasti I - struktura feriticko-perlitická

222,1 197,7 247,0 160,0 253,0 286,8 337,4

Naměřené hodnoty tvrdosti v oblasti II - struktura přechodového perlitu a bainitu

333,0 329,1 335,7 328,5 331,6 361,6 410,0

Naměřené hodnoty tvrdosti v oblasti III - struktura bainitu

475,3 525,8 572,6 531,9 435,6 520,3 460,0 491,9

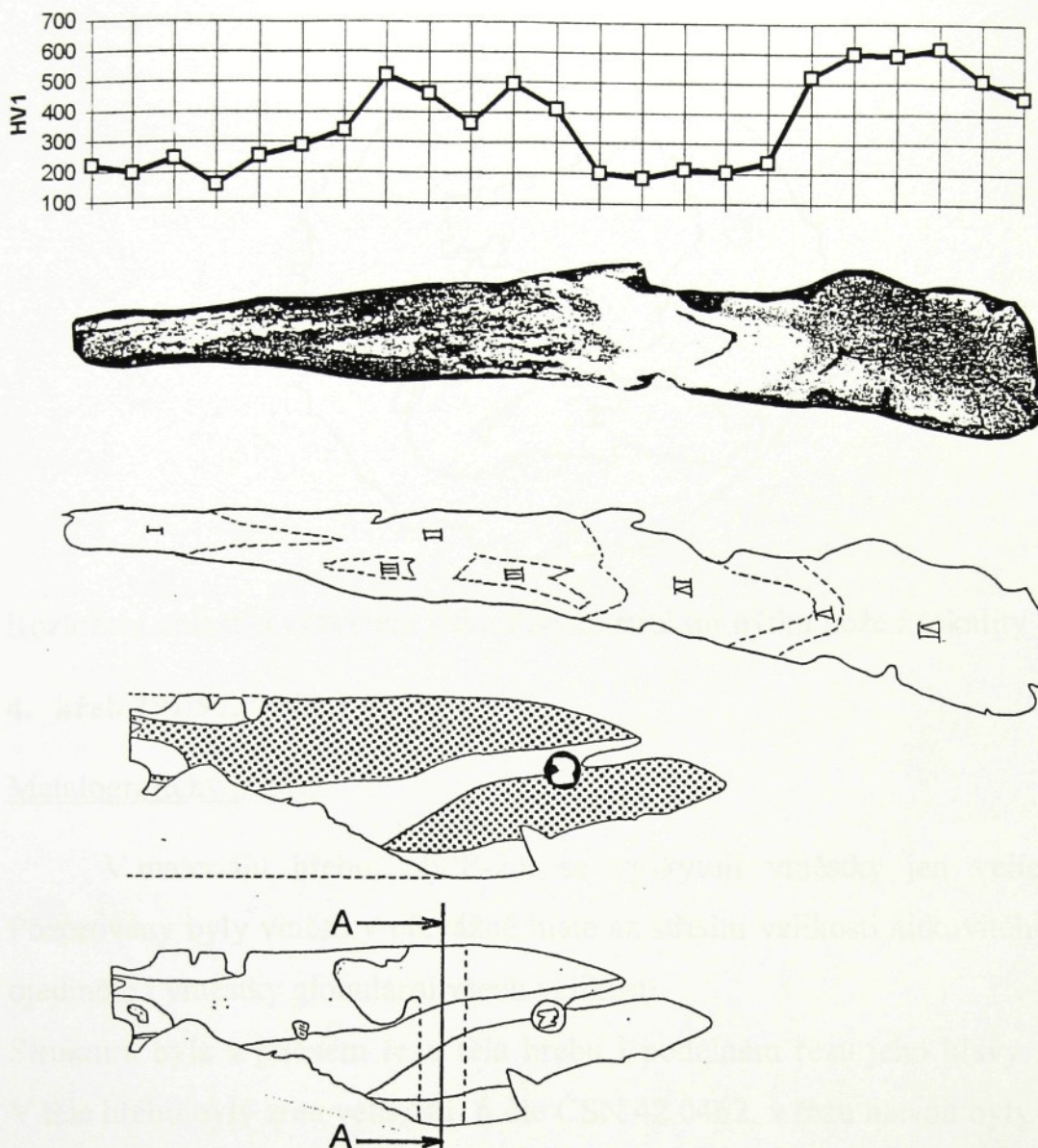
Naměřené hodnoty tvrdosti v oblasti IV - struktura feriticko-perlitická

222,4 200,0 194,4 203,5 298,0 199,4 186,0 213,5 204,8 237,6

Naměřené hodnoty tvrdosti v oblasti VI - struktura bainitická

533,7 580,7 688,2 504,0 617,3 521,7 600,2 593,5 617,9 510,3 454,2





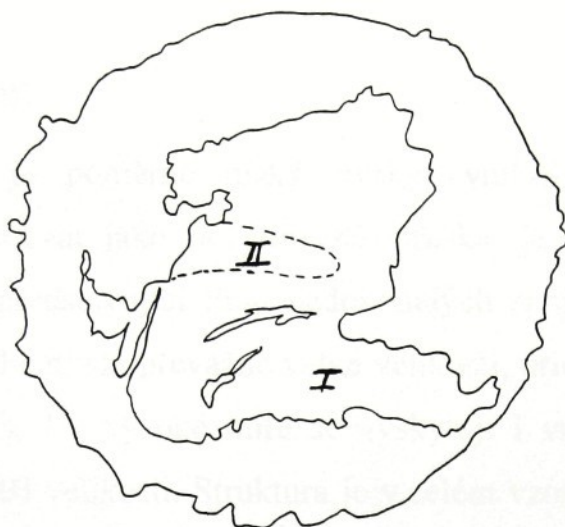
Rozložení oblastí s výskytem jednotlivých struktur nože z lokality Trosky s diagramem tvrdosti

### 3. nýtek nože 271/97

#### Metalografický popis:

V nýtku, obr.P-18, je velké množství většinou velkých globulárních, nebo malých nepravidelných vměstků, poměrně dobře zvýrazňující tok materiálu. Jsou zde zřetelná i místa nedokonalého kovářského svaření. Struktura je feriticko-perlitická, v oblasti I s obsahem uhlíku do 0,15% a převážně rovnoosými zrn, v oblasti II s obsahem vyšším, asi do 0,3%, a tvářecí texturou většiny zrn, obr. P-19.





Rozložení oblastí s výskytem jednotlivých struktur nýtku nože z lokality Trosky.

#### 4. hřeb 291/97, obr.P-3

##### Metalografický popis:

V materiálu hřebu, obr.P-20, se vyskytují vměstky jen velice málo. Pozorovány byly vměstky převážně malé až střední velikosti nitkovitého tvaru a ojediněle i vměstky globulární všech velikostí.

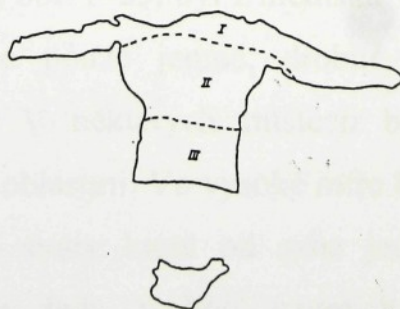
Struktura byla v příčném řezu těla hřebu i podélném řezu jeho hlavy feritická. V těle hřebu byly zrna velikosti 6 dle ČSN 42 0462, v řezu hlavou byly velikosti zrn přiřazeny jednotlivým oblastem; I-7,5 (obr.P-21); II-6,5; III-4,5 (obr.P-22) dle ČSN. Průměrná tvrdost feritu byla stanovena na  $127,4 \pm 9,8$  HV1.

##### Naměřená tvrdost

---

|       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 139,9 | 123,5 | 123,8 | 134,8 | 115,2 |
|-------|-------|-------|-------|-------|

---



Rozkreslená struktura oblasti vzorku hřebu z lokality Trosky.



## 5. želízko (majzlík) 291/97, obr.P-4

### Metalografický popis:

V materiálu je poměrně nízký výskyt vměstků které by se daly jednoznačně klasifikovat jako nevykovaná struska, je zde však velký počet inkluzí zcela jistě představující linie nedokonalých spojení kovářských svarů. Inkluze jsou v podobě nitek, převážně velké velikosti, orientovány v podélné ose předmětu, obr. P-23. Ve vysoké míře se vyskytují i vměstky nepravidelného tvaru, opět spíše větší velikosti. Struktura je v celém vzorku feritická, rovnoosá, jednotné velikosti zrn 4,5 dle ČSN 42 0462, obr P-24. Průměrná tvrdost  $95,6 \pm 6,9$  HV1.

### Naměřená tvrdost

---

|       |      |       |      |      |
|-------|------|-------|------|------|
| 103,0 | 91,0 | 100,1 | 97,8 | 86,2 |
|-------|------|-------|------|------|

## 3.2.2 LOKALITA DOLNÍ ŠTĚPANICE HRAD

Železné předměty datované do přelomu 14. a 15. století, pocházející z archeologických výzkumů z let 1995 - 1996 na hradu Dolní Štěpanice.

### 1. hřeb 284/95, obr.P-5

#### Metalografický popis:

Metalografické šetření bylo provedeno ve dvou rovinách řezu kolmých k ose hřebu, vzdálených 3 (I) a 6 (II) mm od jednoho z konců fragmentu.

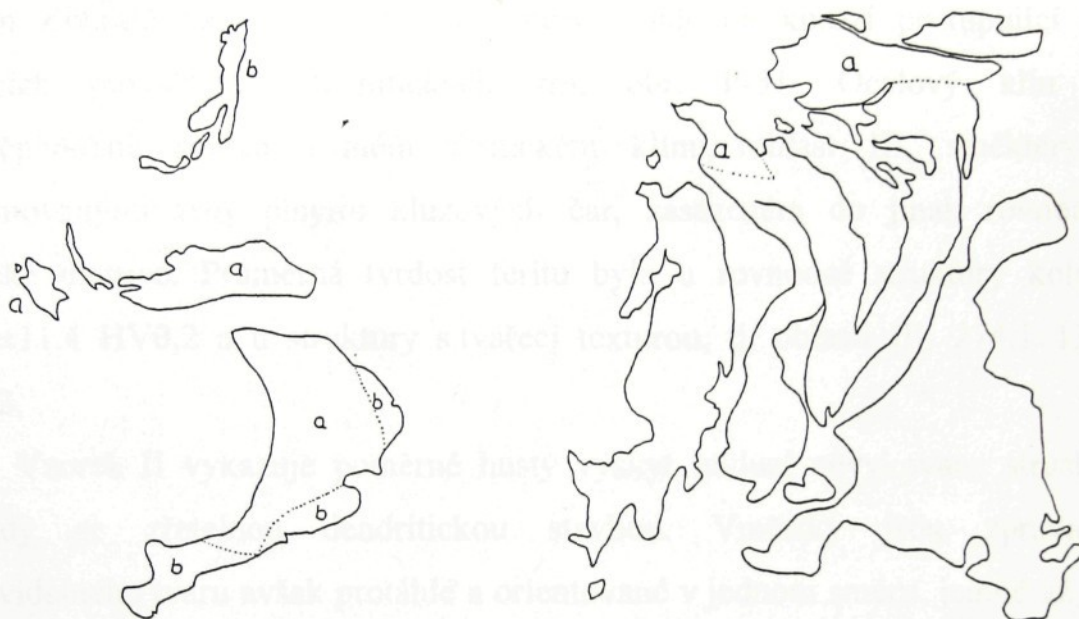
V obou řezech (I i II), obr. P-25, byl z hlediska vměstkovitosti materiál poměrně čistý, vyskytovaly se pouze jemné, drobné vměstky, seskupené převážně v krátkých řetízcích. V některých místech byla kovová matrice napadená celistvými korozními oblastmi. Ve vysoké míře byly pozorovány pravděpodobně nedokonalé kovářské svary které od sebe jednotlivé části polotovarů zcela separovaly. Struktura byla v obou vzorcích tvořena feritem s terciálním



cementitem, obr P-26, o průměrné tvrdosti  $140,6 \pm 16,9$  HV0,2, velikosti zrn 6 (I-a), 9 (I-b), 8 (II-a) až do 7-6 (II-...) dle ČSN 420462.

Naměřená tvrdost

142,8 150,7 158,5 117,5 122,2 151,9



Rozkreslená struktura oblasti hřebu z lokality Dolní Štěpanice.

## 2. závěs (skoba) 284/95, obr.P-6

### Metalografický popis:

Vzorek byl odebrán v hrotu předmětu, podélně s osou hrotu (I) a částečně i ve vzdálenosti cca 20mm kolmo k této ose (II).

Materiál vzorku I obsahuje zpravidla středně velké nitkovité inkluze, objevují se zde i vměstky drobnější nepravidelného tvaru často se zřetelnou dendritickou stavbou, obr.P-27. Inkluze se soustřeďují v linie, z nichž jedna navazuje na zkorodovaný kovářský spoj lokálně izolující část jednoho z 'plátů' polotovaru. Matrice vzorku je převážně feritická o velikosti zrn kolem 6 dle ČSN 420462. V celé délce vzorku probíhají dvě feriticko-perlitická až perliticko-feritická pásma převážně Widmännstattenovy struktury s kolísajícím obsahem



uhlíku zhruba mezi 0,25 až do přibližně 0,45 %, obr P-28 a 29. Jeden z pásů směrem k hrotu nakonec přechází až v pásmo s téměř eutektoidním složením. V těchto místech se nachází také ocelový vsazený klín perlitu (oblast I), obr.P-30, s průměrnou tvrdostí  $376,3 \pm 32,9$  HV<sub>0,2</sub>. Hrot klínu přechází v jemnější feritickou strukturu s perlitickými ostrůvky a posléze ve strukturu feritickou, obě oblasti mají velikost zrn 8 dle ČSN 420462. Vsazený perlitický klín svírá mezi jedním z okrajů vzorku oblast č.II s mezikrystalovou korozí postupující po hranicích původních austenitických zrn, obr. P-31. Ocelový klín je pravděpodobně sevřen v jiném feritickém klínu, oblast III, s některými deformovanými zrny plnými kluzových čar, zasazeném do jinak rovnoosé feritické matrice. Průměrná tvrdost feritu byla u rovnoosé struktury kolem  $145,2 \pm 11,4$  HV<sub>0,2</sub> a u struktury s tvářecí texturou, tj. oblasti III,  $274,1 \pm 13,0$  HV<sub>0,2</sub>.

Vzorek II vykazuje poměrně hustý výskyt inkluzí nevykované strusky, mnohdy se zřetelnou dendritickou stavbou. Vměstky jsou zpravidla nepravidelného tvaru avšak protáhlé a orientované v jednom směru, jemné až po střední velikost. Struktura je převážně feritická o vel. zrn 5 dle ČSN a tvrdosti  $173,8 \pm 8,5$  HV<sub>0,2</sub>. Objevují se i oblasti s vyšším obsahem uhlíku který zde kolísá mezi 0,5% až eutektoidním složením o průměrné tvrdosti  $275,7 \pm 19,0$  HV<sub>0,2</sub>. Při přechodu mezi strukturami f-p a feritickou se utvářela struktura Widmännstattenova. Tok materiálu ukazuje obr. P-32.

Naměřená tvrdost vsazeného klínu přechlazeného perlitu (oblast I) vzorku I.

414,2 405,2 360,1 367,6 334,8

Naměřená tvrdost u rovnoosé struktury feritu vzorku I.

128,0 139,2 152,2 153,4 154,1

Naměřená tvrdost u struktury feritus tvářecí texturou vzorku I.

278,2 279,6 252,1 274,4 287,1

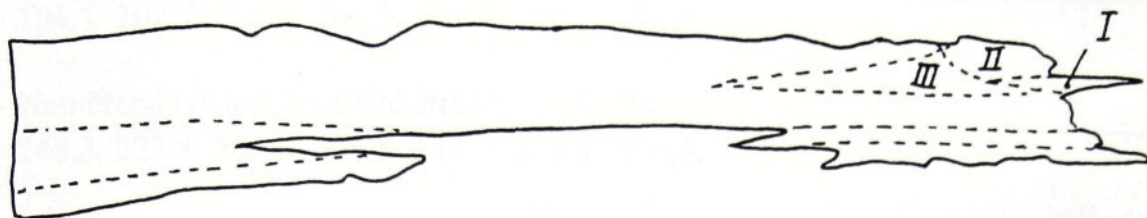
Naměřená tvrdost u rovnoosé struktury feritu vzorku II.

181,0 176,0 164,5 180,5 165,1

Naměřená tvrdost u rovnoosé struktury perlitu vzorku II.

263,3 297,5 266,3 296,0 258,0





Rozkreslená struktura oblastí závěsu z Dolních Štěpanic.

### 3. fragment plechu s nýty 248/95 - plech , obr.P-7

#### Metalografický popis:

Plech je zhotoven z materiálu vysoké čistoty. Pozorována je pouze linie kovářského spoje tvořená jemnými, zřetěženými, popř. táhlými nitkovitými inkluzemi, podle nichž lze usuzovat, že plech byl zplátován ze dvou vrstev, obr.P-33. Materiál plechu je tvořen pouze feritickou strukturou. Oblast okraje otvoru pro zasazení nýtku vykazuje výraznou tvářecí texturu zrn, popř. mírně deformovanými zrny o velikosti 5-7, a hrubozrnnou strukturou o vel. zrn až 3-4 dle ČSN 420462. Hrubá zrna se objevují zpravidla při povrchu některých oblastí plechu. V místě ohybu je struktura jemnozrnnější (5-7) s lokálně výrazně rozvinutou tvářecí texturou. Průměrná tvrdost feritu byla  $225,8 \pm 17,3$  HV<sub>0,2</sub>.

