



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SLÉVÁRENSKÉ SLITINY MĚDI PRO UMĚLECKÉ LITÍ

THE COPPER FOUNDRY ALLOYS FOR ART CASTING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Jelínek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vítězslav Pernica, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Vojtěch Jelínek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Vítězslav Pernica, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Slévárenské slitiny mědi pro umělecké lití

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V době bronzové se běžně používaly dvě formy bronzu: „klasický bronz“, který obsahoval asi 10 % cínu a používal se při odlévání odlitků. Vedle něj byl tzv. „měkký bronz“ s asi 6 % cínu, který byl tepaný z ingotů na výrobu plechů např. zbroje či nádob. Později už byly tyto slitiny více variabilní a obsahovaly i další kovy, které byly zaneseny do slitiny i jako nečistoty.

Dnes existuje mnoho slitin mědi, zejména bronzů, které lze považovat za moderní. Obsahují např. více cínu, křemíku, manganu, zinku ad. Tyto nové slitiny přináší zajímavé vlastnosti nejen v produkci odlitků pro průmysl, ale také jsou využívány v oblasti umění. Znalost možností a rozdílů mezi kovovými slitinami je základem pro vytváření krásných výtvarných objektů, např. soch. Bakalářská práce bude zaměřena na zmíněné měděné slitiny.

Cíle bakalářské práce:

Zpracovat dostupné zdroje a popsat formou rešerše různé druhy měděných slitin a jejich vlastností, které souvisí s využitím v oblasti uměleckého odlévání kovů.

Navrhnout a vyrobit vlastní drobný umělecký odlitek.

Seznam doporučené literatury:

BRUNHUBER, Ernst. Guss aus Kupferlegierungen. Schiele-Schön GmbH, Berlin, 1986. ISBN 3-794-0444-3.

ROUČKA, Jaromír. Metalurgie neželezných slitin. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2790-6.

BROWN, John R. Foseco non-ferrous foundryman's handbook. Oxford: Elsevier, 2005. ISBN 0-7506-4286-6.

CAMPBELL, John. Castings: the new metallurgy of cast metals. Second edition. Metallurgy and materials science series. Amsterdam: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2003. ISBN 0-7506-4790-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce obsahuje literární rešerši zabývající se měděnými slitinami, jejich historií a jednotlivými druhy, které se využívají v uměleckém slévárenství. V rámci praktické části byl navrhnout model přezky pro šampionský opasek, který byl následně odlit do skořepiny a povrchově upraven. Použitou slitinou byla bílá manganová mosaz.

Klíčová slova

Měděné slitiny, umělecké lití, bronz, mosaz, bílá manganová mosaz

ABSTRACT

The bachelor thesis contains a literature research dealing with copper alloys, their history and individual types used in art foundry. Within the practical part, a model of a buckle for a championship belt was designed, which was subsequently cast into a shell and surface treated. The alloy used was white manganese brass.

Keywords

Copper alloys, art casting, bronze, brass, white manganese brass

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JELÍNEK, Vojtěch. *Slévárenské slitiny mědi pro umělecké lití*. Brno, 2024. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157803>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Vítězslav Pernica.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Slévárenské slitiny mědi pro umělecké lití vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Brno, 24. 5. 2024

místo, datum

Vojtěch Jelínek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Vítězslavu Pernicovi, Ph.D. a konzultantovi Ondřeji Štočkovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, přítelkyni a kamarádům za podporu ve studiu.

OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 Rozbor zadání	10
1.1 Možnosti výroby součásti	12
2 Historie měděných slitin	15
2.1 Některé tehdejší metody odlévání	18
3 Měď a její slitiny	20
3.1 Bronz	22
3.1.1 Cínový bronz	23
3.1.2 Cínovo olověný bronz	26
3.1.3 Křemíkový bronz	27
3.1.4 Manganový bronz	28
3.2 Mosaz	29
4 Návrh a odlití vlastního odlitku	33
4.1 Postup výroby	34
4.2 Proces odlévání	38
4.3 Úpravy	40
ZÁVĚR	43

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD

Slévárství, jako odvětví průmyslového inženýrství, zaujímá klíčovou pozici ve výrobě kovových odlitků, které jsou nenahraditelnými komponenty v mnoha odvětvích. Popis slévárství jako technologie zahrnuje široký rozsah postupů a metod, které umožňují zhotovování jednoduchých, ale i složitých odlitků. Toto odvětví se vyznačuje komplexností procesů, které zahrnují materiál, tavení, formovací procesy a tepelné upravování. Technologie odlévání (**obr. 1**) jako taková umožňuje nejrychlejší cestu, jak ze vstupních surovin vytvořit finální výrobek (polotovár, hotový výrobek). [1]

Slévárství se člení dle jednotlivých činitelů. Podle druhu použitého modelu, buďto trvalého (dřevěný, kovový, sádrový, pryskyřicový), netrvalého (polystyren, vosk) nebo bez použití modelu (frézování formy, 3D tisk formy) **viz obr. 2**. Dle použití trvalé (kovová, kokila) nebo netrvalé (písková, keramická) formy. A taktéž podle zvoleného typu odlévání na gravitační (přes hubičku nebo licím kulem), tlakové (vysokotlaké, nízkotlaké), vakuové a odstředivé (pravé, poloodstředivé, nepravé a odstředování). [1]

Jedním z velice zajímavých a fascinujících aspektů slévárství je umělecké slévárství (**obr. 3;4**). Tato odnož kombinuje technickou preciznost s estetickým uměním, kdy jsou vytvářeny unikátní umělecké kusy pomocí slévárských postupů. Umělecké odlévání tak nejenom otevírá nové možnosti pro výtvarné umělce, ale také posiluje propojení mezi průmyslovým inženýrstvím a kreativním vyjádřením. Bakalářská práce se z části zabývá tímto specifickým odvětvím slévárství a jeho propojením s technologickými a metalurgickými procesy.



Obr. 1 Odlévání [2].



Obr. 2 Tisk pískové formy [3].



