

# Výrobní dokumentace k replikám antického sportovního náčiní

## Použité materiály

Disky, hroty oštěpu a hroty šípů – slitina mědi a cínu, cínový bronz CuSn10.

Slitina CuSn10 má zlatavou barvu, vykazuje přijatelné mechanické vlastnosti, zejména pro namáhanější odlitky jako např. hroty kopí, atd. Pevnost ostří u nástrojů lze zvýšit kováním za studena - „kutím“. Slévárenské vlastnosti jsou vynikající.

Haltéry – čisté olovo (Pb).

## Použitá technologie tavení kovů

### 1) Bronz

Pro tavení bronzu (CuSn10) se používá grafitový tavící kelímek, viz **obr. 1**. Tavící pec je jednoduché konstrukce, dmýchaná vzduchem. Během tavení se používá koks. Kombinace dmýhání vzduchu a použitého paliva – koks (viz **obr. 3**) zajišťuje kvalitní tepelný výkon pece s dostatečnou teplotní rezervou potřebnou pro dosažení tzv. **licí teploty**, což je v praxi teplota tavení navýšená o určitý teplotní interval, který zajišťuje, že během lití slitina dokáže spolehlivě plnit formu, aniž by ztratila schopnost „zabíhat“ atd. Licí teplota cínového bronzu se pohybuje od 1150 °C do 1200 °C, viz. **obr. 2**.

Před litím je slitina v kelímku promíchána, nečistoty plavající na hladině jsou odstraněny. Před vyjmutím kelímku z pece (viz **obr. 4**) je provedena desoxidace taveniny.

### 2) Olovo

Olovo bylo taveno nad plamenem v ocelové tavící nádobě. Po roztavení se tavenina promíchá, důkladně se odeberou oxidické vměstky a nečistoty. Důležité je zbytečně taveninu tepelně nepřetěžovat a po vyčištění hladiny přejít k lití. Není potřeba používat speciální techniku či přípravky.

## Popis jednotlivých artefaktů

### Bronzové disky

Byly vyráběny dva rozměry s rozdílnou hmotností. Oba typy disponují tloušťkou 7 mm. Menší disk o průměru 165 mm a cílovou hmotností 1200 g. Větší disk o průměru 210 mm, cílová hmotnost 2200 g. Viz hotové odlitky na **obr. 5** a **obr. 6**.

Z vosku byly odlity pláty vosku o síle 7 mm. Po narýsování obvodu kružítkem byly z těchto plátů vyřezány kruhy o stanoveném průměru. Ručními nástroji byl uhlazen povrch vosku. Zaoblení hrany po obvodu bylo provedeno ručně speciálním nožem. Po zvážení voskového disku a propočtu hmotnosti výsledného odlitku byl zahájen proces výroby licí formy.

Disk byl navtokován na vtokový kůl, hlavní vtok do formy byl umístěn v jejím nejnižším místě. Při lití byla forma plněna odspodu. V nejvyšším místě byl umístěn druhý vtok, kterým unikalo do licí soustavy vzduch při plnění formy. Na výrobu licí formy byla použita vysokoteplotní keramika. Po obalení modelu a vyschnutí formy bylo provedeno vytavení vosku tepelným šokem. V nejvyšším místě byl umístěn druhý vtok, kterým během odlévání unikalo vzduch při plnění formy.

Licí forma byla před litím vyžehána v peci na teplotu 830 °C. Zde dochází zejména k odstranění chemicky vázané vody, vyhoření zbytků vosku.

Po odlití byly odlitky ponechány zchladnout na okolní teplotu, cca 2 hodiny. Forma byla mechanicky odstraněna (oklepána). Následně byl disk odřezán od vtokové soustavy. Následovalo zabroušení vtoků. Mechanické očištění povrchu odlitku od okují. jemné broušení brusivem zrnitosti 280 a 400 s následným přešetřením.

Menší disky se podařilo zhotovit s odchylkou cca 60 gramů do mínusu. Velké disky vykazují odchylku cca 100-150 gramů do mínusu.