### fragment plechu s nýty 248/95 - nýtek

#### Metalografický popis:

korozní centra, např. na hranicích kovářských spojů, apod. Inkluze jsou poměrně hrubé, nepravidelného tvaru, obr. P-35. Celý nýtek je tvořen železem s feritickou strukturou. V oblasti 1 se nachází silná tvářecí textura, která přechází až do oblasti 2, jež však prošla podstatně nižším stupněm deformace, obr P-36. Mírné protažení zrn je patrné i v oblasti 3. V oblasti 4 je struktura rovnoosá s velikostí zrn 6-7 dle ČSN 420462 a průměrnou tvrdostí  $200,2 \pm 3,9$  HV<sub>0,2</sub>. Oblasti 6 vykazují silnou tvářecí texturu, oblast 7 pouze mírné protažení zrn. Směr tvářecí textury je pro každou ze zmiňovaných oblastí vyznačen v obrázku.



V celém matrici nýtku, obr. P-34, se objevují inkluze nevykované strusky.

Naměřená tvrdost feritické struktury nýtku

194,1 202,7 205,4 203,2 201,4 196,7 200,1

Naměřená tvrdost feritické struktury plechu

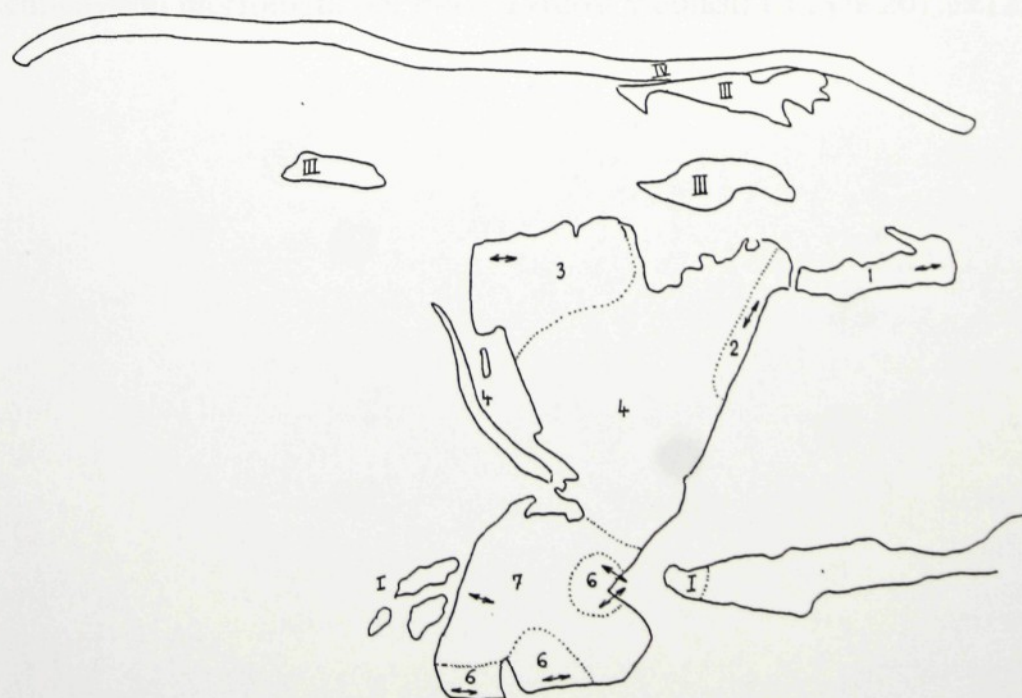
248,3 223,1 201,4 205,5 241,2 231,1 227,8

### zdobení nýtku

Zdobení nýtku, obr. P-37, bylo vyrobeno z mosazného plechu ve tvaru pětistého kvítku a k železnému nýtku bylo připájeno měkkou, cíno-olověnou pájkou s příměsí hliníku, obr P-38.

Tab. 3 chemická analýza zdobení nýtovaného plechu (EDX)

| Chemický prvek<br>[hm%]  | Cu   | Zn   | Fe  | Sn   | Pb   | Al  |
|--------------------------|------|------|-----|------|------|-----|
| materiál ozdoby - kvítku | 81,5 | 16,1 | 0,4 | 1,9  | 0,0  | 0,2 |
| materiál pájky           | 0,2  | 0,0  | 0,3 | 62,4 | 35,6 | 1,6 |



Rozložení oblastí s výskytem jednotlivých struktur fragmentu plechu I, nýtku II, pájky III a kvítku IV z Dolních Štěpanic.



#### 4. tesák, obr.P-8

##### Metalografický popis:

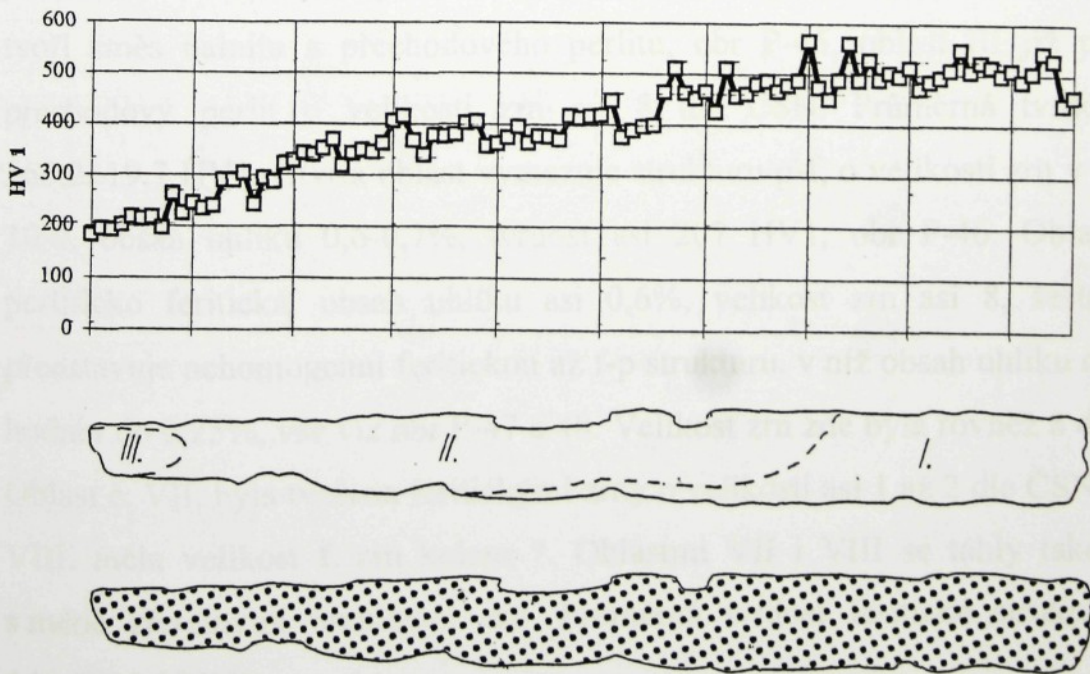
Materiál čepele je velice čistý. Mírné znečištění je pouze v oblasti hřbetu čepele, kde se vyskytují převážně velké či středně velké vměstky nepravidelného tvaru. Řetízky středních až velkých vměstků nitkovitého, nebo jen protáhlého, tvaru se objevují také v bocích čepele.

Zřetelná je prasklinka v blízkosti hřbetu o celkové délce 0,7mm, obr P-39. Struktura po naleptání nitalem je v hřbetu čepele tvořena středním či dolním bainitem (oblast I), obr P-40, průměrná tvrdost stanovena na  $493,7 \pm 32,8$  HV1. Ve střední části čepele, oblasti II, je struktura horního bainitu, s množstvím zrněk feritu i přechodového perlitu, obr P-41. Směrem k ostří struktura postupně ztrácí převahu bainitického charakteru a stále častěji se objevují zrnka feritu. Tento efekt je doprovázen i postupným snižováním tvrdosti, která se v průměru dosahovala  $348,5 \pm 56,0$  HV1. Do samotného břitů čepele zasahuje oblast III, která je tvořena již pouhou feriticko-perlitickou strukturou, velikosti zrn 10, v níž obsah uhlíku je min. 0,4%, často však stále ještě prostoupenou i většími zrny s jehlicovitou morfologií, obr P-42. Tvrdost v oblasti III byla  $201,3 \pm 12,5$  HV1.



tab. 4 tvrdosti

| Oblast I | Oblast II |       |       | Oblast III |       |
|----------|-----------|-------|-------|------------|-------|
| 182,3    | 261,7     | 360,6 | 417,3 | 464,1      | 500   |
| 193,2    | 212,0     | 405,5 | 446,3 | 510,1      | 520,0 |
| 192,3    | 245,2     | 413,6 | 374,2 | 462,7      | 496,3 |
| 201,2    | 234,4     | 366,4 | 387,9 | 451,6      | 534,0 |
| 216,2    | 239,7     | 338,2 | 395,2 | 465,0      | 468,0 |
| 212,1    | 288,4     | 377,4 | 398,4 | 425,6      | 484,6 |
| 216,2    | 288,8     | 373,5 |       | 509,8      | 493,6 |
| 197,1    | 302,0     | 378,1 |       | 456,1      | 507,9 |
|          | 242,3     | 400,7 |       | 460,5      | 547,3 |
|          | 292,5     | 404,1 |       | 480,2      | 505,4 |
|          | 286,0     | 355,9 |       | 484,6      | 521,9 |
|          | 320,9     | 360,4 |       | 472,0      | 513,9 |
|          | 325,6     | 372,8 |       | 476,6      | 497,1 |
|          | 341,1     | 393,7 |       | 486,4      | 508,2 |
|          | 338,2     | 362,1 |       | 563,6      | 486,2 |
|          | 349,9     | 374,9 |       | 473,1      | 534,0 |
|          | 366,9     | 374,0 |       | 450,5      | 542,9 |
|          | 317,3     | 368,6 |       | 487,2      | 527,6 |
|          | 340,7     | 415,6 |       | 559,4      | 440,8 |
|          | 346,9     | 411,9 |       | 487,6      | 456,4 |
|          | 343,9     | 415,9 |       | 527,8      |       |



Rozkreslená struktura oblasti vzorku tesáku ze Štěpanic s diagramem tvrdosti.



### 3.2.3 LOKALITA DOBROVICE

#### 1. těžká sekera 250/94 , obr.P-9

##### Metalografický popis:

Materiál železného základu čepele vzorku A je vměstky vysoce znečištěný, především v blízkosti své podélné osy, při okrajích pak již byl navařován materiál o čistotě podstatně vyšší. Střední, více znečištěná, osová část matrice je plna nekovových inkluzí prodloužených v ose předpokládaného toku materiálu, obr.P-43. Vměstky jsou v celé železné části především globulárního a nepravidelného tvaru, střední, častěji však velké velikosti. Materiál ocelového břitu je ve srovnání se železných základem čepele daleko čistší. Materiál má menší množství malých a středně velkých vměstků nitkovitého a především pak globulárního a nepravidelného tvaru, řazených převážně v řetězcích pravděpodobných kovářských svarů. Pouze dvě více jak 2mm dlouhé stopy po nedokonalém svaření se nacházejí v blízkosti samotného ostří. Čistota ocelového břitu byla ve srovnání s jinými předměty průměrná až podprůměrná. V oblasti I je struktura bainitická o průměrné tvrdosti  $433,5 \pm 17,3$  HV1, obr.P-44. Oblast II tvoří směs bainitu a přechodového perlitu, obr P-45, oblast III již převážně přechodový perlit o velikosti zrn asi 8 dle ČSN. Průměrná tvrdost byla  $365,2 \pm 19,7$  HV1. Čtvrtá oblast vymezuje strukturu p-f, o velikosti zrn v rozmezí 10-9, obsah uhlíku 0,6-0,7%, tvrdost asi 207 HV1, obr P-46. Oblast V je perliticko feritická, obsah uhlíku asi 0,6%, velikost zrn asi 8, šestá oblast představuje nehomogenní feritickou až f-p strukturu, v níž obsah uhlíku dosahuje hodnot do 0,25%, vše viz obr P-47 a 48. Velikost zrn zde byla rovněž 8 dle ČSN. Oblast č. VII, byla tvořena feritickými zrny o velikosti asi 1 až 2 dle ČSN. Oblast VIII. měla velikost f. zrn kolem 7. Oblastmi VII i VIII se táhly také pásma s méně zřetelnými hranicemi zrn. Průměrná tvrdost feritické struktury byla  $146,1 \pm 11,1$  HV1.



Materiál vzorku B je poměrně dosti znečištěný vměstky globulárního, nitkovitého i nepravidelného tvaru, zejména střední či větší velikosti. Nečistoty jsou v mnoha případech stopami po svařování železného základu čepele z jednotlivých částí. Nedokonalé svary zde dosahovaly délky až 1,5mm, většinou však do 0,5mm. Nejvíce byla znečištěna střední osová část vzorku. Struktura je feritická, v oblasti I o velikosti zrn 6, v oblasti II 1 dle ČSN. Oběma oblastmi se táhnou i pásma s méně zřetelnými hranicemi zrn. průměrná tvrdost feritu byla  $135,9 \pm 1,6$  HV1. Zajímavé jsou úzká feriticko perlitická pásma jdoucí společně s vměstky v jedné linii uvažovaného svaru, obr.P-49. Tok materiálu je více zvýrazněn po naleptání podle Oberhofferera, obr. P-50.

Ve vzorku C jsou nejvíce zřetelné nedokonalé kovářské svary, které se táhnou přes celou jeho šíři. Ostatní vměstky jsou přítomny v menším množství a tak matrice kovu působí dojemem menší vměstkovitosti než u vzorku B. Pozorovat lze především vměstky nepravidelného tvaru, střední a větší velikosti. Jde o materiál asi středně znečištěný. Struktura je feritická, v lokálních oblastech I o velikosti 7, ve zbytku matrice pak o vel. 1 dle ČSN. Průměrná tvrdost feritu zde byla  $146,9 \pm 8,7$  HV1.

Naměřené hodnoty tvrdosti bainitu u vzorku A

417,5 434,3 422,8 437,6 449,2 447,1 460,6 427,5 404,9

Tvrdost oblasti bainitu a přechodového perlitu ve vzorku A

378,9 345,1 391,1 350,9 377,5 347,5

Tvrdost feritické struktury ve vzorku A

148,0 146, 142,6 127,9 150,0 162,1

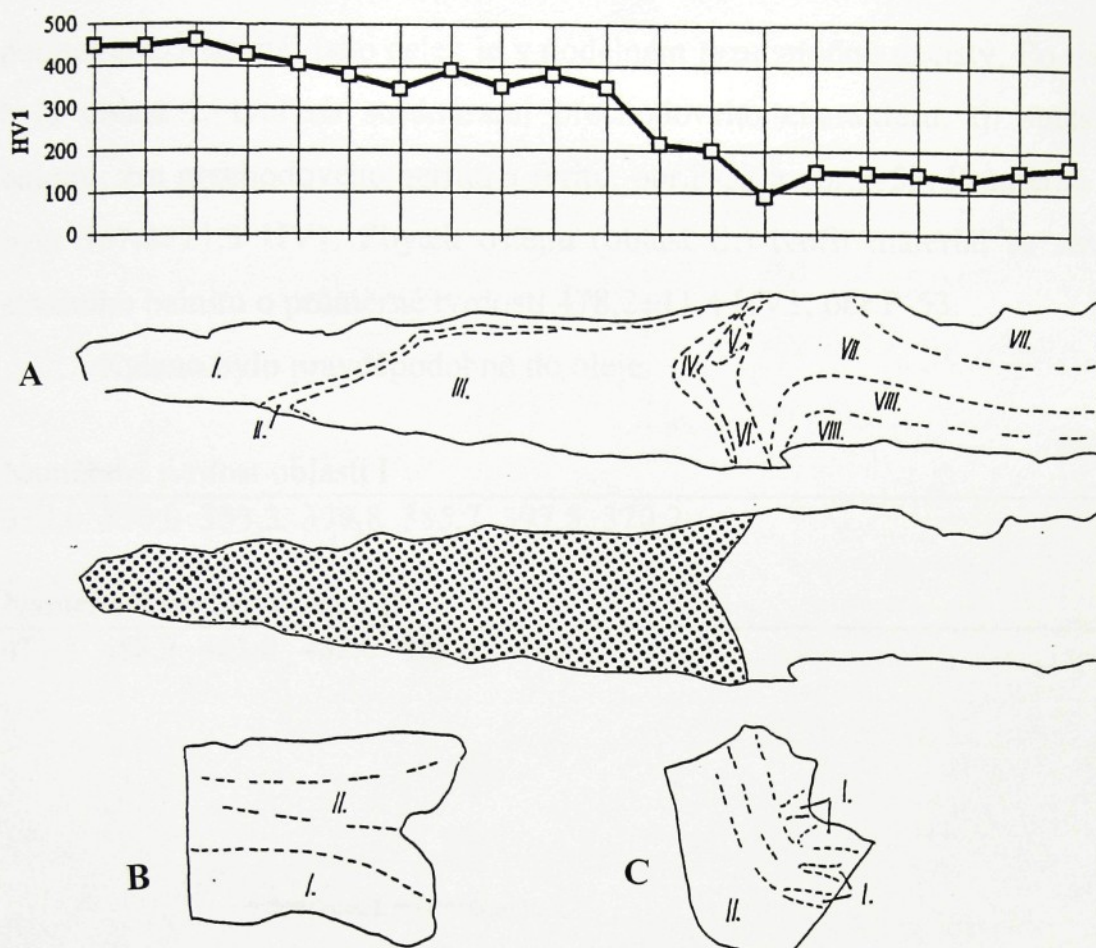
Tvrdost feritické struktury ve vzorku B

134,7 136,6 138,4 134,5 135,3

Tvrdost feritické struktury ve vzorku C

157,4 134,1 148,1 143,6 151,3





Rozkreslená struktura oblasti sekery z Dobrovic s diagramem tvrdosti.