Obr. 3 Bronzová soška pumy [4].



Obr. 4 Mosazný umělecký odlitek [5].

1 ROZBOR ZADÁNÍ

Ze zadání vyplývá, že dílec není fixně daný, ale bude vytvořený autorem bakalářské práce. Tudíž byl zvolen odlitek, který je inspirován bojovými sporty a šampionskými opasky **obr. 5;6**, které jsou udělovány za sportovní úspěch. Úkolem je vymodelovat a odlít hlavní ozdobný plíšek pro pás, který jistým způsobem bude reflektovat studium na Vysokém učení technickém. Jelikož se jedná o umělecký odlitek a ryze kusovou výrobu, není zde nárok na co nejlevnější materiál, přídatky, rozměrové přesnosti a rychlost výroby. Stěžejním parametrem bude kvalita a struktura povrchu, podle které bude následně zvolena technologie splňující tyto parametry.



Obr. 5 Příklad šampionského opasku [6].



Obr. 6 Příklad přezky [7].

Materiál byl zvolen podle dostupných možností slévárny na fakultě strojniho inženýrství, kde se i odlévání uskutečnilo. Dalším parametrem pro výběr slitiny je schopnost vyplňovat dutiny formy a nedělat staženiny, bude upřesněno dále. Poté nízká toxicita zvoleného materiálu při tavení, možnost patinace a barevná zajímavost. Dle daných kritérií byly vybrány tři materiály, které se používají pro umělecké odlívání a splňují konkrétní parametry [8;9;10;]:

- Bílá manganová mosaz – viz **tab. 1**, jedná se o speciální mosaz s obsahem zinku do 25 %. Má vysokou pevnost, tvrdost, silnou odolnost vůči opotřebení a chemickým vlivům. Jako hlavní příměsové prvky se používají nikl, hliník, cín, olovo a především mangan, který slitině dodává bílou barvu (**obr. 7**). Slitina disponuje středním smrštěním po ztuhnutí a teplotou tavení 879,4 °C. Více informací v **příloze 1**. [10;11;12]

Tab. 1 Chemická kompozice bílé mosazi [10]

Cu [%]	Sn [%]	Zn [%]	Fe [%]	Ni [%]	Al [%]	Mn [%]	Pb [%]
54	max. 1	19-25	max. 1	4-6	0,5-3	11-15	max. 2

- Manganový bronz – viz tab. 2, je to světle zlatá slitina mědi (obr. 8) s horší schopností vyplňovat dutiny. Má podobné vlastnosti jako cínový bronz a využití ve šperkařství. Disponuje vyšším obsahem zinku a nižším obsahem mědi. Dalšími doprovodnými prvky jsou cín, železo, nikl, olovo, hliník a mangan. Více v příloze 2.[13]

Tab. 2 Složení manganového bronzu [13].

Cu [%]	Zn [%]	Fe [%]	Ni [%]	Al [%]	Mn [%]	Sn [%]	Pb [%]
max. 66	max. 28	max. 4	1	max. 4,9	max. 4,9	max. 0,2	max. 0,09

- Křemíkový bronz – viz tab. 3, jedná se o levnější alternativu k cínovému bronzu s lepší schopností vyplňování dutiny formy a o něco větší tvrdostí. Má dobrou chemickou odolnost, patinovatelnost a hlavními příměšovými prvky jsou křemík, hliník, nikl, zinek, olovo, železo a mangan (obr. 9). Více v příloze 3. [14]

Tab. 3 Chemická kompozice křemíkového bronzu [14].

Cu [%]	Zn [%]	Fe [%]	Ni [%]	Al [%]	Mn [%]	Si [%]	Pb [%]
90	3-5	0,2	1	0,8	0,25	3-5	max. 0,09



Obr. 7 Bílá manganová mosaz [10].



Obr. 8 Manganový bronz [10].

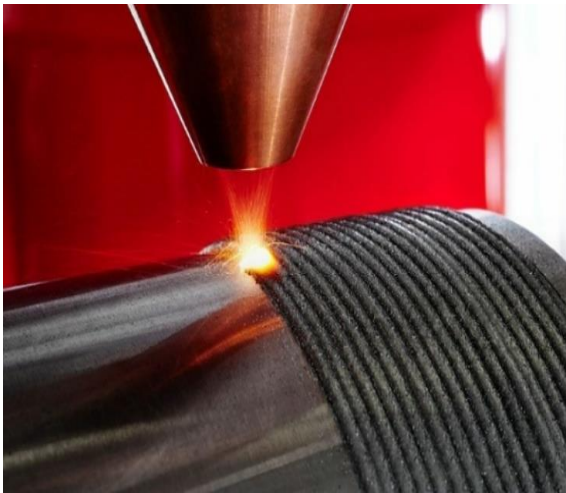


Obr. 9 Ingot křemíkového bronzu [10].

1.1 Možnosti výroby součástí

Ke zhotovení součásti je možno využít několik technologií. Při výběru je nutné zohlednit náležitosti součástky a možnosti daného procesu. Jako hlavní kritéria poslouží vhodnost pro kusovou výrobu, tvarová složitost součástky, kvalita povrchu a vlastnosti materiálu [8]:

- 3D tisk – (**obr. 10**) postupné nanášení vrstev kovového prášku, následné vypalování tepelným zdrojem do požadovaného tvaru a poté je součástka vytvrzována v peci. Tisk kovu je velmi drahý a pořád se rozvíjejícím odvětvím. Je možné vyrábět tvary, které jinými technologiemi nelze zhotovit. Tisk je spíše vhodný pro sériovou výrobu nebo pro tvarově náročné díly př. totální endoprotézy. [15]
- Lisování – (**obr. 11**) princip je založen na plastické deformaci kovu. Dolní zápustky jsou stacionární a horní redukuje výšku polotovaru. Na tři operace je zhotovena součást, která reprezentuje přibližný tvar součástky. Lisovat lze jak za tepla, tak i za studena. Vhodné pro placaté a oblé součástky v sériové výrobě. Je nutností použít lis s přesně vyrobenými zápustkami, které jsou z drahé nástrojové oceli. Tudíž je tato technologie pro ryze kusovou výrobu nevyhovující. [16]