## **Olověné haltéry**

Pro výrobu těchto odlitků byla zvolena metoda lití na volnou hladinu. Pozornost byla primárně věnována obrysu, resp. vnějšímu obvodu.

Materiál je čisté olovo. Jedna haltéra váží cca. 1250-1300 gramů.

Jako lící forma byla použita cihla z vysokoteplotního šamotu. Vnější obvod byl vytvarován z měděného plechu o tloušťce 1 mm a výšce cca 15 mm. Plechová forma byla položena na přehřátou šamotovou cihlu. Na plechovou formu bylo z horní strany položeno několik závaží o hmotnosti cca 1-1,5 kg. Závaží má za úkol utěsnit spáru mezi spodní hranou plechu a cihlou. Tak aby nedošlo k posunutí, či úniku roztaveného olova při nalití do formy.

Po roztavení a vyčištění olova (provedení stěru oxidických zbytků) bylo provedeno lití na volnou hladinu.

Po vychlazení a vyjmutí odlitku byly sraženy ostrým dlátem hrany, začištěn viditelný spoj konců plechové formy včetně očištění povrchu odlitku. Odlitky viz **obr. 5** a **obr. 6**.

## **Bronzové hroty oštěpu**

Materiál hrotu je slitina CuSn10.

Základní podmínkou pro výrobu hrotů kopí a jiných nástrojů s kónickou dutinou v odlitku (dláta, sekery s tulejí, hroty šípů etc) je zvládnutí technologie výroby keramických lících jader. Bez těchto jader nelze vyrobit tak dlouhou dutinu a vesměs tenkostěnný odlitek. Tato technologie byla zvládnutá k dokonalosti již v době bronzové.

Hotové keramické jádro ze směsi jílu a zejména dřevěných pilin viz **obr. 7**. Problematika jader je velmi komplexní a směs je potřeba odladit, tak aby byla po výpalu jádra přijatelně porézní a po odlití vlastního bronzového odlitku šlo dobře odstranit z jeho dutiny. V případě absence organických zbytků (či podobného materiálu), nebo při dosažení teploty slinutí materiálu nastávají po odlití problémy s extrakcí jádra ven.

Pro výrobu lící formy hrotu bude použit materiál na bázi keramiky. Do formy se vloží hotové keramické jádro. Po kontrole fixace a správné polohy ve formě bude i s formou přehřáto. Přehřátí formy zajistí absenci chemicky vázané vody (která by jinak po nalití taveniny s teplotou cca 1200 °C reagovala vznikem bublin a pěněním či prskáním) a zlepší zabíhavost slitiny ve formě (tl. stěn odlitku cca 1,5-2 mm).

Po odlití se odstraní oklepáním forma. Oddělí se nálitky a lící nálevka. Po zabroušení se odlitek očistí. Jemně přebrousí (zrnitost cca 320) a přešetí. V případě potřeby se provede nakování kraje ostří na kovadlince kladívkem. Dojde ke „zpevnění“ bronzu kováním za studena. Po nabroušení se chová takový bronz podobně jako první typy ocelí či železa – dokáže velmi obstojně držet ostří.

## **Bronzové hroty šípů**

Materiál hrotu je slitina CuSn10.

Jak bylo uvedeno výše. Technologický postup je skoro stejný. Rozdíl je ve velikosti odlitku a vlastních keramických jader. Pro hrot šípů má jádro délku cca 20 mm. Materiál jádra i postup jeho výroby je naprosto identický.

Forma pro odlévání je založena na stejném materiálu.

Hroty šípů se většinou odlévají přímo od špičky hrotu.



**Obr. 1:** *Grafitový kelímek s taveninou cínového bronzu*



**Obr. 2:** *Lití bronzu do keramických forem*





**Obr. 3:** *Tavící pec na pevné palivo během tavby*



**Obr.4:** *Vyjímání tavícího kelímku před umístěním do lícího oka*





**Obr. 5:** *Bronzové disky po cizelování a olověné haltéry*



**Obr. 6:** *Detail olověných haltér*





**Obr. 7:** Keramické jádro pro výrobu oštěpu po výpalu v peci při teplotě 800 °C