### 3.2.4 LOKALITA VALEČOV

#### 1. hrot oštěpu 1381, obr.P-10

##### Metalografický popis

Materiál hrotu oštěpu je v příčném řezu středně nečistý. Vměstky jsou nepravidelného nebo i nitkovitého tvaru menší velikosti, list ostří byl pravděpodobně na plocho svařen ze dvou dílů, z nichž jeden měl vměstkovitost nižší oproti druhému polotovaru. V podélném řezu se objevují vměstky především nitkovitého a v menší míře i nepravidelného tvaru směrově orientovaných v předpokládaném toku materiálu během kovářských operací. Nitkovité vměstky jsou ve velikostech od malých po velké, především však velikosti střední, vměstky tvaru nepravidelného jsou spíše malé až střední velikosti, obr.P-51. Také zde je postřehnutelný rozdíl čistoty materiálů užitých



polotovarů. Materiál jako celek je v podélném řezu středně nečistý. Po naleptání byla oblast I. tvořena strukturami přechodového charakteru, tj. směsí horní bainitu, zrn přechodového perlitu a feritu, obr.P-52 a obr.P-53. Průměrná tvrdost byla  $367,9 \pm 21,3$  HV1. Zbytek oštěpu (oblast II.) tvořil materiál se strukturou středního bainitu o průměrné tvrdosti  $478,2 \pm 11,4$  HV1, obr P-53.

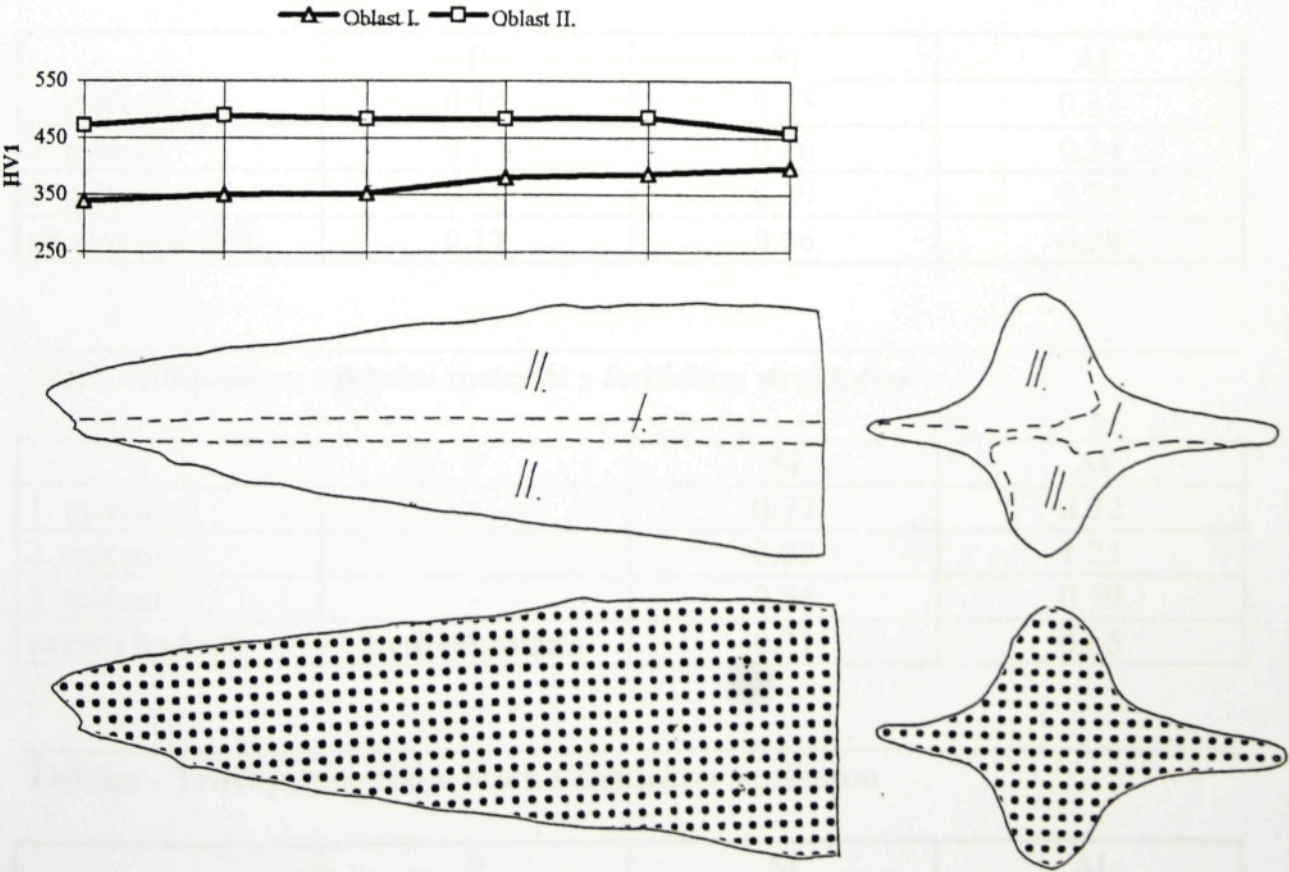
Kaleno bylo pravděpodobně do oleje.

Naměřená tvrdost oblasti I

339,0 350,0 353,2 379,8 385,7 397,5 370,2

Naměřená tvrdost oblasti II

471,4 488,9 483,0 482,6 485,0 458,3



Rozložení oblastí s výskytem jednotlivých struktur hrotu oštěpu z Valečova s diagramem tvrdosti.



### 3.2.5 CHEMICKÁ ANALÝZA

Výsledky chemické mikroanalýzy: Provedeno pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu JEOL 840A vybaveném energiově disperzním analyzátozem LINK 1000. Systémem korekcí chyb ZAF; plošná analýza při zvětšení 200×. **Tab. 5 až 9.**

**Tesák - Štěpanice;** materiál hřbetu čepele s bainitickou strukturou

|                 | <b>P</b>    | <b>Si</b>   | <b>Al</b>   |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|
| 1. měření       | 0.31        | 0.55        | 0.34        |
| 2. měření       | 0.19        | 0.37        | 0.07        |
| 3. měření       | 0.29        | 0.97        | 0.48        |
| střední hodnota | <b>0.26</b> | <b>0.63</b> | <b>0.30</b> |

**Závěs - Štěpanice;** materiál hrotu s feritickou strukturou

|                 | <b>P</b>    | <b>Si</b>   | <b>Al</b>   |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|
| 1. měření       | 0.11        | 0.33        | 0.37        |
| 2. měření       | 0.20        | 0.26        | 0.24        |
| 3. měření       | 0.19        | 0.20        | 0.24        |
| střední hodnota | <b>0.17</b> | <b>0.26</b> | <b>0.28</b> |

**Plech - Štěpanice;** základní materiál s feritickou strukturou

|                 | <b>P</b>            | <b>Si</b>   | <b>Al</b>   |
|-----------------|---------------------|-------------|-------------|
| 1. měření       | -                   | 0.77        | 0.72        |
| 2. měření       | -                   | 0.82        | 1.23        |
| 3. měření       | -                   | 0.54        | 0.59        |
| střední hodnota | <b>nedetekováno</b> | <b>0.71</b> | <b>0.85</b> |

**Želízko - Trosky;** materiál v hrotu s feritickou strukturou

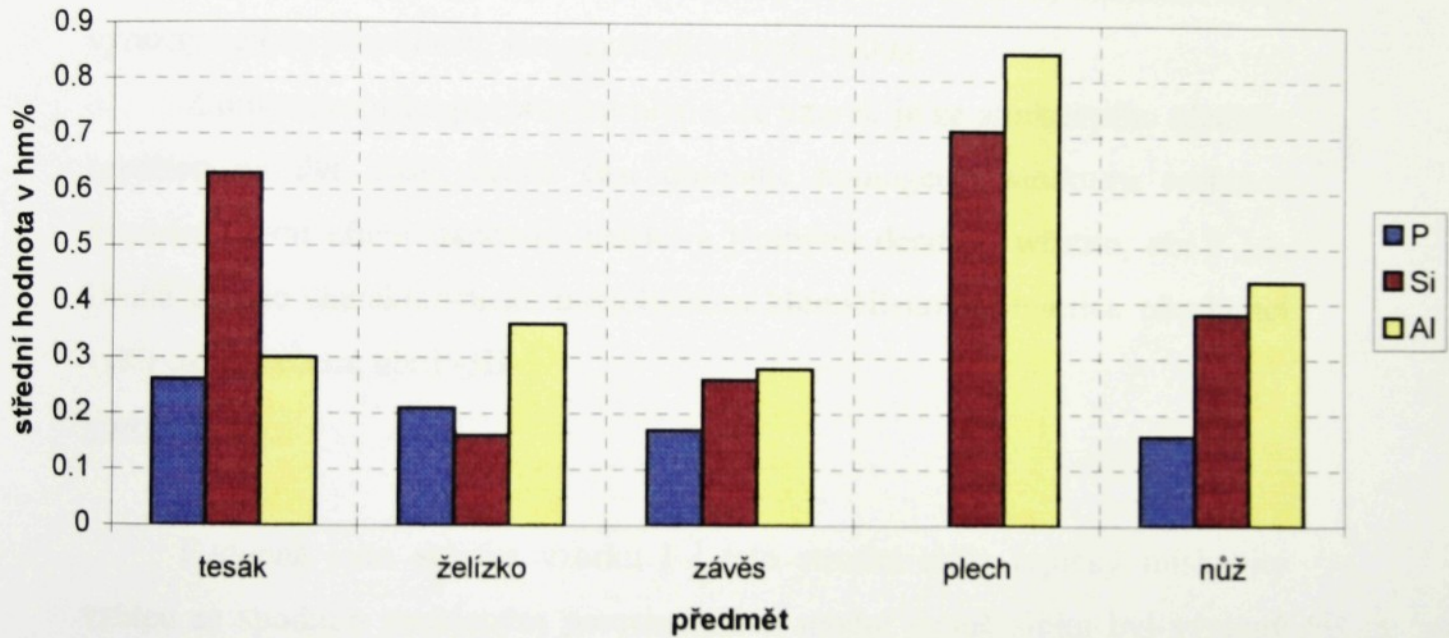
|                 | <b>P</b>    | <b>Si</b>   | <b>Al</b>   |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|
| 1. měření       | 0.21        | 0.18        | 0.42        |
| 2. měření       | 0.11        | 0.10        | 0.29        |
| 3. měření       | 0.31        | 0.19        | 0.36        |
| střední hodnota | <b>0.21</b> | <b>0.16</b> | <b>0.36</b> |



Nůž - Trosky; materiál v blízkosti ostří s bainitickou strukturou

|                 | P    | Si   | Al   |
|-----------------|------|------|------|
| 1. měření       | 0.23 | 0.40 | 0.48 |
| 2. měření       | 0.08 | 0.36 | 0.39 |
| střední hodnota | 0.16 | 0.38 | 0.44 |

graf znázornění chemických analýz některých předmětů:





### 3.3 ROZBORY ŽELEZÁŘSKÝCH STRUSEK

Analýzy vzorků strusek byly provedeny ve spolupráci s katedrou metalurgie železa a slévárenství, hutnické fakulty Technické univerzity v Košicích.

#### 3.3.1 LOKALITA TROSKY

##### vzorek I,

Struska vzorku I měla typický tvar kovářské misky s rozměry přibližně 13×12 cm. Struskovitý slitek měl z jedné strany výrazně natavený charakter a byl výrazný velkou pórovitostí. Hmotnost slitku byla 1000g.

Z mikroskopické pozorování plyne, že vzorek je ze strukturního hlediska rozdělen na dvě části. Jedna část obsahuje homogenní strukturu tvořenou dvousložkovou křemičitanovou maticí a jemnými dendrity wüstitu, obr.P-3A. Druhá část je charakteristická monolitickou křemičitanovou maticí, obsahující vyšší oxidy železa, obr.P-3B .

##### vzorek II

Podobně jako struska vzorku I i tato struska měla typický miskovitý vzhled se spodním zaobleným povrchem. Na spodní straně slitku byl výrazný výstupek, na horní povrch byl menším rozsahu natavený. Struska byla pórovitá a byla zbarvená rezivou až hnědou barvu na povrchu. Rozměry strusky byly 13×11 cm, hmotnost 770g.

Vzorek tvořil z velké části anorganický materiál jiného charakteru než struska, což je potvrzené i výsledky chemické analýzy. Jednalo se pravděpodobně o žáruvzdornou vyzdívku kovářské nístěje. Ve strusce přiléhající k žáruvzdornému materiálu byla zjištěná jen dvousložková křemičitanová matrice, ve které se nacházely i částice metalického železa, obr.P-4A. I v tomto případě je možné konstatovat, že se jedná o materiál, který se vytvořil na spodku kovářské nístěje.



vzorek III

Tvar této strusky byl jako v předchozích případech ve formě kovářské misky. Na horním povrchu byla méně natavená než předešlé vzorky, měla rezavé až šedé zbarvení. Rozměry 12×10,5 cm, hmotnost 980g.

V tomto vzorku byla zjištěná struktura nejrozmanitější. Převažovaly části se silikátovou strukturou, v nich byly zjištěny dvě morfologicky rozdílné struktury, jak je znázorněno na obr.P-4B. Dále byly zjištěny i části s vyšším a nižším podílem dendritů wüstitu. Všechny tyto části byly, jak je možné vidět na obr.P-5A, velmi zřetelně oddělené. Ve struktuře vzorku se nacházely i zbytky okují, obr.P-5B, a částice vyšších oxidů železa. Struktury jsou typické pro kovářskou strusku. Zřetelně oddělené struktury vznikly zřejmě v procesu formování celého struskového koláče v kovářské nístěji postupným ukládáním malých částic tekuté strusky.

vzorek IV

Jedná se o čtyři menší kousky tmavé skloviny, jeden kousek byl vybrán a použit pro chemickou analýzu.

tab.10

| Složka<br>[hm%] | SiO <sub>2</sub> | Fe    | CaO  | MgO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | FeO   |
|-----------------|------------------|-------|------|-------|--------------------------------|------|-------|
| Vzorek I        | 41,50            | 40,77 | 1,68 | 3,60  | 0,20                           | 0,12 | 45,98 |
| Vzorek II       | 79,44            | 13,40 | 3,36 | -     | 1,63                           | 0,16 | -     |
| Vzorek III      | 53,74            | 31,83 | 1,68 | 2,40  | 0,81                           | 0,12 | -     |
| Vzorek IV       | 43,48            | 8,93  | 0,56 | 25,20 | 2,85                           | 0,20 | 8,37  |

U vzorku II a III , vzhledem k jejich rozpustnosti v kyselině chlorovodíkové, když bylo nutné použít tavení na uvedení vzorků do roztoku, nebyl obsah FeO stanoven.



3.3.2 LOKALITA DOLNÍ ŠTĚPANICE

vzorek I

Vzorek I byl odebrán z lehčího kusu strusky na povrchu rezavě až světležlutě zbarvené a charakteristické velkými póry. Rozměry tohoto kusu strusky byly 9×7 cm, hmotnost 207g.

Mikroskopická analýza vzorku odhalila výlučně křemičitanovou strukturu, tj. struktura byla tvořena jen křemičitanovými složkami na bázi železnatých křemičitanů, resp. železovápenatých olivínů, obr.P-7A. Typický byl pro tuto strusku i častý výskyt korozních zplodin zachycených ve strusce, představujících zbytky koroze malých částech železa, obr.P-7B.

vzorek II

Tento vzorek byl odebrán z většího kusu členité, pórovité strusky, na povrchu zbarvené rezavě až světlešedě. Rozměry strusky byly 15×7 cm, hmotnost 1270g.

Vzorek strusky byl tvořen kousky metalického železa, obklopených korozními zplodinami na jejich povrchu.

Mezi nimi se nacházela v menším množství i struska tvořená jednou anebo dvěma křemičitanovými složkami, obr.P-8A,B.

Tab. 11

| Složka<br>[hm%] | SiO <sub>2</sub> | Fe    | CaO  | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | FeO   |
|-----------------|------------------|-------|------|------|--------------------------------|------|-------|
| Vzorek I        | 23,58            | 45,20 | 6,16 | 0,40 | 2,20                           | 0,13 | 18,11 |
| Vzorek II       | 5,90             | 37,43 | 2,24 | -    | 1,83                           | 0,06 | -     |

Z tabulky je zřejmé, že u vzorku II chybí analýza hlavní složky. Z makroskopických analýz plyne, že se jedná o kovové železo, jehož část zůstala při daných podmínkách rozpouštění vzorku v HCl nerozpuštěná, proto nebyl obsah FeO stanoven.



## 4. DISKUSE

### *Analyzované předměty z lokality Dolní Štěpanice*

#### **hřeb**

Předmět byl vyroben z měkkých feritických pásků, pravděpodobně nedokonale kovářsky svařených. Jeho tělo je totiž dnes zcela nekompaktní. Jestli je předmět skutečně hřeb, práce kováře mohla být dosti nepečlivá. Použitý materiál s nezpevněnou feritickou strukturou by k natlučení hřebu daného průřezu, do tvrdého dřeva zřejmě nevyhovoval. Vyplývá to z odhadnuté pevnosti a měřeného a uvažovaného max. průměru. Jeho dnešní průřez je  $1,32 \text{ mm}^2$  (což odpovídá průměru 1,3mm). Max průřez, který jsme schopni uvažovat mohl být asi  $4,75 \text{ mm}^2$  (tj. průřez 2,46mm). [14]. Možná že se jedná o nedokončený polotovar hřebu či jiného předmětu, u něhož k výraznému rozevření kovářských svarů přispěla selektivní koroze.

#### **skoba**

Materiál tohoto předmětu se v oblasti hrotu vyznačoval značnou tvrdostí feritické i perlitické struktury. Přestože tedy nebylo užito přímo kalení navařeného či nauhličeného břitů, pevnost a tvrdost hrotu nejspíše vyhovovala.

#### **tesák**

Čepel tesáku byla celoodcelová, tj. nebylo využito navaření pouze ocelového břitů. Vezmeme-li průměrnou tvrdost v bezprostřední blízkosti ostří a na hřbetu čepele (tu představuje prvních asi osm měření), pak zjistíme, že ostří má průměrnou tvrdost pouhých asi 200 HV1, zatímco v hřbetu tvrdost dosahuje až 500 HV1. Tento rozpor v neprospěch ostří je překvapivý. Je pravděpodobné, že čepel byla vykována z jednoho kusu. Snad bylo užito nehomogenního materiálu, nebo došlo k oduhličení části polotovaru, z něhož byla čepel tesáku vykována. Předmět se užitnými vlastnostmi řadí k výrobkům průměrné kvality.