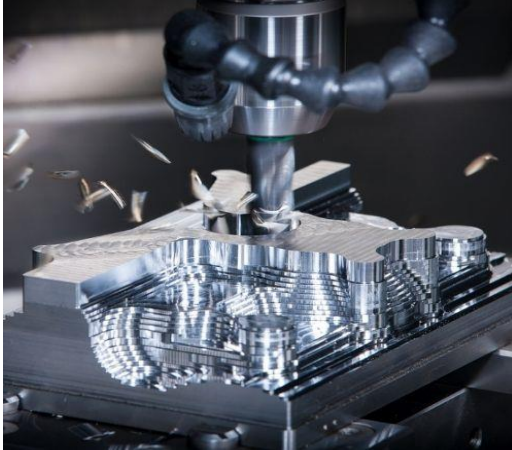
Obr. 10 3D tisk [17].



Obr. 11 Lisování kovu [18].

- Frézování – (**obr. 12**) jedná se o operaci třískového obrábění, kde se nástroj v podobě frézy otáčí kolem své osy a postupně odebrává vrstvy přebytečného materiálu na stacionárním obrobku. Břité nástroje odebrávají z povrchu materiál ve formě třísek, které mají tvar určený polohou a geometrií frézy. Stroj ke svému chodu potřebuje program, který je díky CAD softwarům snadné vytvořit a z hlediska kusové výroby je frézování vhodnou metodou. Výsledný obrobek by ale neměl požadovanou kvalitu povrchu, která by se složitými úpravami musela dohánět. Taktéž metoda disponuje vysokou mírou odpadu a druhý model je takto obtížně zhotovitelný. [19]
- Vysokotlaké lití – **viz obr.13**, roztavený kov je vysokou rychlostí a pod velkým tlakem vháněn do formy. Forma je složena ze stacionární a pohyblivé části, která po odlití a ztuhnutí odjede a odlitek je odstraněn vyhazovači. Velmi efektivní metoda pro sériovou výrobu, po které na odlitku zůstávají stopy po vyhazovačích. [20;21]
- Lítí do kovové formy – **viz obr. 14**, forma gravitačního lití, kdy je roztavený kov odléván do trvalé kovové formy kokily. Nepoužívá se model a forma je vyrobena přímou cestou z kovového materiálu, která má životnost v tisících až desetitisících lití. Výroba formy je finančně náročná a vhodná pro sériovou výrobu. [21]

- Nízkotlaké odlévání – **viz obr. 15**, kov je přítomen v udržovací peci a spojen trubicí s formou. Zvýšený tlak plynu na hladinu taveniny způsobí stoupaní a postupné vyplňování formy. Dochází k pozvolnému vyplnění formy a následnému udržování tlaku po celou dobu tuhnutí. Výsledný odlitek má hladký kvalitní povrch a je vysoce homogenní. V odlitku může však dojít ke vzniku bublin z důvodu špatně těsnící nebo zkorodované stoupací trubice. Technologie je vhodná pro kusovou výrobu, ale daný stroj není ve fakultní slévárně k dispozici. [22;23]



Obr. 12 3D frézování [24].



Obr. 13 Vysokotlaké lití [20].



Obr. 14 Lití do kovové formy [25].



Obr. 15 Stroj pro nízkotlaké lití [26].

- Písková forma – **viz obr. 16**, druh gravitačního lití, kdy je tavenina nalévána do netrvalé formy z písku. Model obohacený úkopy a většími rádiusy je zasypán a udusán pískem, nejprve v jedné polovině formy a následně v druhé. Po dokončení formy je model opatrně vyjmut, rámy se složí na sebe se zajištěním v podobě zaváděcích kolíků a následuje odlití. Kvalita povrchu velmi závisí na druhu použitého písku, ale obvykle je nižší než u následujících metod. Metoda je vhodná pro umělecké lití [21].
- Odlití do sádry – **viz obr. 17**, kov je odléván do netrvalé sádrové formy gravitačním způsobem. Sádra je smíchána s vodou, rozmíchána a následně v dostatečném množství nanesena na model. Je nutné udělat výfuky před ztuhnutím a vypálit vyvážanou vodu z formovací směsi. Po ztuhnutí je forma rozložena, model je vyjmut a forma zpátky složena. Dále je do zafixované sádry nalit roztavený kov. Zanechává kvalitní povrch a vynikající vykreslení detailů. Sádra má však problém s prodyšností a se skladovatelností, kdy nasává vlhkost a ztrácí svoje vlastnosti. Na pracovišti není přítomno vakuovací zařízení. Metoda je vhodná pro umělecké odlitky. [27]

- Skořepina či lití na vytavitelný model – **obr. 18**, voskový model je postupně máčen v keramické břechce, posypáván drtí a sušen. Tímto způsobem je na model nanášeno pět až osm vrstev. Když je forma dodělána, vosk je v peci vytaven a forma keramizačně žíhána pro zpevnění. Následné odlití je na vzduchu nebo ve vakuu a forma je po něm rozbita a odlitek opracován. Metoda zaručuje kvalitní povrch a velmi dobré obalení detailů. Forma je křehká a náchylná na smrštění při tuhnutí. Technologie je vhodná pro umělecké lití. [21]



Obr. 16 Lití do pískové formy [28].



Obr. 17 Odlévání do sádrové formy [29].



Obr. 18 Lití do skořepiny [30].

Díky dostupnosti technologie, kusové výrobě a výsledné kvalitě povrchu odlitku, byla pro odlití vybrané součásti zvolena technologie lití do keramické skořepiny. Detailnější popis postupu odlévání je popsán v praktické části. Práce se dále bude zabírat pouze mědi a jejími slitinami použitelnými v uměleckém slévárenství.

2 HISTORIE MĚDĚNÝCH SLITIN

Jako vůbec první kovovou surovinou, kterou lidstvo dokázalo zpracovat byla tepaná přírodní měď a to už 9000 let př. n. l. První pokusy o zpracování byly 6500 let př. n. l. a jednalo se o experimentování s tavením rudy, toto údobí je známé jako chalkolitické. Co se týče lidských dějin mají měděné slitiny velký význam. Pomyslným technickým průlomem byl objev bronzu (2200 let př. n. l.), po kterém je pojmenována jedna celá epocha lidstva, a to doba bronzová. Objev přinesl vzrůst tehdejší úrovně života a bronz postupně začal vytlačovat tradiční suroviny používané do té doby – kameny, kosti a paroží. Díky vyšším mechanickým vlastnostem než u čistých kovů, byl vhodný pro použití na výrobu zbraní a brnění. Kvůli svému hnědému a lesklému vzhledu byl už tehdy využíván k tvorbě uměleckých a dekorativních prvků jako jsou sošky nebo bižuterie. [8;31;32;33]

Jako kolébkou bronzových slitin lze považovat Egypt, Mezopotámii a Čínu viz **obr. 19**, kde těžba měděných rud započala 5000 let př. n. l. Pravděpodobně docházelo k tavbě rud, kde byly obsaženy dva hlavní prvky pro tvorbu bronzu, a to měď a cín (**obr. 20**). Účelné vyrábění slitiny začalo 1800 př. n. l. Jedny z prvních zemí v Evropě, kde se rozšířila výroba bronzu, byly Řecko a Kypr. V období starší doby bronzové se znalost pro výrobu slitiny dostala i do českých zemí. Území Krušných hor a západních Čech byla bohatá na měď a cín. Díky tomu umožnily rozkvet tehdejší únětické kultury na našem území **obr. 21**. [8;31;32]



Obr. 19 Čínské nože užívané jako platidlo 5 let př. n. l. [34].



Obr. 20 Mapa ukazující naleziště cínu ve světě [31]



Obr. 21 Bronzový býček nalezen u Býčí skály na Blanensku [35].

Nejužívanější klasické bronzы měly zhruba 8 – 12 % cínu a používaly se k výrobě mečů **obr. 22**, seker **obr. 23**, hrotů šípů atd. Dále také byly vyráběny slitiny s obsahem cínu kolem 5 – 6 %, které byly označovány jako měkký nebo ražební bronz. Produkty s nižším obsahem cínu byly tepané pláty zbrojí nebo mince. Tvrdost výrobků byla přibližně v rozmezí 64 – 102 HB pro slitiny s nižším obsahem cínu a 82 – 150 HB pro vyšší obsah cínu. Kromě Sn byl v bronzích přítomen arzén s obsahem 5 – 10 %, který zvyšuje teplotu rekrystalizace. Dále zvyšuje pevnost za vysokých teplot a dává slitině výsledné stříbřité zabarvení. Dalším přítomným prvkem bylo olovo přibližně do 2 %, které zvyšuje obrobiteľnost součástí. [33;36;37;38]



Obr. 22 Bronzový meč [34].



Obr. 23 Měděná a bronzová hlavice sekery z Evropy [34].

Umění vyrábění a lití bronzу bylo nejvíce rozvíjeno v Číně, Japonsku, Indii a Řecku. Velmi významné země z hlediska zásoby mědi v zemské kůře jsou Anglie a Kypr. V 8. století před naším letopočtem začínala být měď nahrazována železem v některých aplikacích. Během prvního století před naším letopočtem byl v Římě objeven způsob, jak vyrábět slitiny mědi a zinku. Proces se nazývá cementace, kdy se zinek nechal vypařovat a absorbovat do mědi. Velký rozmach zažily bronzы v antickém Řecku, kdy téměř všechny vyrobené sochy byly bronzové. Mezi 5. – 15. stoletím byl bronz v Evropě na ústupu a více se využívala slonovina pro menší figurky. V Asii se v těchto dobách tradice soch z bronzу pořád držela **viz obr 24;25**. V Číně díky objevu střelného prachu byla vyráběna první bronzová děla v 9. století. Od 13. století se bronz využíval pro tvorbu náboženských předmětů, př. křtitelnic a zvony. Renesanční umění oživilo tvorbu soch z bronzу obzvláště ve Florencii a Benátkách s propracovanějšími technikami. Mezi nejvýznamnější umělce patří Benvenuto Cellini **viz obr. 26**, Donatello **viz obr. 27**, Lorenzo Ghiberti atd. Na renesanci hojně navázalo baroko se svými sochami, kdy pozorovatel musí obejít celou sochu dokola, aby odhalil význam ztvárněného okamžiku. Následoval opět pokles popularity bronzу. S nástupem průmyslové revoluce se bronz opět dostal do popředí. V 17. – 18. století se v Německu ve velkém začali odlévat zvony a ve Francii děla. Odlitky měly váhu v jednotkách tun a byly zhotoveny na jedno lití. Nejtěžší umělecký odlitek té doby je socha Petra Velikého, která váží 16 tun a byla zhotovena na jedno lití. Ve 20. století se pak poprvé objevily bronzové medaile za třetí místo v Olympijských hrách. Ve tvorbě bronzových soch se pokračuje až do dnes, kdy sochaři mají bohatou inspiraci z minulosti. [32;39;40;41;42;43]



Obr. 24 Bronzová socha Buddy odlitá ve 12. století [44].



Obr. 25 Zvon v Beijingu z 13. století [45].



Obr. 26 Socha Persea s hlavou Medúzy [46].



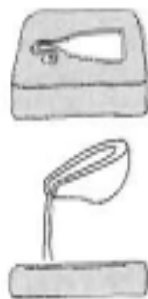
Obr. 27 Socha mladého krále Davida [32].