### **nýtek a plech 248/95**

U nýtku i plechu mělo použité feritické železo značnou tvrdost a domníváme se, že lepší zpracovatelnost by měly nýtky s tvrdostí nižší. Je zřejmé, že nýtek byl do plechu zasazen a roztemován za studena a žádné následné operace tepelného zpracování nebyly provedeny. Na inkluze prostý materiál plechu s jediným svarovým švem monotónně jdoucím v celé délce řezu zavdává k domněnce, zda plech nebyl vyroben v některé specializující se kovářské dílně či dokonce v některém ze specializovaných hamrů s produkcí určenou pro širší odbyt. Takové hamry, specializující se na výrobu plechu, však u nás byly poměrně dosti vzácné a specializovaní kováři na výrobu plechu byli především ve městech [10]. Plech samotný by tedy zřejmě musel být do Štěpanic importován. Takovouto hypotézu totiž nepřímou podporuje i fakt, že na základě variační analýzy tvrdostí rovnoosých feritických struktur nelze vyloučit systematicky vyšší hodnoty tvrdosti feritu plechu a nýtku oproti zbylým zkoumaným štěpanickým předmětům, což do jisté míry vypovídá o odlišnosti použitého železa.

**Na základě** metalografických rozborů lze dále potvrdit, že předměty byly vyrobeny z materiálů produkovaných hamry. U některých předmětů to potvrzují např. oblasti s převažujícími výskyty nevykované pecní strusky v kombinaci s menším počtem stop svařování materiálu, což je pro polotovary hamrů, i výrobků z nich vykovaných, typické. [22] Prokázat užití šrotového materiálu při výrobě analyzovaných předmětů nelze, přestože to předpokládáme.

### **Pájka**

Štěpanická pájka byla pájkou na bázi cínu a olova. Poměr obou kovů byl zvolen vhodně, neboť složení pájky je blízké složení eutektickému. Výsledná teplota takové pájky by pravděpodobně nepřekročila teplotu tání 190°C. Velmi nepříznivě však štěpanickou pájku ovlivňují příměsy. Konkrétně se jedná o 1,6%Al, 0,3%Fe a 0,2%Cu. Nejškodlivějším prvkem je hliník, který by se



v pájkách vyskytovat prakticky vůbec neměl. Obsah železa či mědi je v moderních pájkách přípustný do 0,05%. [15][16][17]. Nelze vyloučit výrobu takové pájky přímo na Štěpanicích. Technické zázemí by hospodářský dvůr hradu pravděpodobně měl. K pájení neželezných kovů se již od starých dob používaly pájky měkké i tvrdé a lze zde zmínit např. pájky na bázi Pb-Sn které používali již staří Římané k pájení stříbrných předmětů či olověných trubek [18].

### Kvítek

Ozdoba (kvítek) byla vyrobena z mosazného plíšku. Chemickým složením by materiál odpovídal dnešní Ms 85. Taková mosaz dobře odolává korozi, velmi dobře se pájí měkkou pájkou a dnes se používá např. v bižuterii. [14][19].

### Analyzované předměty z lokality Trosky

Zkoumané předměty byly vyrobeny vesměs z nenauhličeného feritického železa, které mělo v průměru relativně nízkou tvrdost.

### hřebu 291/97

Užití takového materiálu je u hřebu celkem běžné, i když jeho použití se omezovalo pouze na méně náročné aplikace. Vyplývá to z přepočtu odhadnuté pevnosti, vztažené na průřez hřebu. Uvažován byl skutečný změřený průřez  $2,97\text{mm}^2$  (to odpovídá průměru 2mm), i předpokládaný maximální  $6,64\text{mm}^2$  (to odpovídá průměru 2,9mm). V úvahu tedy byla vzata možnost odkorodování části materiálu. Srovnání bylo provedeno podle [14]

### Šipka s tulejkou 26/96

Šipky s tulejkou se vyráběly z feritických ocelí velmi často. Lze říci, že taková šipka byla nebezpečná zejména pro nebrněnou živou sílu. Mohla však způsobit smrtelné zranění i nepříteli chráněného kroužkovou zbrojí. Plátové brnění již nedokázala prorazit ani šipka s navařeným ocelovým hrotem. [18].

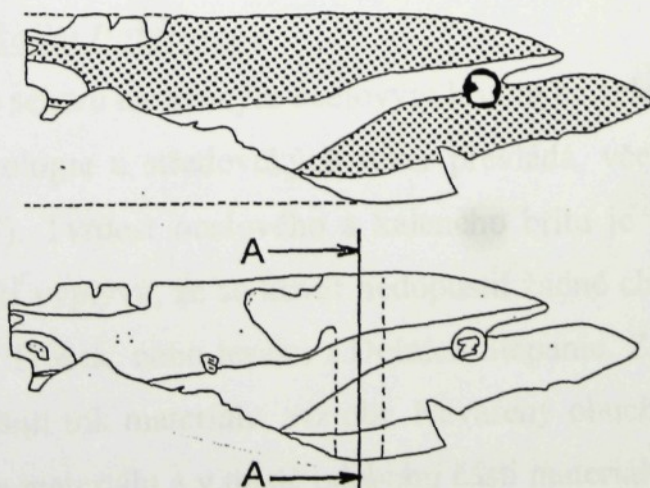


### hrot želízka (majzlíku) 291/97

V hrotu želízka bychom očekávali strukturu tvrdší a pevnější. Absence tvářecí textury může být způsobena tím, že předmět nebyl nikdy jako majzlík použit, nebo prošel rekrytalizačním ohřevem, například při požáru hradu.

### Nůž 271/97

Nůž představuje asi nejzajímavější zkoumaný předmět. Není zcela zřejmé, zda se jedná o více a méně nauhličeným materiálem vzorovanou čepel, či zda měla být čepel celooceľová a zakalená, bez zřetelného vzoru. Kdyby šlo o první případ, tj. jde zde skutečně o jednoduchý vzor, pak méně nauhličený materiál byl zvolen nepříliš vhodně, neboť lepšího vizuálního kontrastu by se dosáhlo užitím pouze feritického železa. Navíc zakomponování užitého méně nauhličeného materiálu, přestože dosahoval 0,3-0,4% C, v samotné linii ostří bylo zvoleno také nevhodně, a to vzhledem k průběhu následného tepelného zpracování. Pokud měla být čepel celooceľová, a zakalená (nebo alespoň partie ostří), mělo dojít k ohřevu na vyšší kalící teploty, nebo být použito materiálů s přibližně stejně vysokými obsahy uhlíku. Ať už však byl původní úmysl výrobce tohoto nože jakýkoli, nůž má pěkný byť jednoduchý vzor a tvrdost v ostří, která dosahovala 270 HV1, by zhruba odpovídala užití perlitické nekalené oceli. Jde o nůž asi průměrné kvality



Rozložení oblastí s výskytem jednotlivých struktur nože z Trosek – vyniknutí světlých a tmavých odstínů čepel.



Z výsledků analýz vyplývá i následující zjištění. U předmětů nalezených na Troskách nebylo obecně potvrzeno užití jednoduchých kovářských technik vyplývajících ze zavedení hromadné sériové výroby v kovářských dílnách, nakupující železné polotovary v hamrech a vyrábějící železné předměty na trh. Kromě hrotu šípky s tulejkou a hřebu jsou zbylé analyzované předměty ručně kované a muselo být u nich oproti sériové produkci užito vyššího počtu kovářských operací. Nelze tak vyloučit výrobu těchto předmětů přímo v trosecké dílně, neboť daná zjištění jsou v souladu s předpokladem, že hradní kovárna se zabývala pouze malovýrobou či drobnými opravami. U předmětů z trosek nelze metalograficky prokázat využívání šrotu, přestože např. u nože to vyloučit nemůžeme. Užití šrotu při jeho výrobě by bylo i jedním z možných vysvětlení konstrukce jeho čepele.

#### **Hrot oštěpu, lokalita Valečov**

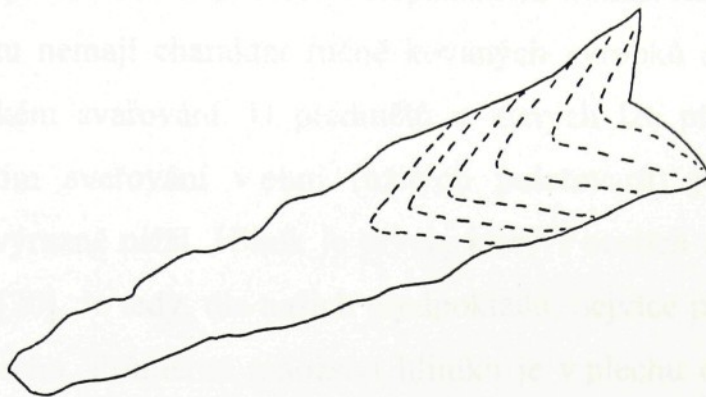
Hrot oštěpu byl vyroben z oceli a posléze zakalen. Musel tedy být kvalitní zbraní. Z uspořádání nekovových vměstků a rozložení struktury lze usuzovat, že hrot oštěpu byl podélně svařen ze dvou částí s následným vykováním postranních listů a mohutného středového žebra. Vzhledem k přítomným strukturám bainitického typu nelze vyloučit zakalení oštěpu do oleje, nebo vroucí vody apod.

#### **Těžká sekera, lokalita Dobrovice**

Jedná se o sekeru navařeným ocelovým břitem na železný základ. Ukazuje se, že tato technologie u středověkých seker převládá, včetně užitého způsobu navaření (tvar V). Tvrdost ocelového a kaleného břitu je dostatečně vysoká a z průběhu tvrdosti vyplývá, že se kovář nedopustil žádné chyby, jako tomu bylo v případě nože z Trosek, nebo tesáku z Dolních Štěpanic. Z vměstkovitosti břitu lze částečně nastínit tok materiálu, viz obr. Navařený obuch sekery byl vyroben pouze z měkkého materiálu a v místě odebrání části materiálu pro metalografický vzorek nebyl zasažen žádnou deformací. Všechny železné části byly kovány z několika menších kusů. Poukazují na to dobře pásma s rozdílnými velikostmi



zrn a jiným charakterem vměstkovitosti, mnohdy oddělené zřetelnými liniemi kovářských svarů. Zajímavý je v této souvislosti šev jednoho svaru, v němž se utvoří úzký pás feritu s ostrůvky perlitu po hranicích zrn. Dodejme že sekera byla výrobkem výborné kvality.



Předpokládaný tok materiálu; podle rozložení fosforu a podle uspořádání inkluzí.

### **Chemická analýza**

Výsledky chemické analýzy ukazují, že u všech analyzovaných předmětů byly detekovány fosfor, křemík a hliník. Fosfor se dostával do kovu z použitých rud. Zvláště tzv. bahenní rudy byly na fosfor velice bohaté. Pokusit se o hledání nalezišť použitých rud však naráží mnoho problémů. Různá ložiska rud si mohla být svým chemickým složením podobná, a navíc množství fosforu je závislé i na způsobu vedení tavby. V analyzovaných předmětech z Trosek a Štěpanic množství fosforu nepřesahuje 0,3% a jedná se tedy o materiály se spíše nižším množstvím tohoto prvku. Velmi zajímavé jsou však výsledky analýzy u plechu ze Štěpanic. Feritická struktura tohoto plechu byla ve srovnání s jinými předměty velice tvrdá. Předpoklady o vlivu fosforu na tvrdost tohoto materiálu se tímto nepotvrdily. Na druhé straně, naprostá absence fosforu je zajímavá a může sama o sobě ukazovat na výrobu užitého svárkového kovu z rud na fosfor spíše chudých. Křemík je ve svárkových kovech většinou vázán ve vměstcích, buď ve



fayalitu, nebo v oxidu křemičitém. Je zajímavé, že nejvyšší obsah křemíku byl zjištěn u plechu ze Štěpanic, který měl vměstkovitost poměrně dosti nízkou. Křemík zvyšuje pevnost feritu a přispěl tak k zjištěné tvrdosti plechu, byť nelze vyloučit, že mohly být sondou zachyceny i velmi jemné vměstky s vysokým obsahem tohoto prvku. Totéž lze říci i o štěpanickém tesáku. Zajímavé také je to, že tyto předměty nemají charakter ručně kovaných výrobků s vyšším podílem stop po kovářském svařování. U předmětů u kterých lze předpokládat ruční vykování s užitím svařování v ohni (užitých polotovarů) je podíl křemíku v matici kovu výrazně nižší. Hliník je prvek, který v ocelích způsobuje značné zpevnění feritu [20]. Je tedy, dle našich předpokladů, nejvíce přítomen v matici štěpanického plechu. Průměrné množství hliníku je v plechu dokonce více než dvakrát vyšší než u zbylých předmětů. I tento fakt může do určité míry poukazovat na jiný zdroj surovin užitých k výrobě materiálu, z něhož byl plech vyroben.

### Strusky

Z chemických a mikroskopických rozborů vyplývá, že analyzované strusky z hradu Trosky jsou, kromě vzorku IV, zbytky z kovářské výroby železných předmětů, přestože např. ve vzorku I chybějí některé atributy kovářských strusek, jako jsou okuje, křemenný písek, či korozní zplodiny. Hlavní podíl strusek se vytvořil reakcí okují na povrchu zpracovávaných polotovarů a předmětů s křemenným pískem, kdy vznikal křemičitan železnatý s nízkým bodem tání. Ve struktuře strusek však nebyly zjištěny zbytky žádného křemičitého písku. To je zajímavé, neboť přítomnost takových zbytků písku je např. pro kovářské strusky z území Slovenska typická. Nebyly však zjištěny ani u strusek z Dolních Štěpanic.

U štěpanických strusek z výsledku rozboru vyplývá, že u vzorku strusky I nelze přesně určit původ. Převažující křemičitanová struktura a větší množství korozních zplodin jsou typické pro kovářskou strusku, tvar analyzované strusky



však tomu zcela nenasvědčuje. Struska by mohla být i zbytkem z velmi účinného procesu tavení v redukční šachtové píce, kde struska byla tekutá a odpichovala se. Analyzovaná struska ale není zbytkem odpíchnuté tekuté strusky. Je tedy třeba akceptovat názor, že vzorek I ale i II představují strusky z kovářského procesu výroby železných předmětů. Ve struskách nebyly metalograficky objeveny žádné stopy po zpracování jiných kovů v předpokládaném objektu výhně, jako tomu bylo např. na hradě Čičva (Slovensko), kde byla objevena metalurgická dílna datovaná od 15./16.stol do př. stol 16./17. zpracovávající měď [21].

#### *Struska – hradiště*

a. U předložené strusky nebylo obecně připraveno určení metalografických parametrů, jako například zjištění chemického složení, případně zjištění vlivů na vlastnosti materiálu.

b. Trosečné předměty byly vyrobeny z kvalitního železa, které bylo zpracováno v redukční šachtové pici. To odpovídá kvalitě železa, které bylo použito v trosečném železe.

c. U předložené strusky nebyly metalograficky prokázány žádné stopy po zpracování jiných kovů v předpokládaném objektu výhně, jako tomu bylo např. na hradě Čičva (Slovensko), kde byla objevena metalurgická dílna datovaná od 15./16.stol do př. stol 16./17. zpracovávající měď.

d. U trosečného železa bylo na základě metalografických a chemických analýz potvrzeno, že jsou zbytkem z kovářského procesu.

#### *Dělní Štěpanice – hradiště*

a. Na základě metalografických parametrů lze předpokládat, že předměty byly vyrobeny z metalurgického železa. U některých předmětů to potvrzují např. stopy po zpracování v redukční šachtové pici, které jsou v kombinaci s jinými parametry, jako například s obsahem železa, což je pro polotovary železa.



## 5. ZÁVĚR

Tato práce předkládá následující závěry, vyvozené z metalografických a chemických analýz železářských strusek a železných předmětů datovaných do přelomu 14. a 15. stol., pocházejících z lokalit Trosky a Dolní Štěpanice, a poznámky k výsledku analýz dvou předmětů pocházejících z lokalit Valečov a Dobrovice

### *Trosky – hrad*

- U předmětů nalezených na Troskách nebylo obecně potvrzeno užití jednoduchých kovářských technik vyplývajících ze zavedení hromadné sériové výroby v kovářských dílnách.
- Trosecké předměty byly vyrobeny s dostatečným zajištěním jejich správné funkce. To neplatí o fragmentu nože u něhož se patrně se jedná o ukázkou špatně zvolených kalících teplot, či užití nevhodného materiálu v oblasti ostří.
- U předmětů z trosek nelze metalograficky prokázat využívání šrotu, přestože např. u nože to vyloučit nemůžeme. Užití šrotu při jeho výrobě by bylo i jedním z možných vysvětlení konstrukce jeho čepele.
- U troseckých strusek bylo na základě mikroskopických a chemických analýz potvrzeno, že jsou <sup>to</sup> zbytkami z kovářské činnosti.

### *Dolní Štěpanice – hrad*

- Na základě metalografických rozborů lze předpokládat, že předměty byly vyrobeny z materiálů produkovaných hamry. U některých předmětů to potvrzují např. oblasti s převažujícími výskyty nevykované pecní strusky v kombinaci s menším počtem stop svařování materiálu, což je pro polotovary hamrů, i výrobků z nich vykovaných, typické.



- Metalograficky prokázat užití šrotového materiálu při výrobě analyzovaných předmětů nelze, přestože to předpokládáme.
- Materiál plechu a nýtku měl oproti ostatním štěpanickým předmětům velmi vysokou tvrdost. Chemické složení by mohlo být od ostatních zkoumaných předmětů rozdílné také. Je tedy možné, že se jedná o materiál jiné provenience a plech s nýtkem mohly být do Štěpanic importovány.
- Mosazného zdobení, tvarované do pětilistého květu, bylo vyrobeno z vhodného materiálu, neboť poměr mědi a zinku odpovídá typu mosazí užívaných v bižuterii, vhodných k měkkému pájení a dobře odolávající korozi
- Měkká cínoolověná pájka měla vhodně zvolený poměr Sn ku Pb, měla však velmi vysoký obsah škodlivých příměsí, které jistě velmi zhoršovaly její technologické vlastnosti.
- Zkoumané železné předměty nalezené na Štěpanicích byly vyrobeny s dostatkem řemeslné zručnosti. Mezi méně povedené výrobky patří hřeb a tesák.
- Strusky podrobené mikroskopické a chemické analýze jsou zbytkami kovářské činnosti. Na základě provedených analýz však nelze rozhodnout, zda byly některé produkty hutnické dílny, objevené v baště dolního hradu, zpracovávány v objektu kovářské výhně, kterou lze na Štěpanicích předpokládat.