2.1 Některé tehdejší metody odlévání

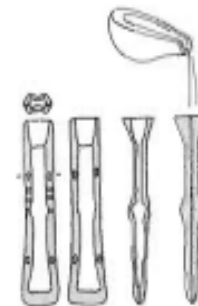
V dřívějších dobách lidé neměli k dispozici velké množství prostředků k tvorbě formy, a tak využívali materiály, které pro ně byly lehce dostupné a hojně rozšířené. Jakožto nejběžnější materiály pro výrobu formy bylo kamení, jílovitá hlína a trus. Formy byly buďto jednodílné (**obr. 28**), dvoudílné (**obr. 29**) nebo vícedílné (**obr. 30**). Vhodným druhem je jílovitá hlína např. žlutá anebo spraš, obsahující malá a ostrá zrnka oxidu křemičitého. Nejrozšířenější variantou odlévání bylo lití do pískové formy. [31;47]



Obr. 28 Netrvalá forma [6].

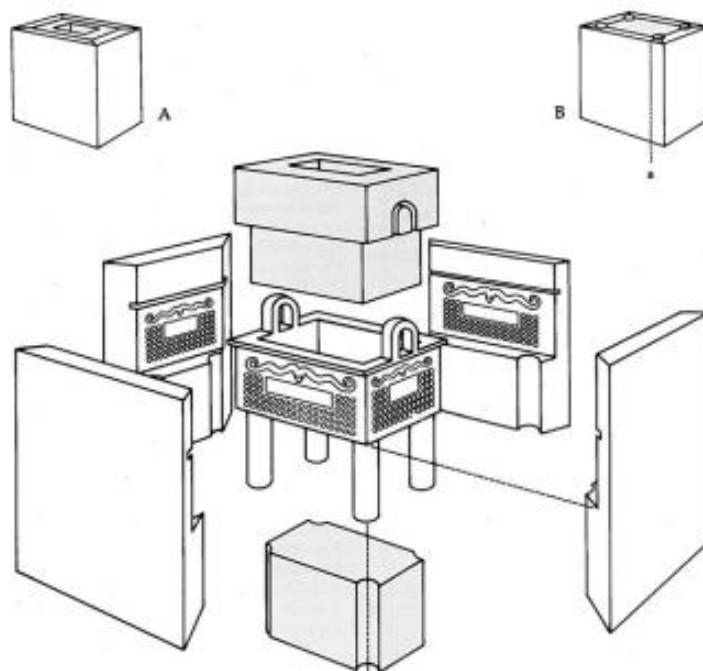


Obr. 29 Jednodílná forma [6].



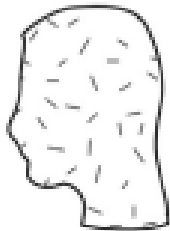
Obr. 30 Dvoudílná forma [6].

Jako jedna z možností pro umělecké odlévání se používala metoda lití do kusové formy na **obr. 31**. Forma složená z několika jílovitých nebo kamenných komponent, kterými se obložil model, většinou vyrobený z jílu a obtisknul se reliéf s veškerými detaily. Forma musela být zpětně rozložitelná a využívalo se také jader. Po vyjmutí modelu se segmenty složily zpátky a bronz mohl být odlit do vzniklé dutiny mezi stěnami formy a jádrem. Metoda byla využívána a rozvíjena především v Číně 1046 let př.n.l. [47;48;49]



Obr. 31 Schéma lití do kusové formy pro čtvercovou nádobu [48].

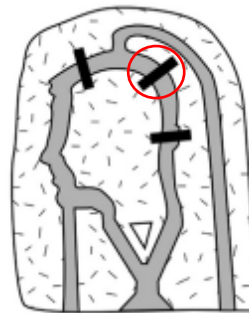
Druhou hojně užívanou metodou, která se využívá dodnes, je lití na ztracený vosk. Známa také jako lití na ztracenou formu, lost wax, nebo lití na vytavitelný voskový model. Nejdříve se musí vymodelovat jádro z jílu, **viz obr. 32**, které reprezentuje přibližný tvar požadovaného odlitku. Dále jsou do něj umístěny vyčnívající úchyty, které zajišťují polohu jílovitého jádra po vytavení vosku. Model je následně pokryt vrstvou vosku, která se vytvaruje do požadovaného tvaru, **viz obr. 33**, včetně veškerých detailů. Po dokončení voskového povrchu je model s jádrem obalen jílovitou vrstvou, **viz obr. 34**, a vložen do pece. Za působení tepla se skořepina vytvrdí a veškerý vosk se vypálí. Zafixované jádro se skořepinou následně tvoří dutinu, do které se nalévá roztavený bronz, **viz obr. 35**. Po ztuhnutí se forma rozbije a výsledný odlitek s keramickým jádrem je očištěn. Metoda uplatňovaná ve středověku, ale i v dnešní době, byla využívána pro odlévání soch (**obr. 36**), sošek zvířat, dekorativních nádob a jiných ozdobných prvků. [48;49;50]



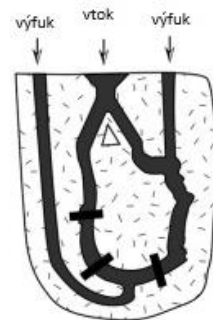
Obr. 32 Jílovité jádro [48].



Obr. 33 Voskový model [48].



Obr. 34 Forma před vložením do pece [48].



Obr. 35 Kovem vyplněná forma [48].



Obr. 36 Bronzová socha zhotovena metodou lost wax [50].