### *Valečov*

- Jediný zkoumaný předmět z lokality Valečov byl hrot oštěpu, který byl vyroben z oceli a posléze zakalen. Jedná se o kvalitní zbraň.

### *Dobrovice*

- Analyzována byla pouze těžká sekera, u níž bylo potvrzeno navaření a kalení ocelového břitů. Tato sekera byla výrobkem výborné kvality.



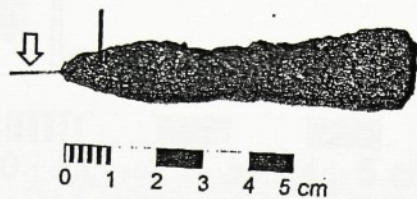
## Seznam použité literatury:

- [1] PLEINER, R.- BENKOVÁ, I.- HOŠEK, J.- VODIČKA, P. – PROSTŘEDNÍK, J.: Zápis z pracovní schůzky, Turnov 1. 8. 1998, OMČR Turnov
- [2] PROSTŘEDNÍK, J.: Archeologické výzkumy Okresního muzea Českého ráje v letech 1996 a 1997. Zpravodaj MVČ v Hradci Králové 24 (v tisku), Hradec Králové 1998
- [3] PLEINER, R.: Staré evropské kovářství, Praze 1962, ČSAV
- [4] QUADRAT O.: Základy metalurgie železa, Praha 1953, str. 255
- [5] VLADIMÍR VOKÁL, Technologie I, Státní zemědělské nakladatelství Praha 1976
- [6] KORECKÝ, J.: Kalení oceli, Praha 1951, Práce
- [7] UMLAUFOVÁ, J.: Metalografický rozbor archeologického nálezu slitin železa [Bakalářský projekt], Liberec 1997, TU v Liberci FS KMT
- [8] MIHOK, Ľ.- LA SALVIA, V.- ROTH, P.: Research of Medieval Smithy Slags, In: Metallography '98, Stará Lesná 1998, 475-477
- [9] STRÁNSKÝ, K.: Železné hutě a hamry na Moravském Horácku od nejstarších dob do konce 19.stol., Zprávy Vědecké společnosti pro nauku o kovech, 1, 1996, 4-6
- [10] PLEINER, R.- KOŘAN, M. - KUČERA, M. - VOZÁN, J.: Dějiny hutnictví železa v Československu I., Praha 1984, ČSAV Akadémia
- [11] KOŘAN, J.: Kapitoly z dějin hutnictví barevných a drahých kovů, In: Z dějin hutnictví 12, Praha 1984, NTM, 62-73
- [12] MALÝ, J.- SAMEK, N.- PILÁRIK, S.: Strojírenské materiály II. díl, Neželezné kovy, Bratislava, SVTL 1965
- [13] HRBEK, A.: Některé metalurgické aspekty počátku výroby kovů, 1975- koncept referátu, zapůjčil Dr. J. Merta z T.M. v Brně
- [14] DRASTÍK, F.- BENEŠ, A.- PRŮCHA, J.- NOVÁK, L.: Atlas použití kovů ve strojírenství, elektrotechnice a v chemickém průmyslu, Praha 1980, SNTL
- [15] PÍŠEK, F.- JENÍČEK, L.- RYŠ, P.- CENEK, M.: Nauka o materiálu I/3 - neželezné kovy, Praha 1973, ACADEMIA
- [16] JAREŠ, V.: Metalografie neželezných kovů, Praha 1950, VTN
- [17] SEDLÁČEK, V.: Neželezné kovy a slitiny, Praha 1979, SNTL
- [18] TYLECOTE, R.F. :The Early History of Metallurgy in Europe, London and New York, Longman 1987
- [19] PLUHAŘ, J.- KOL.: Nauka o materiálu, Praze 1989, SNTL
- [20] WALLA, V.: Výroba slitinových ocelí, Praha 1954, Práce
- [21] JENČOVÁ, M.- MIHOK, Ľ.- BRIANČIN, J.: Metalurgická dielňa objavená na hradě Čičva, Študijné zvesti Archeologického ústavu SAV, 31, 1995, 265-278
- [22] MIHOK, Ľ.- PRIBULOVÁ, A. - LABUDA, J.: Štúdium stredovekých metód výroby železných predmetov z lokality Banská Štiavnica - Staré město, In: Z dějin hutnictví 25, Praha 1996, NTM Praha, 10-17
- [23] AGRICOLA, G.: Dvanáct knih o hornictví a hutnictví (Kniha devátá a desátá), Praha 1976, NTM Reprint

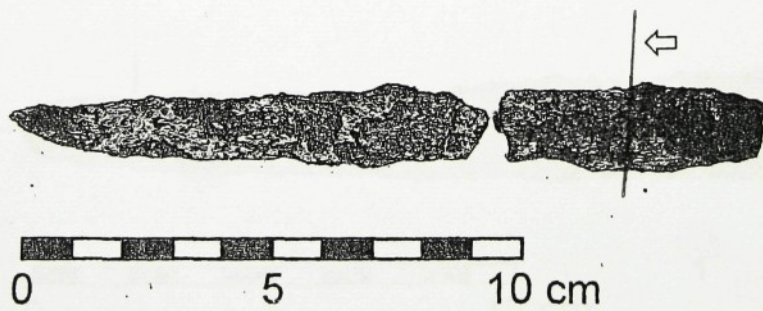


**PŘÍLOHA 1**  
**( ŽELEZNÉ PŘEDMĚTY )**



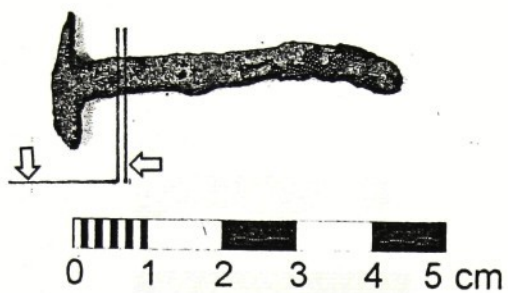


Obr. 1. šipka s tulejkou 26/96 (Trosky)

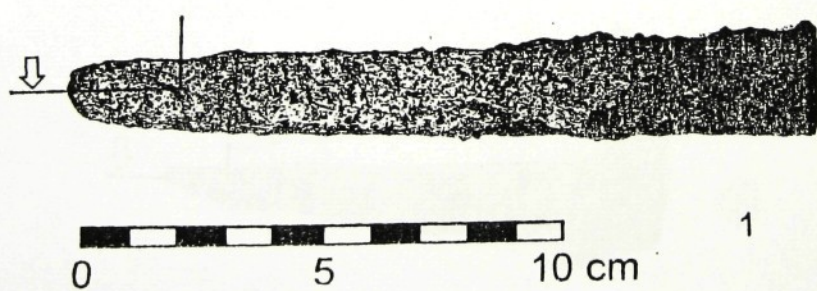


Obr. 2. nůž 271/97 (Trosky)



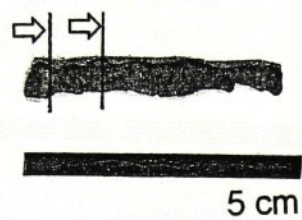


Obr. 3. hřeb 291/97 (Trosky)

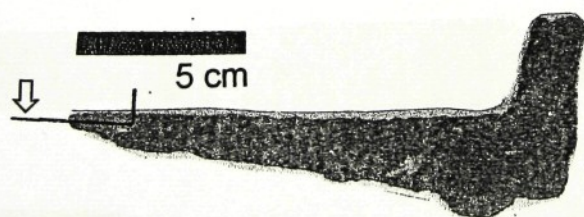


Obr. 4. želízko (majzlík) 291/97 (Trosky)



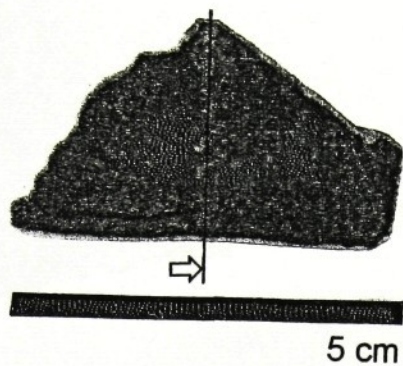


Obr. 5. hřeb 284/95 (Štěpanice)

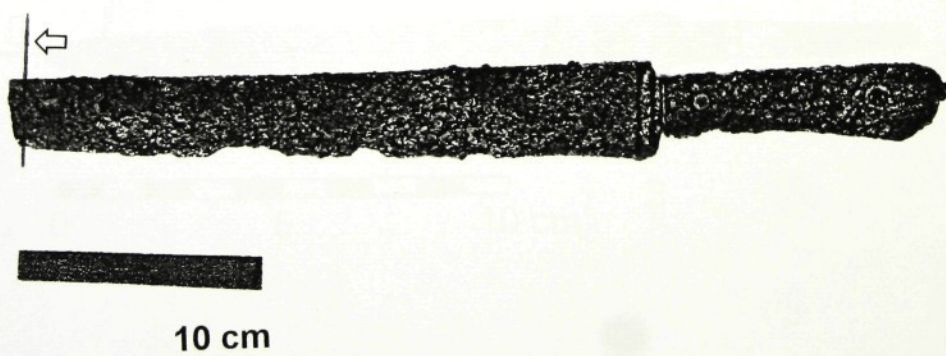


Obr. 6. závěs (skoba) 284/95 (Štěpanice)



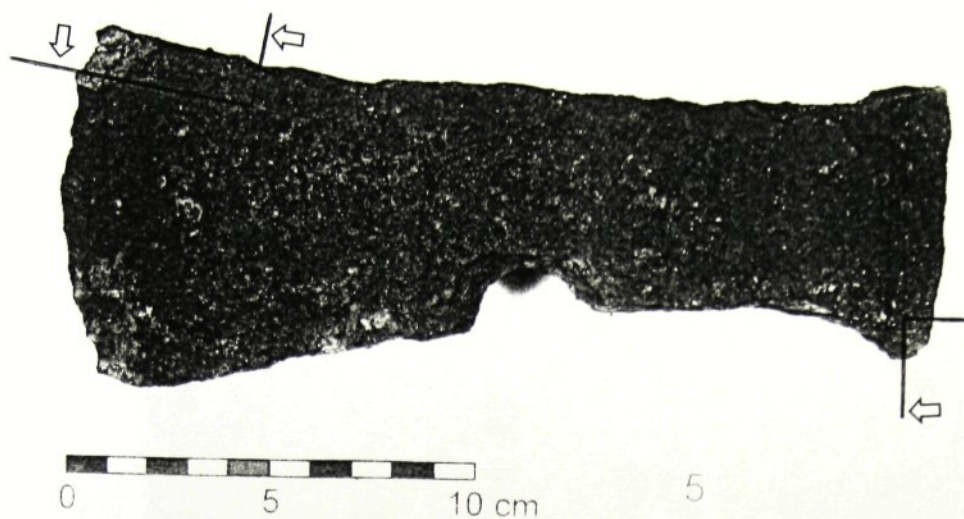


Obr. 7. fragment plechu s nýty 248/95 (Štěpanice)

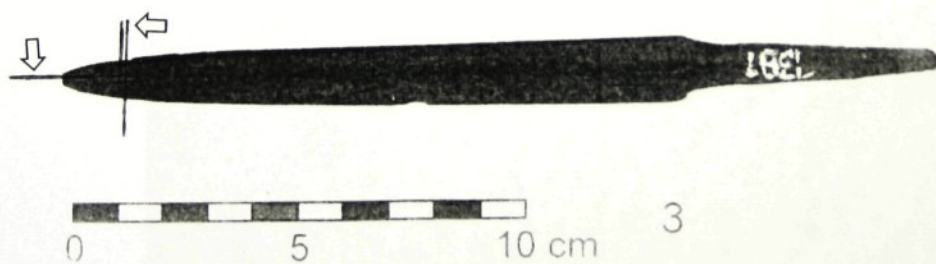


Obr. 8. tesák b.e.č. (Štěpanice)



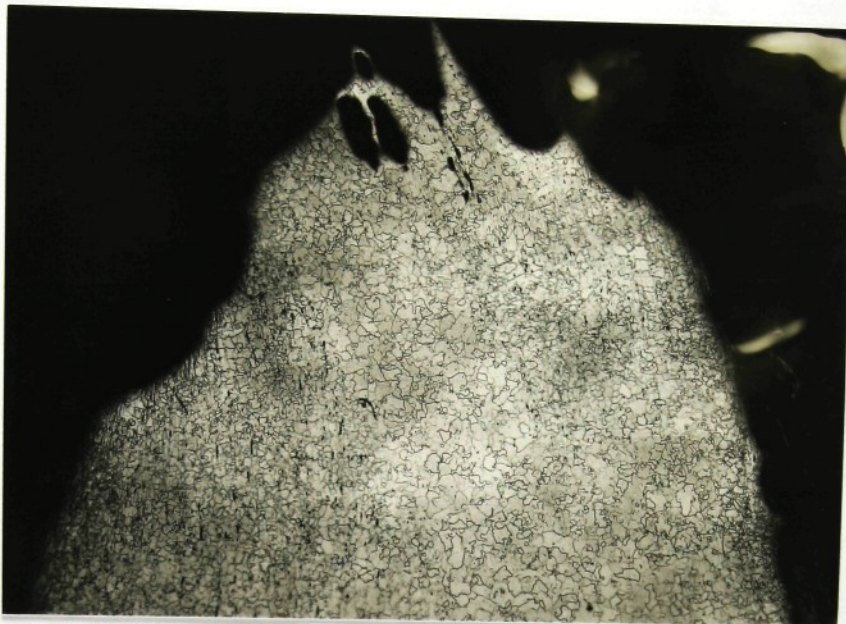


Obr. 9. těžká sekera 250-94 (Dobrovice)



Obr. 10. hrot ostěpu 1381 (Valečov)





Nital

Obr. 11. feritická struktura v hrotu šipky s tulejkou 26/96

16×



Nital

Obr. 12. struktura f-p v ostří nože 271/97

63×

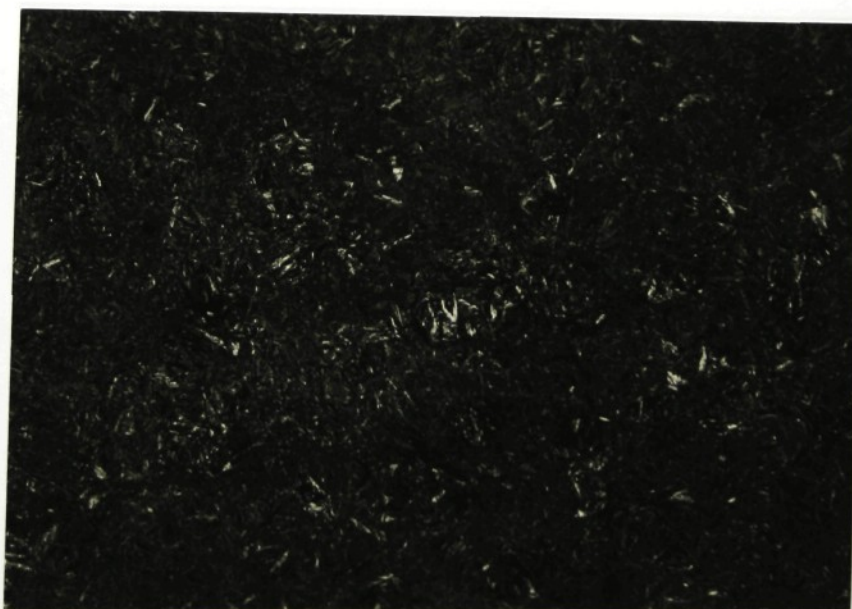




Nital

126×

Obr. 13. struktura f-p ve střední části čepelky nože se zachycením nedokonalého kovářského svaru



Nital

200×

Obr. 14. banitická struktura ve hřbetu čepelky (oblast VI)

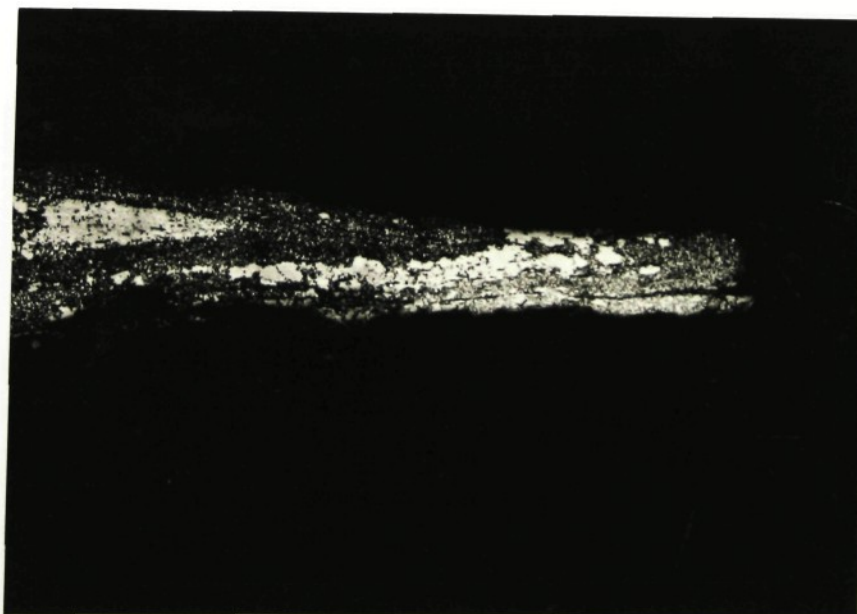




Nital

200×

Obr. 15. výskyt kalených struktur rozložených kolem nedokonalého kovářského svaru čepule.