3 MĚĎ A JEJÍ SLITINY

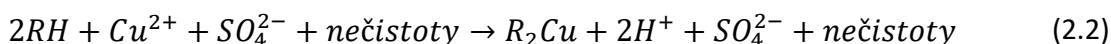
Čistá měď a její slitiny mají obrovský přesah do minulosti a jsou velmi hojně zastoupeny i v dnešní době. Cu se řadí mezi těžké neželezné kovy se značným významem i pro lidské tělo jakožto stopový prvek. Nejvíce se vyskytuje v sulfidových rudách chalkopyritu, chalkocitu, ale také ve formě oxidu kupritu, jen ojediněle se vyskytuje v ryzím stavu. Dříve se z rud získávala pyrotechnologickou metodou v peci, v dnešní době se měď získává [8;37;51; 52]:

- **Hydrometalurgicky** – metoda produkuje přibližně 10 % světové produkce mědi a využívá se především k extrakci z oxidů. Je ekologičtější než pyrometalurgická a spočívá v louhování rudy s řídkou kyselinou sírovou viz 2.1. Výsledkem je těhotný louhovací roztok, který je následně intenzivně míchán s iontovou výměnnou organickou látkou RH viz 2.2. Z reakce vyjde načtená organická látka R_2Cu a zředěná kyselina sírová, zvaná rafinát viz 2.3. Látky jsou nesmísitelné a mají rozdílnou hustotu, tudíž gravitace dané látky odseparuje. Následně je organická látka smíchána s koncentrovanou kyselinou sírovou. Nakonec obohacený síran mědi je podroben elektrovypařovacímu procesu. Jako anoda slouží inertní kov, nejčastěji olovo, a katodu tvoří měď nebo nerezová ocel. Měď se vylučuje na katodě a dále je používána pro kontinuální lití nebo další aplikace. [9;37;52]

Louhování:



Rafinace:



Louhování:

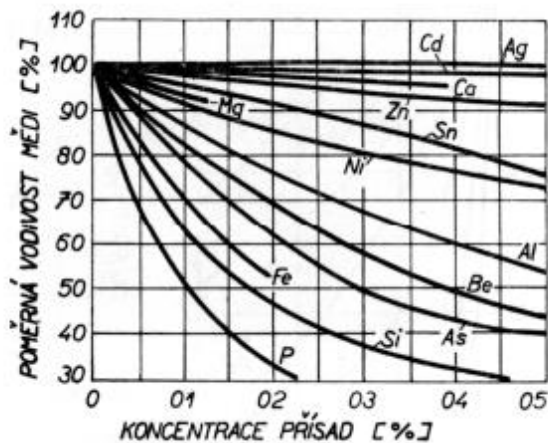


- **Pyrometalurgicky** – nejvíce využívaná metoda, přibližně 90 % veškeré mědi se zpracovává tímto způsobem. Minimální procentuální obsah mědi v rudě musí být 1 % a nejčastěji jsou používány sulfidy. Počáteční zpracování může zahrnovat částečné pražení. Prvním hlavním krokem je tavení v nístějové peci s užitím písku jako separátoru, kde výsledkem je matečná složka a struska. Následuje konverze, kdy je do matečné složky foukán kyslík k oxidaci sulfidů a nečistot. Produktem je zbublinatělá měď, která je podrobena rafinaci. Měď je vystavena teplu a vzduchu k oxidaci nečistot. Dále se přidává i dřevěné uhlí jako zdroj CO a H_2 . Produktem je Cu_2O , který se musí deoxidovat přidáním fosforu např. P205. Výsledná měď má čistotu 99,5 %, ale má nižší elektrickou vodivost z důvodu přítomnosti fosforu. Alternativou k tepelné rafinaci je elektrolytická rafinace, která vydává vyšší čistost mědi. [9;37;52]
- **Elektrolytickou rafinací** – pro dosažení vyšší čistoty se používá elektrolýza. Měď takto dosahuje čistoty 99,95 %. Metoda je podobná jako hydrometalurgická. Materiál je ponořen do kyseliny sírové viz 2.3 společně s elektrodami. Na katodě se usazuje měď a na anodě kaly, které ale mohou být cenným zdrojem vzácných kovů. Metoda se především využívá pro aplikace mědi v elektronickém průmyslu. Jedná se o sekundární operaci již vyrobené mědi. [9;54;55]

Čistá měď má mimořádně vysokou tepelnou a elektrickou vodivost, kterou velmi významně snižují nečistoty a příměsové prvky **obr. 37**. Není polymorfní a má plošně středěnou kubickou mřížku (dále jako FCC). Korozní vlastnosti čistého kovu jsou velmi dobré, ale při vystavení vlhku nebo srážkám tvoří na svém povrchu zelenomodrou patinu ze sulfidů mědi zvanou měděnka **viz obr. 38**. Měď je taktéž náchylná na vodíkovou nemoc. Ryzí kov má poměrně nízké mechanické vlastnosti, lze hůře obrábět a má nízkou tvrdost oproti jeho slitinám **viz tab. 4**. [8;9;37]

Tab. 4 Mechanické vlastnosti mědi [56;57].

R _m [MPa]	R _{p0,2} max [MPa]	A 50 [%]	HB
220	120	35	50



Obr. 37 Vliv prvků na elektrickou vodivost mědi [8].



Obr. 38 Koroze mědi [58].



Obr. 39 Měděné vodiče [59].



Obr. 40 Varná pánev [60].

Hlavní využití mědi je ve stavebnictví: trubky, topná zařízení, klimatizační systémy, okapy atd. Druhým největším spotřebitelem je elektrotechnika, kde se využívá pro výrobu vodičů (**obr. 39**). Další využití je pro kování, chladiče v automobilech, pivovarnictví (**obr. 40**) a šperkařství. Pro jiné aplikace se používají téměř výhradně slitiny, které jsou rozděleny do tří skupin podle šířky pásma tuhnutí [8;9;54;55]:

- Skupina I – řadí se sem slitiny s úzkým rozsahem pásma tuhnutí, tj. vzdálenost mezi křivkami likvidu a solidu činí 50 °C. Jedná se o žluté mosazi, hliníkové a niklové bronz, slitiny manganového bronzu, chromovou a čistou měď. [8;9]