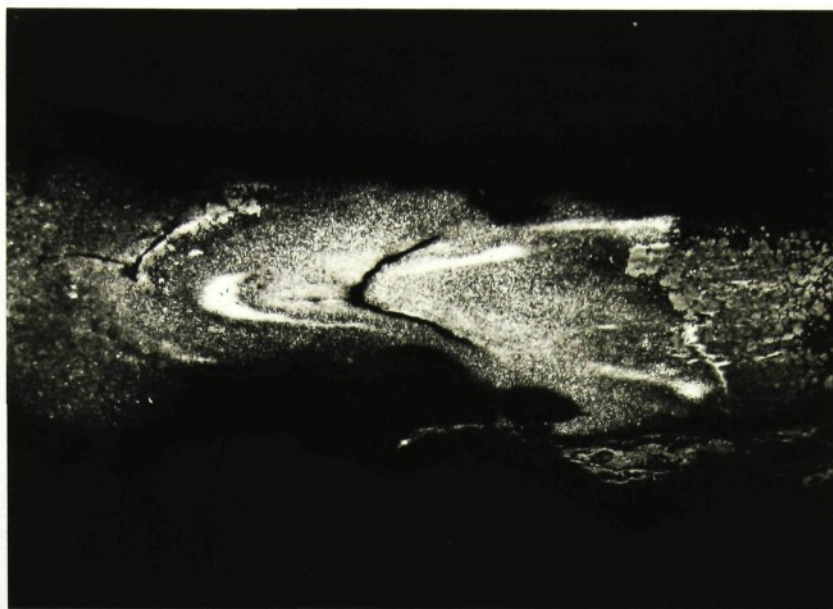


Nital

16×

Obr. 16. struktury v ostří nože





Oberhoffer

16×

Obr. 17. zvýraznění toku materiálu na základě rozložení fosforu

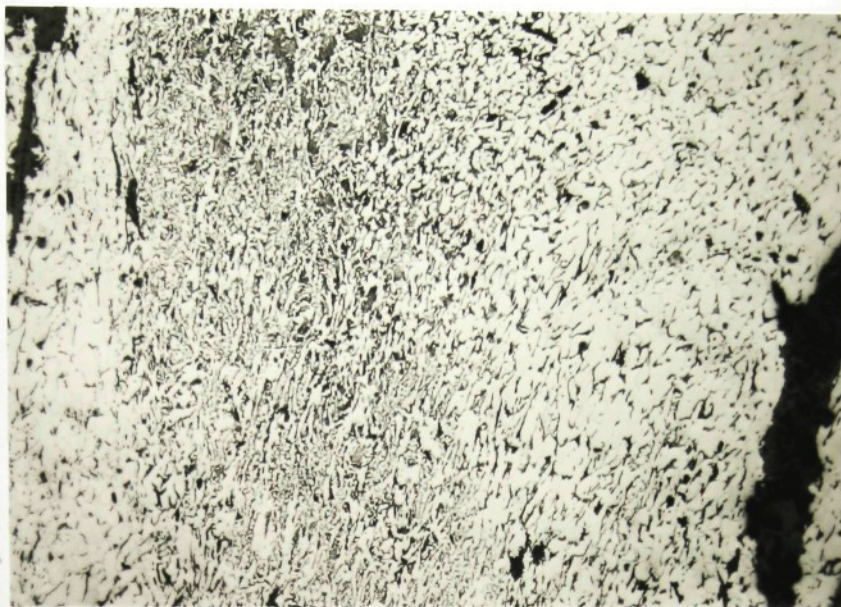


Nital

16×

Obr. 18. nýtek v čepelce nože; dobře zřetelný je přechod mezi světlejším a tmavším odstínem čepelce.





Nital

200×

Obr. 19. feriticko-perlitická struktura nýtku

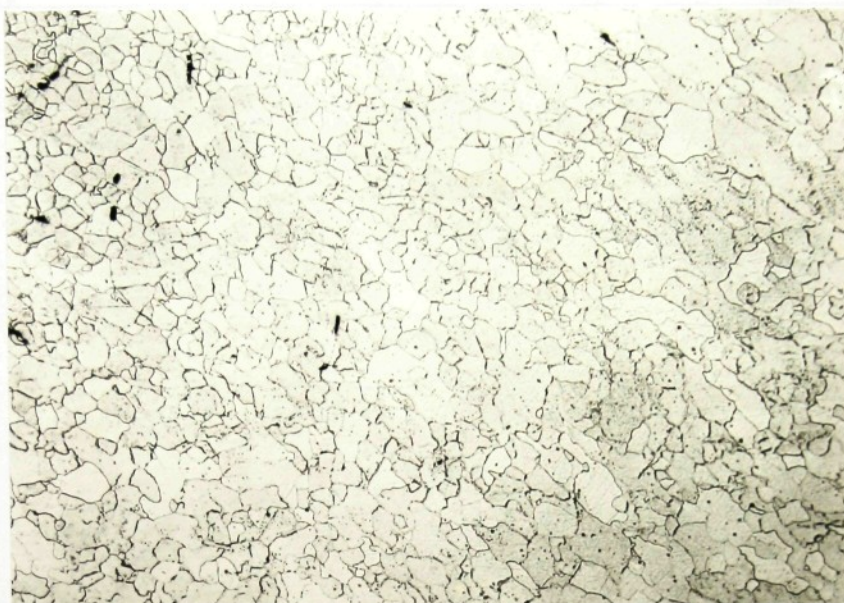


Nital

6,3×

Obr. 20. řez hlavicí hřebu 291/97





Nital

100×

Obr. 21. feritická struktura hřebu



Nital

100×

Obr. 22. feritická struktura hřebu



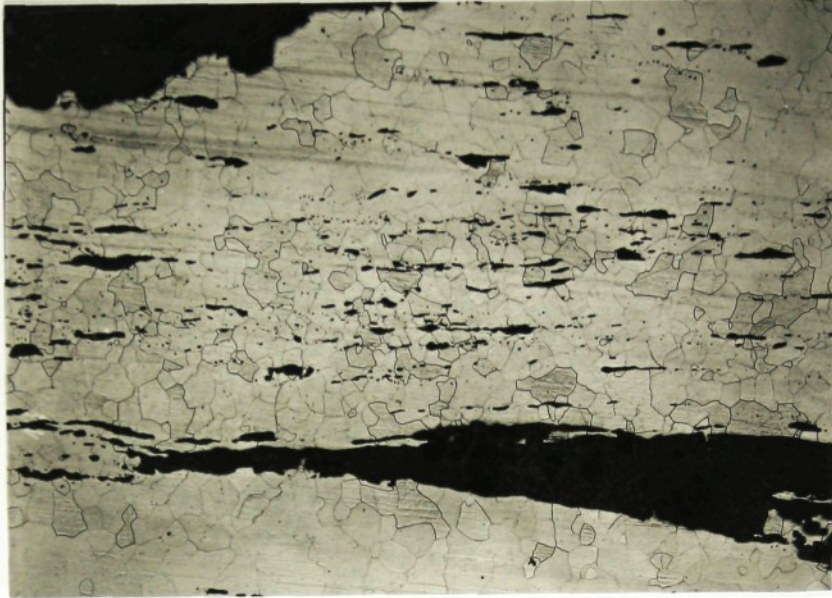
Obr. 23. vměsítky v hrotu želízka 291/97



Neleptáno

16×

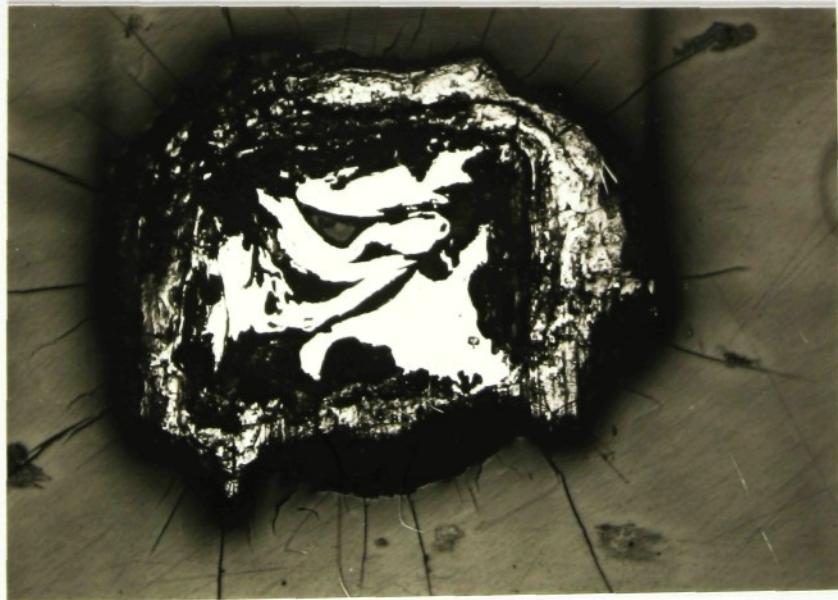
Obr. 24. feritická struktura v materiálu želízka



Nital

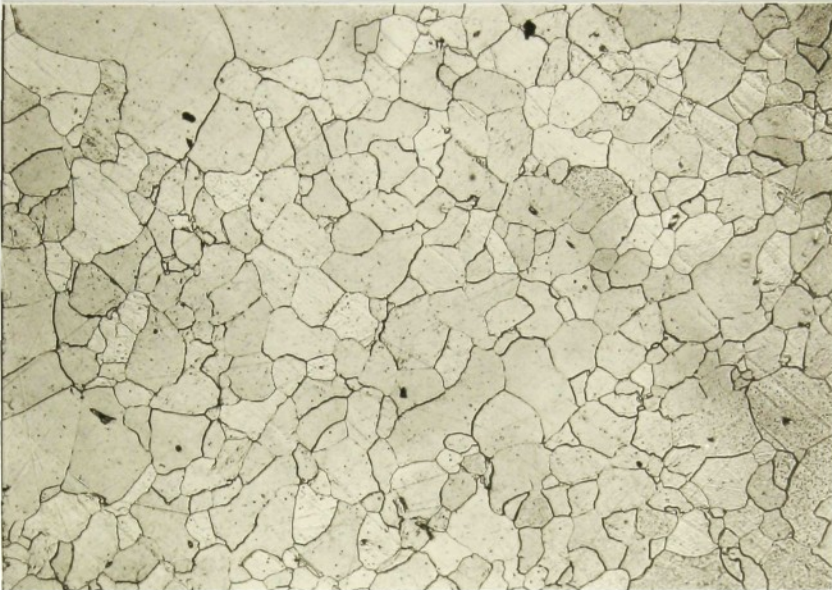
50×





Nital  
Obr. 25. řez tělem hřebu (I) 284/95

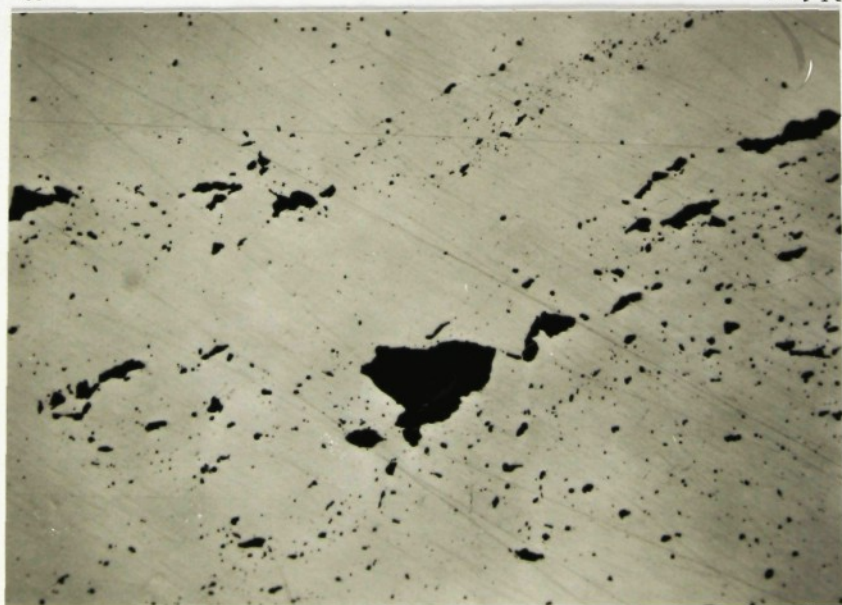
16×



Nital  
Obr. 26. ferritická struktura v hřebu 284/95

250×



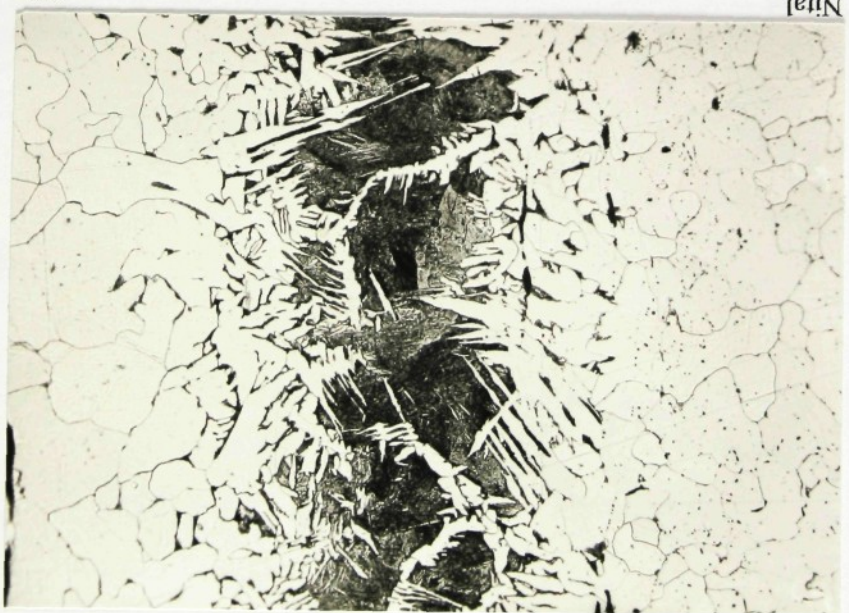


Nelept  
Obr. 27. vměstky v matrici kovu závěsu (skoby) 284/95



Nital  
Obr. 28. p-f pásma ve feritické oblasti závěsu





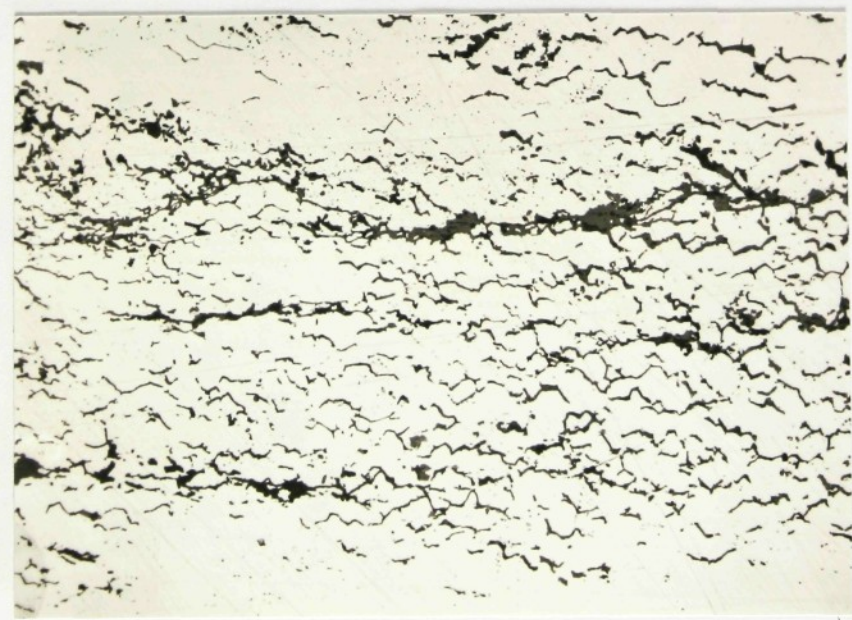
Nital  
Obr. 29. detail p-f pásma



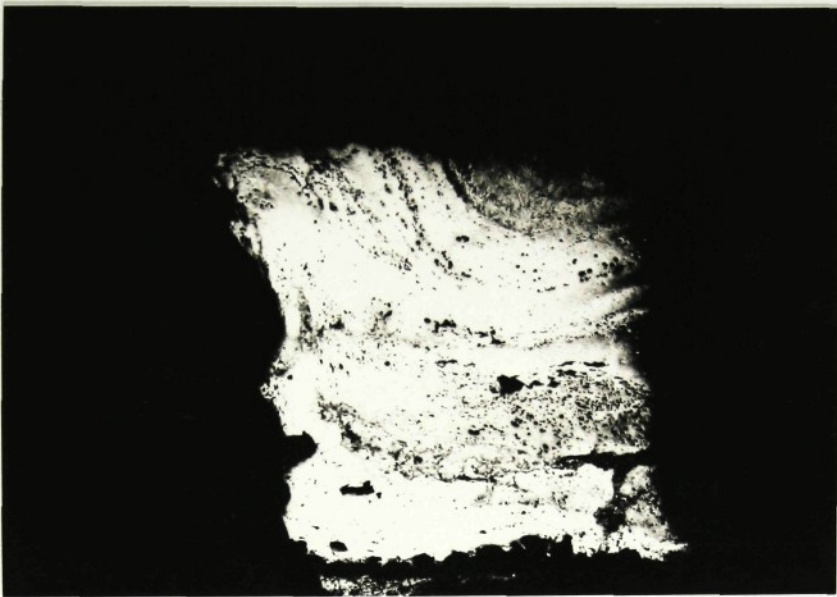
Nital  
Obr. 30. hrot závěsu s ocelovým klínem