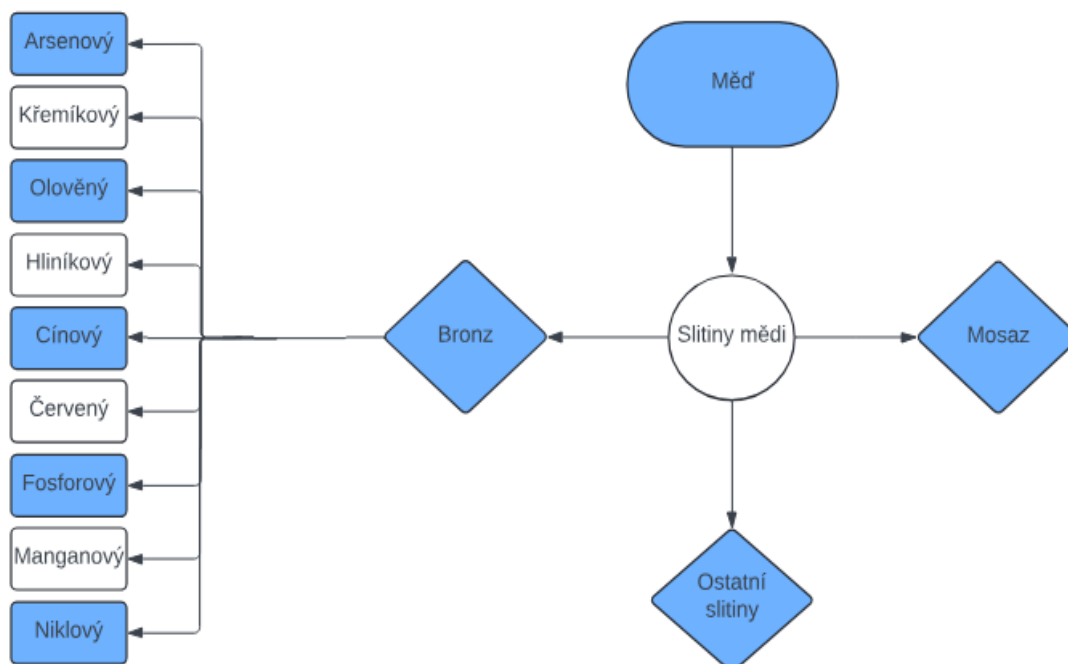
- Skupina II – vyznačuje se středně širokým rozsahem tuhnutí mezi 50 až 110 °C v oblasti tavenina + kov. Do kategorie spadají křemíkové bronzы a mosazi, slitiny beryllia a niklu s mědí. [8;9]
- Skupina III – slitiny, u kterých je pásmo tuhnutí v největším rozmezí a to 110 až 170 °C. Do skupiny se řadí červené olovnaté mosazi, cínové a olovnaté bronzы a slitiny s vysokým obsahem olova. [8;9]

U slitin mědi se často využívají jejich specifické mechanické, frikční, fyzikální a antikoroziční vlastnosti, které u jiných slitin nejsou dosažitelné. Základní rozdělení podle hlavního příměsového prvku je na mosazi a bronzы. Některé skupiny se ale označují podle názvu hlavních prvků př. mědiníkl. Většina slitin mědi s jinými prvky, vyjímaje zinku, se označují jako bronzы. [8;9]

3.1 Bronz

Podle hlavního příměsového prvku nebo skupiny prvků se bronzы dělí do materiálových skupin. Nejvýznamnější jsou cínové, hliníkové, cínoolověné a olovené. Z dalších slitin se vyrábí např. Cu – Ni, Cu – Be, Cu – Cr, avšak v menším rozsahu. Šířka intervalu tuhnutí má rozhodující význam pro doplňování kovu do tuhajícího odlitku ve formě a segregaci přísadových prvků. Úzké pásmo značí dobré dosazování kovu na velké vzdálenosti a vede k tvoření staženin v nálitcích, nikoliv mikrostaženin v odlitku. Široké pásmo vede ke tvorbě staženin a ředin v odlitku a je zde malá účinnost nálitkování. Vysoká heterogenita vede ke koncentraci prvků s nižší teplotou tuhnutí na hranicích zrn př. vznik fáze δ po hranicích zrn fáze α u cínového bronzu. [8;9]

Díky přidání různých legujících prvků se bronzы velmi značně větví na různé druhy **obr.41**. Vůbec první slitinou byl arsenový bronz, který měl vyšší tvrdost a stříbrnou barvu. Zhruba 3 000 let před naším letopočtem ho nahradil cínový bronz, který má lepší mechanické vlastnosti a není toxický. Díky legujícím prvkům bronzы nabývají lepších vlastností, které se využívají např. u ložisek, v topeňářství, u ozubených kol atd. [8;61]



Obr. 41 Dělení bronzů.

3.1.1 Cínový bronz

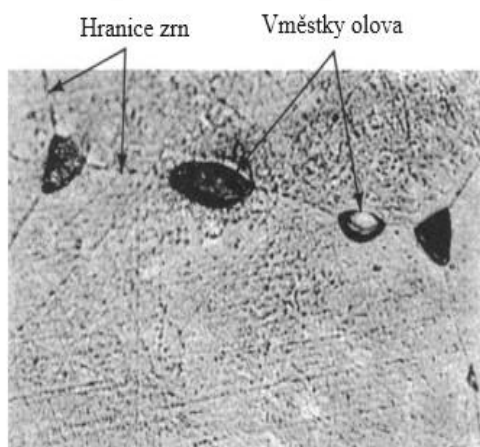
Jedná se o nejužívanější slitinu mědi. Jako hlavní legující prvek je cín, který je poměrně drahý. Momentální cena čistého cínu se pohybuje kolem 800 korun za kilo ke květnu 2024. Jako čistá měď má i většina bronzů FCC krystalickou mřížku, ale má vyšší mez pevnosti, viz **tab. 5**. Mechanické vlastnosti závisí na obsahu cínu a doprovodných prvcích. Někdy slitina obsahuje příměsové prvky ve formě Ni max. 2 % a 0,5 – 1 % Pb. Legování niklem zlepšuje slévárenské vlastnosti, korozní odolnost a vylučuje se jako intermetalická sloučenina Ni_3Sn , která zvyšuje pevnostní vlastnosti. Olovo se koncentruje na hranicích primárních zrn mědi, viz **obr. 42** a v oblasti tepelné osy. Zlepšuje obrobitelnost a samomazací schopnost na úkor pevnostních a plastických vlastností. Bronz s obsahem cínu 5 – 10 % a fosforu max. 1 % se nazývá fosforový bronz (**obr.43**), který se používá pro výrobu ložisek. [8;9;37;54]

Tab. 5 Mechanické vlastnosti cínového bronzu [8].