16×



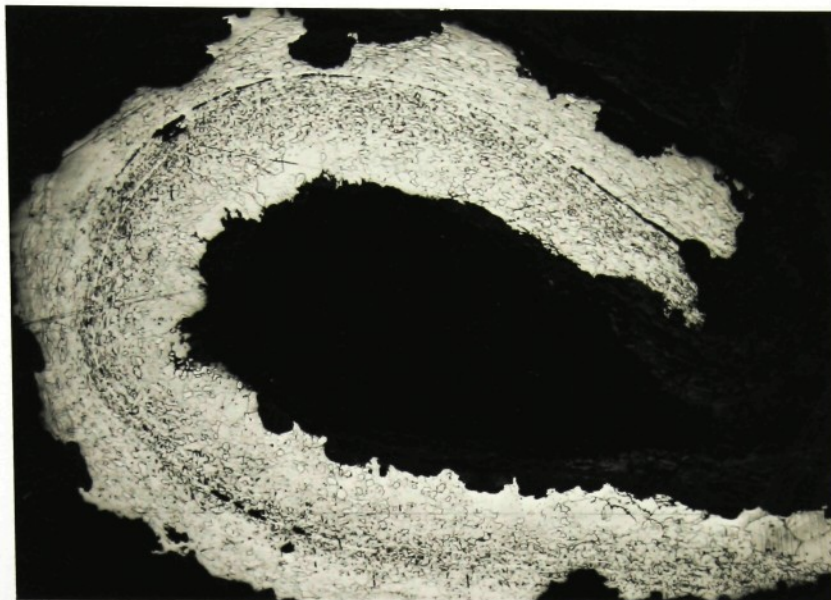


Nelept  
Obr. 31. síťoví korozních zplodin na hranicích původních austenitických zrn  
100×



Oberholfer  
Obr. 32. Zvýraznění toku materiálu  
13×

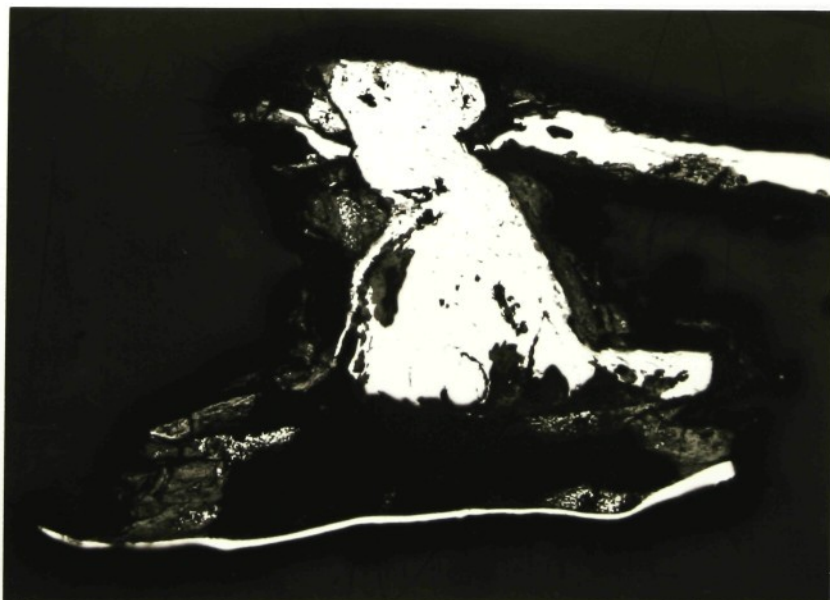




Nital

33×

Obr. 33. fragment plechu s nýty 248/95 - struktura v ohybu plechu

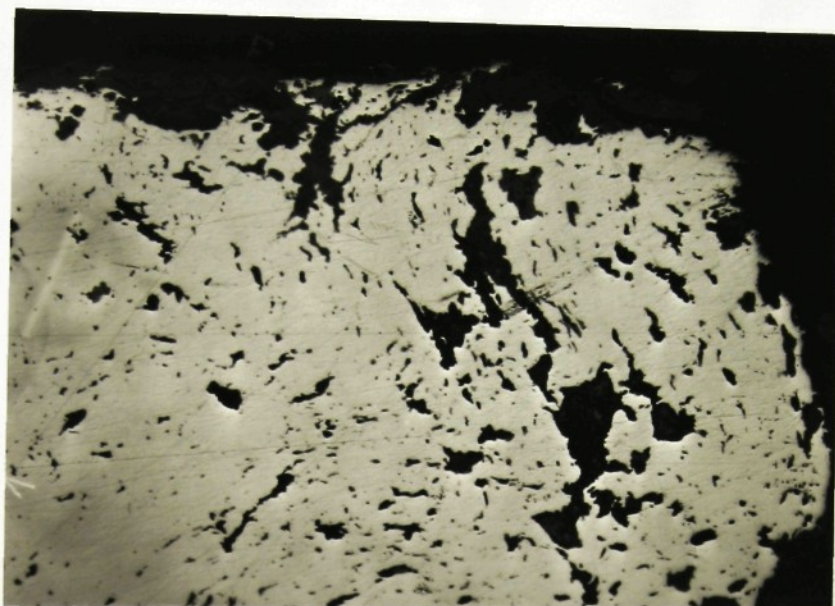


Neleptáno

10×

Obr. 34. pohled na řez nýtkem

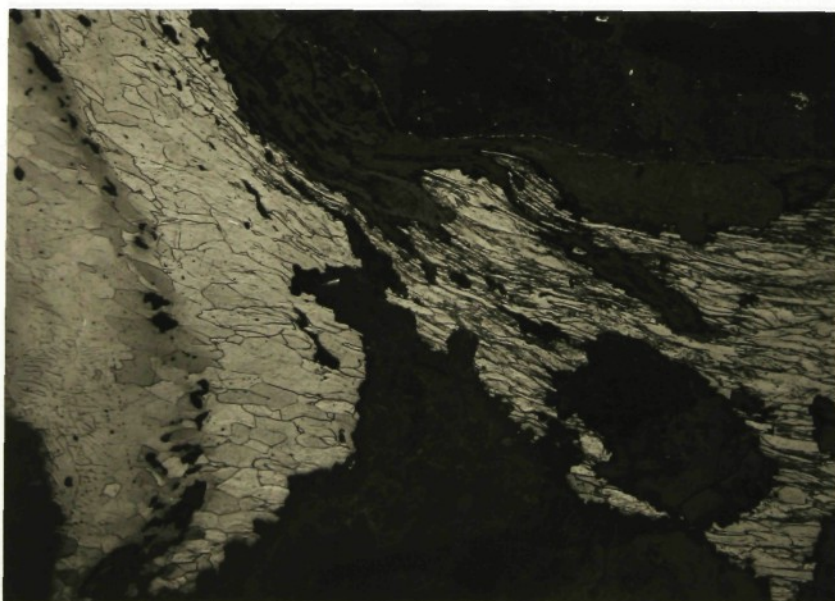




Nelept

100×

Obr. 35. vměstky a koroze v oblasti nýtku

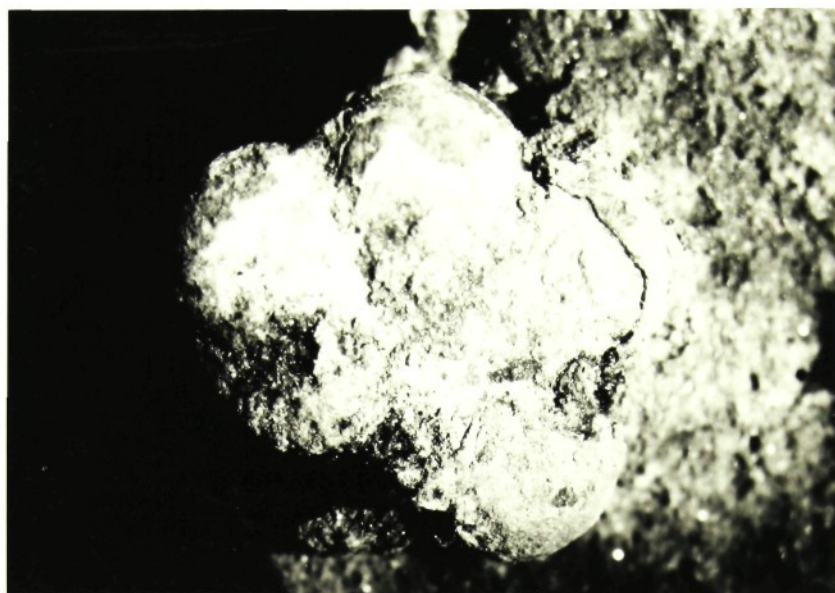


Nital

100×

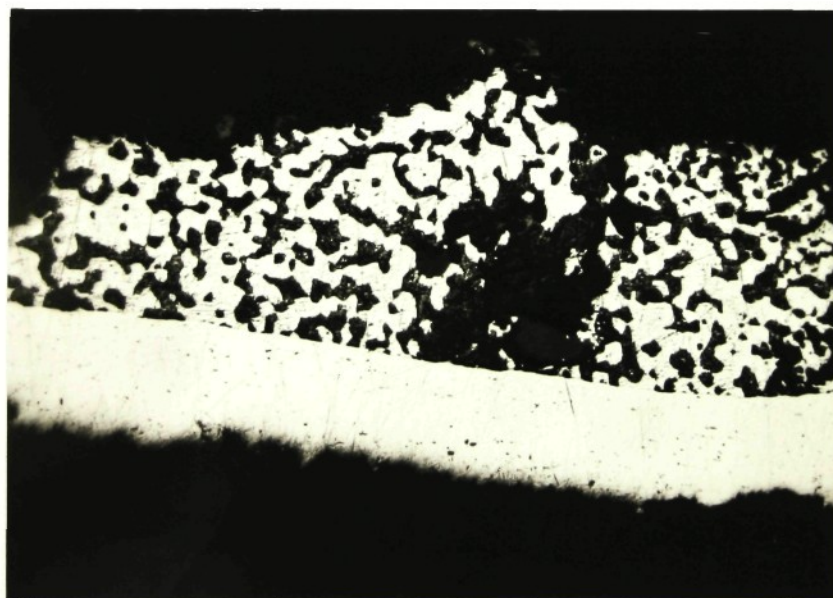
Obr. 36. tvářecí textura feritických zrn v nýtku a plechu





6×

Obr. 37. zdobení nýtku



100×

Neleptáno

Obr. 38. materiál mosazného plýšku ozdoby a materiál pájky





Neleptáno

100×

Obr. 39 . nedokonalý kovářský spoj a prasklina při povrchu čepele tesáku



Nital

200×

Obr. 40. struktura dolního bainitu





Nital

200×

Obr. 41. struktura horního bainitu se zrny feritu a přechodového perlitu -  
čepel tesáku

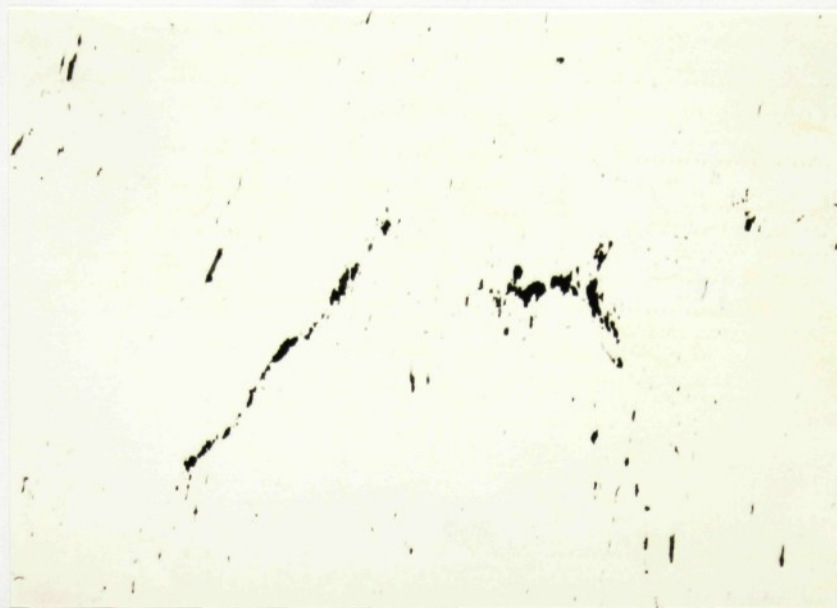


Nital

200×

Obr. 42. jemná f-p až p-f struktura v ostří čepce tesáku

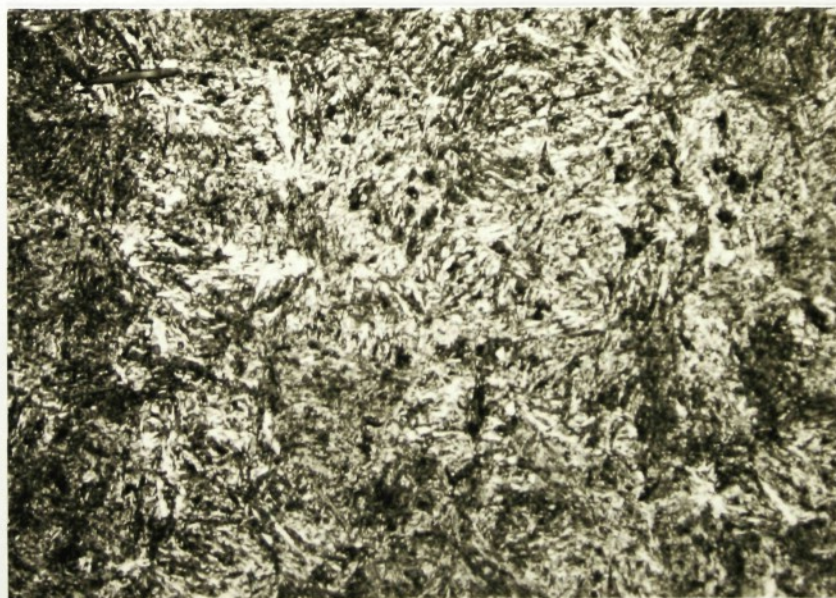




Neleptáno

16×

Obr. 43. vměštky v materiálu sekery (blízko místa návaru)

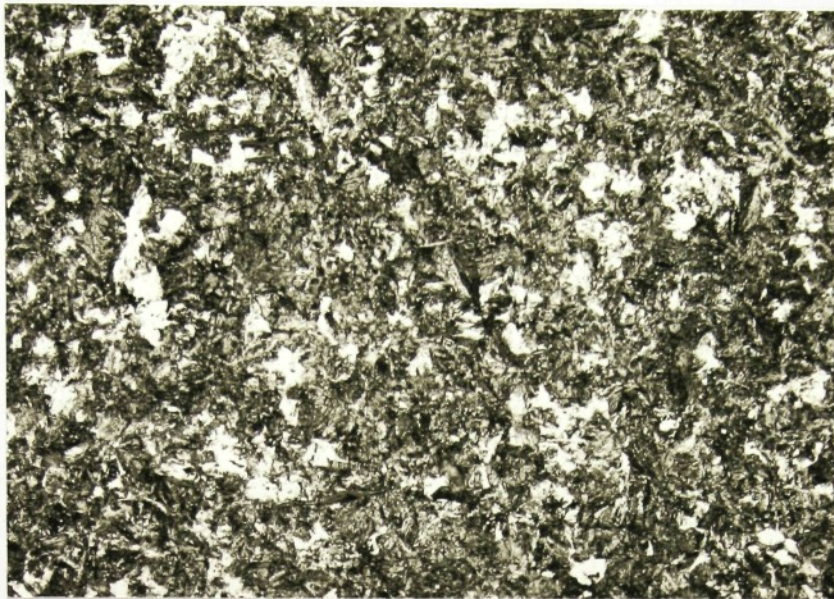


Nital

400×

Obr. 44. struktura bainitického typu v oblasti I

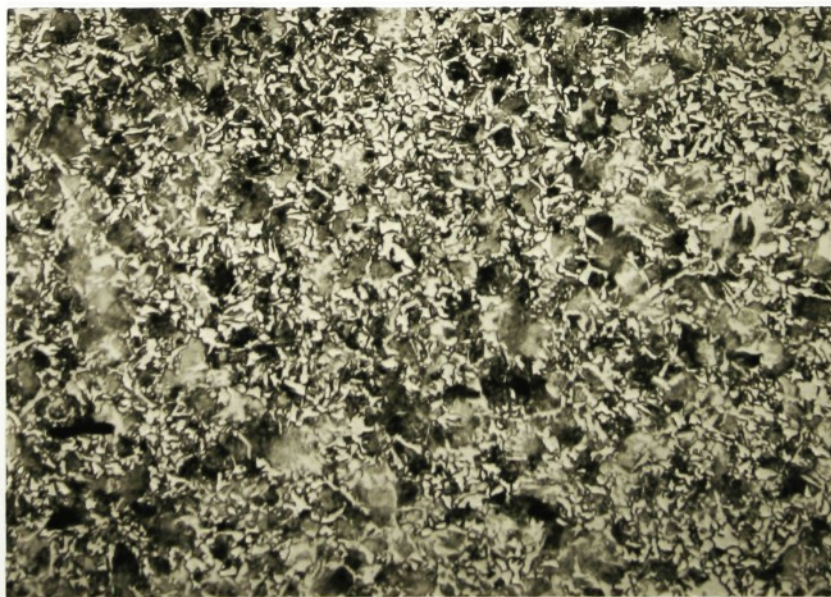




Nital

200×

Obr. 45. struktura bainitu se zrny feritu a přechodového perlitu



Nital

400×

Obr. 46. struktura perliticko feritická v místě návaru ostří na železný základ čepele

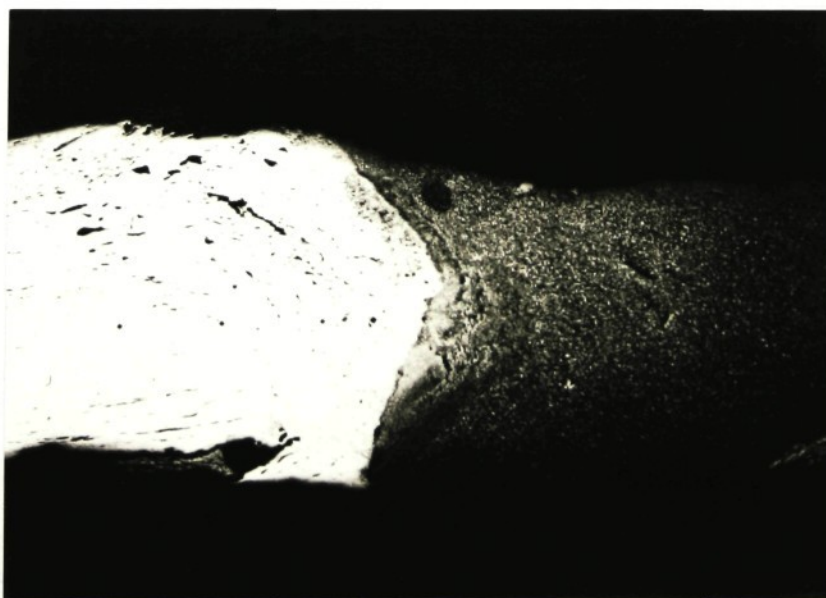




Nital

100×

Obr. 47. rozložení struktur v místě návaru ostří



Nital

16×

Obr. 48. celkový pohled na způsob přivaření ocelového břitů

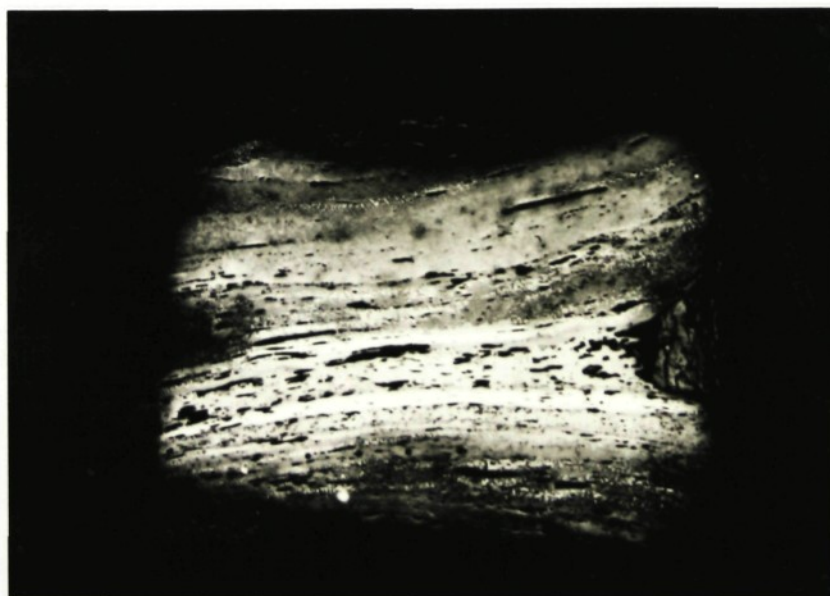




Nital

100×

Obr. 49. feriticko perlitická žilka ve feritické struktuře



Oberhoffer

16×

Obr. 50. zvýraznění toku materiálu ve vzorku B

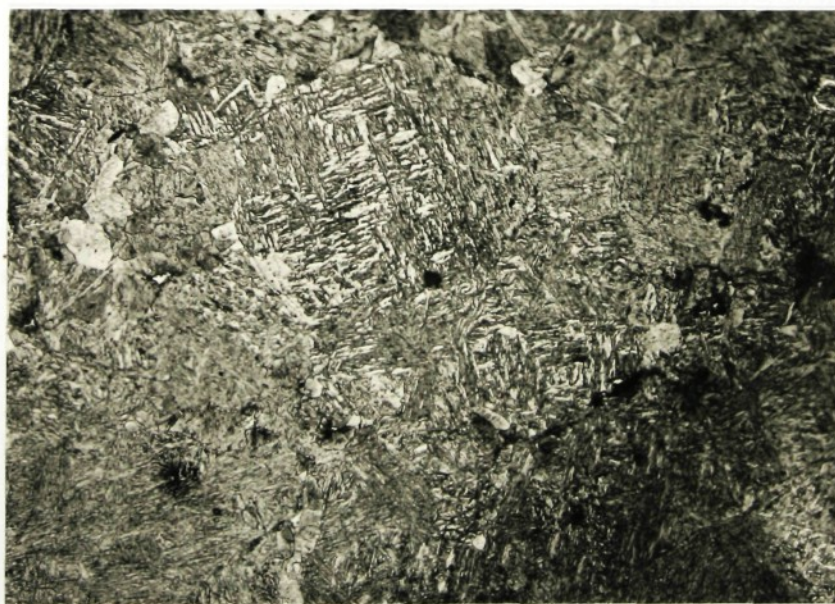




Neleptáno

50×

Obr. 51. vměstky v oblasti I u oštěpu, lokalita Valečov

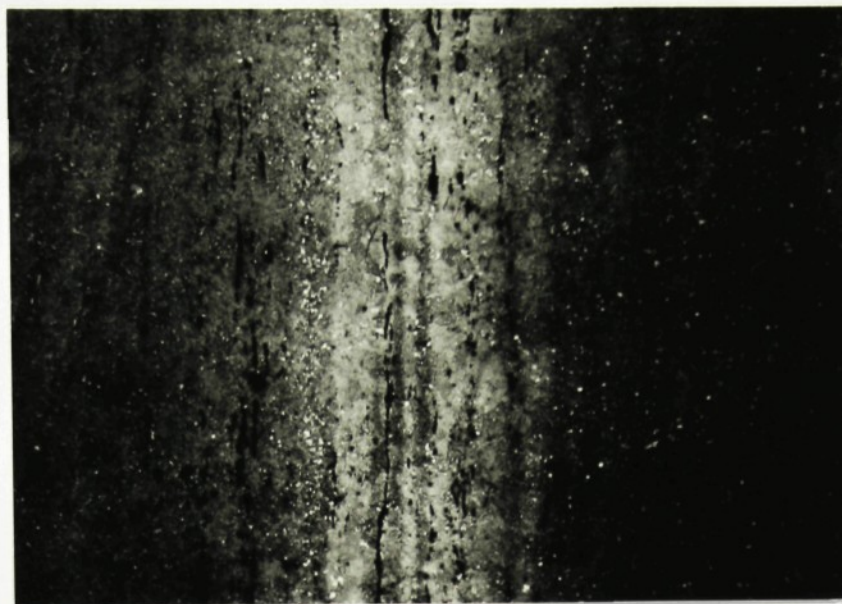


Nital

200×

Obr. 52. struktura bainitu feritu a perlitu v oblasti I

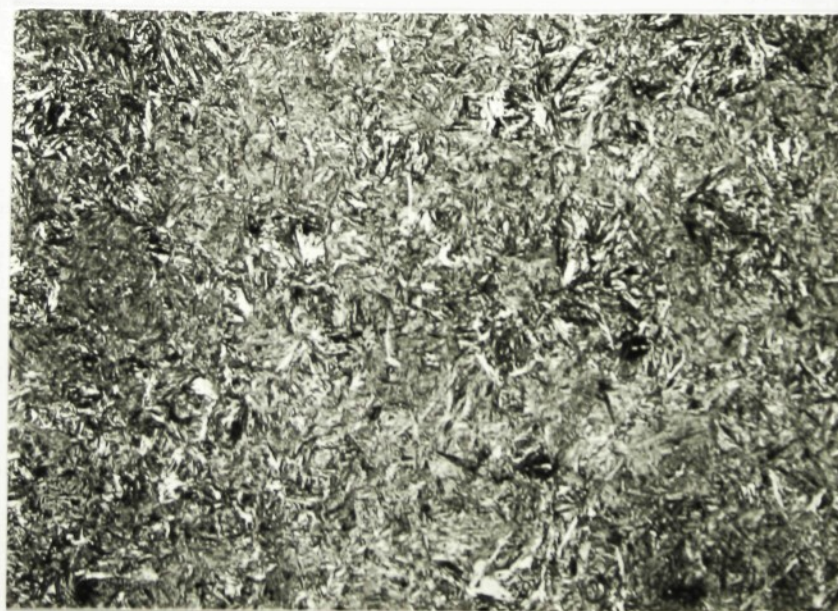




Nital

50×

Obr. 53. pohled na oblast I, uzavřenou v blasti II



Nital

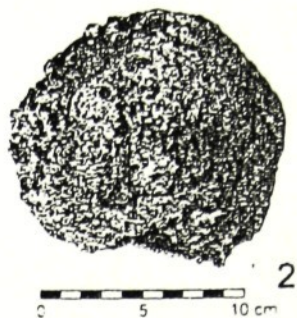
200×

Obr. 54. bainitická struktura oblasti II



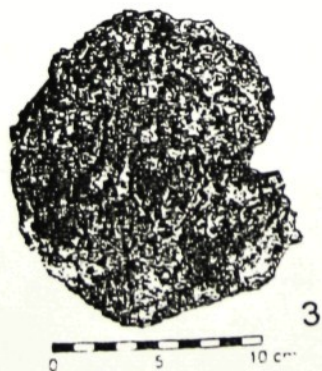
**PŘÍLOHA 2**  
**( SRUSKY )**





A  
Obr. 1. strusky z lokality Trosky  
A: vzorek I  
B: vzorek II

B



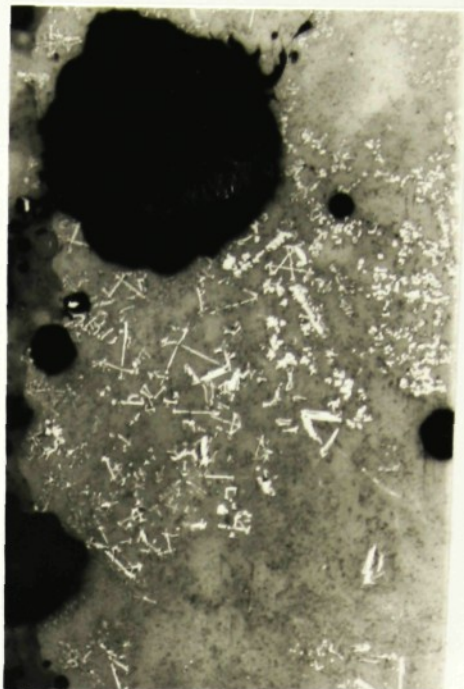
A  
Obr. 2. strusky z lokality Trosky  
A: vzorek III  
B: vzorek IV

B





A

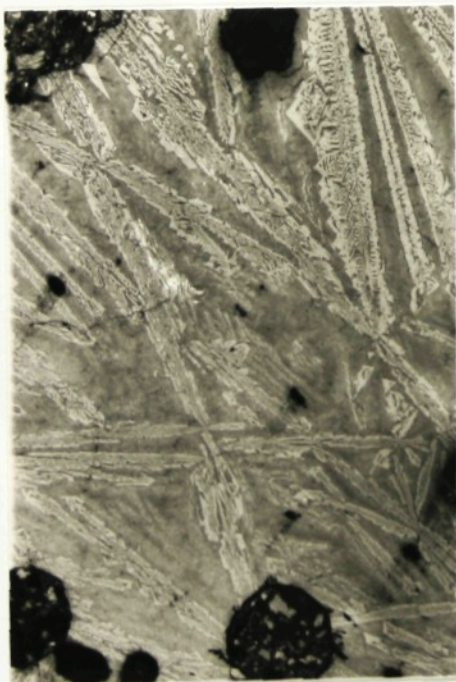


B

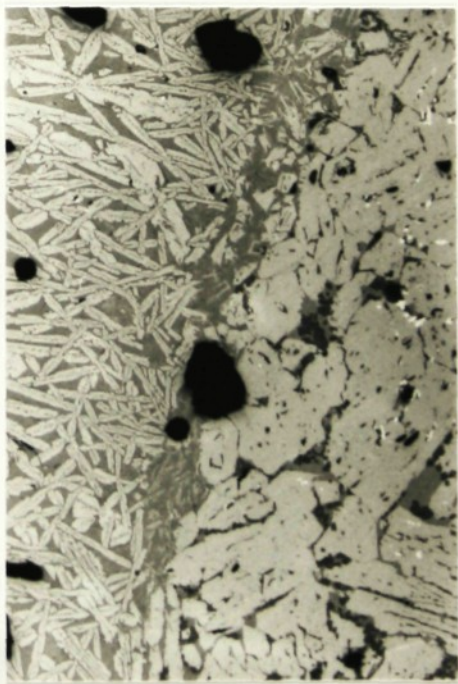
Obr. 3. struska č.I - Trosky

A: dvousložková křemičitanová matrice s jemnými dendrity wustitu

B: monolitická křemičitanová matrice s vyššími oxidy železa



A



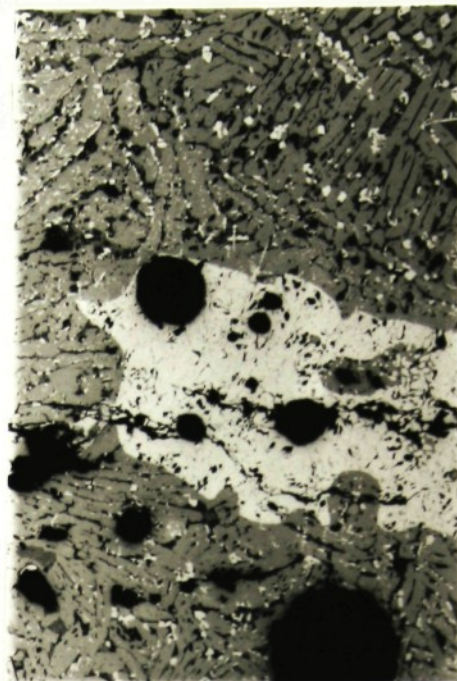
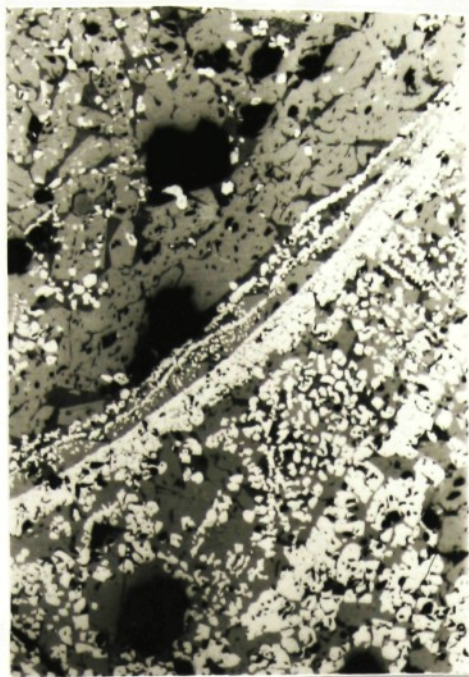
B

Obr. 4. struska č.II, III - Trosky

A: II - dvousložková křemičitanová matrice s částicemi kovového železa

B: III- silikátová matrice s dvěma rozdílnými morfologiemi





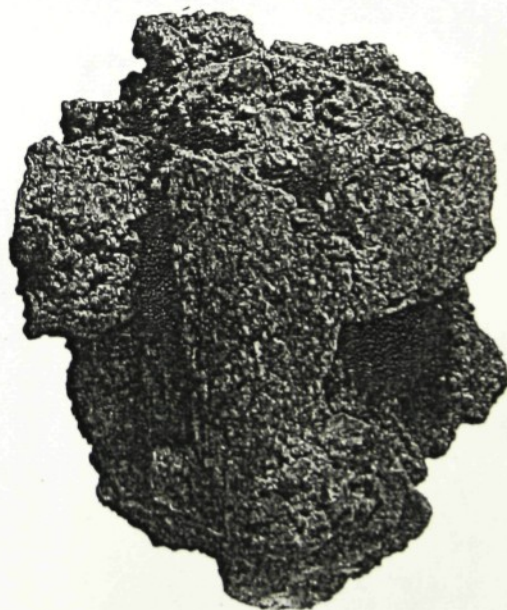
A

B

Obr. 5. struska č.III

A:části s vyšším a nižším podílem dendritů wustitu

B: zbytky okují



A

B

Obr. 6. strusky z lokality Dolní Štěpanice

A:vzorek I

B:vzorek II





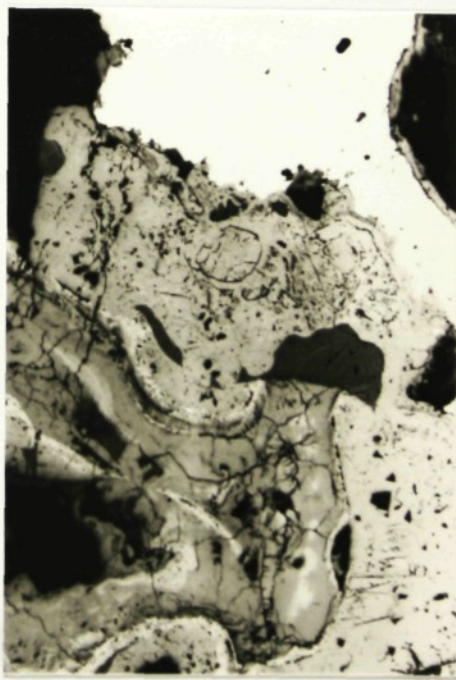
A

B

Obr. 7. struska č.I - Dolní Štěpanice

A: struktura na bázi železnatých křemičitanů, resp. železnovápenatých olivínů

B: korozní zplodiny v matrici strusky



A

B

Obr. 8. struska č.II - Dolní Štěpanice

A: jednosložková křemičitanová matrice mezi korozními zplodinami při povrchu malých kousků kovového železa

B: dtto.- dvousložková křemičitanová matrice



## PROHLÁŠENÍ

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

Beru na vědomí, že po pěti letech si mohu diplomovou práci vyžádat v univerzitní knihovně TU v Liberci, kde je uložena.

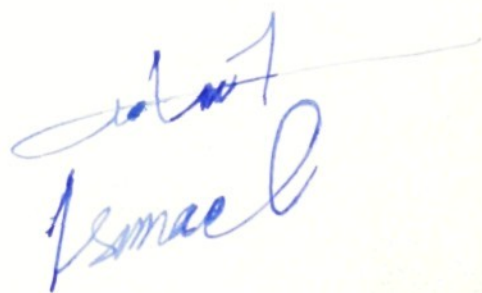
Jméno a příjmení : **Osama Ismael**

Adresa : **Sýrie – Latakie**

**Ostrava -Poruba**

**Kopeckého 514/8**

**č. R.**



Podpis : .....