R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	A [%]	HB
250-300	140-170	10-30	80-100

Obsah cínu u běžně používané slitiny je 5 – 10 %, ale existují speciální cínové bronzy, které mají vyšší obsahy legujícího prvku [8]:

- Zvonovina **obr. 44** – obsahuje 15 – 20 % Sn a používá se pro odlévání těl zvonů. Vysoký obsah cínu zajišťuje tvrdost, čímž je dosaženo výrazně kovového zvuku. [8]
- Dělovina viz **obr. 45** – obsah legujícího prvku se pohybuje mezi 10 a 12 % a používá se pro odlévání hlavni. [8]
- Zrcadloovina – obsahuje od 30 % do 33 % cínu a je velmi dobře lešitelná do vysokého lesku. Dříve se slitina používala při výrobě optických zrcadel pro velmi přesné optické přístroje. [8]



Obr. 42 Mikrostruktura slitiny mědi s obsahem Cu3Pb [54].



Obr. 43 Příklad fosforového bronzu [62].



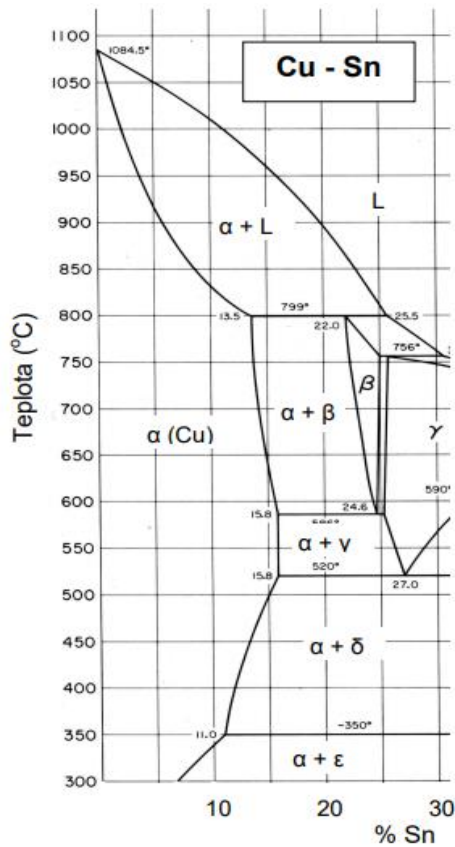
Obr. 44 Odlitek zvonu z CuSn20.



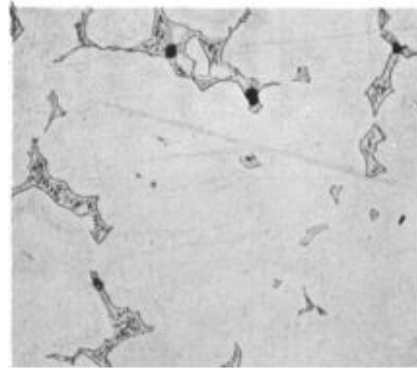
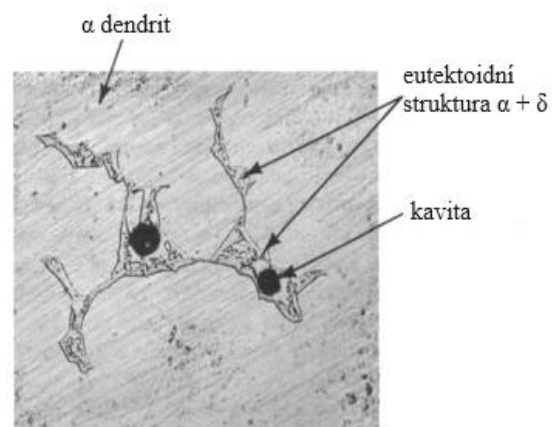
Obr. 45 Tsar dělo [63].

V závislosti na obsahu cínu, segregací a disperzitě prvku se ve struktuře bronzu vyskytují fáze, na **obr. 46** [8]:

- α – substituční tuhý roztok cínu a mědi s FCC mřížkou s dobrými plastickými vlastnostmi. Teoretická rozpustnost hlavního legujícího prvku je 15,8 %, ale vlivem nízkého rozdělovacího koeficientu dochází k velké mikrosegregaci cínu. Segregace způsobena širokým pásmem tuhnutí zapříčiňuje vznik δ fáze za normálních teplot ve slitinách i s nižším obsahem Sn. Rychlým ochlazením lze dosáhnout α fáze s daleko jemnější strukturou a lepšími mechanickými vlastnostmi, **viz obr.47**. [8;9;54]
- β a γ – mají prostorově centrovanou kubickou mřížku (dále jen BCC) a o něco horší plastické vlastnosti než u α fáze. β fáze se vyskytuje při obsahu cínu 12 – 25 % a je možné tuto fázi stabilizovat až do normální teploty precipitačním vytvrzením. Za teplot 650 – 750 °C může být tvářena za tepla. Čistá γ fáze se ve struktuře objevuje při obsahu cínu 25 – 42%. [8;54]
- δ – jedná se o elektronovou sloučeninu $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ se složitou kubickou mřížkou. Vzniká eutektoidní přeměnou z fáze β nebo γ . Je to tvrdá a křehká fáze s výbornými kluznými vlastnostmi. Za pokojové teploty je výsledná struktura tvořena α fází a eutektoidní fází $\alpha + \delta$, na **obr. 48**. S přibývajícím koncentrací se zvyšuje pevnost, ale snižuje houževnatost. [8;54]



Obr. 46 Fázový diagram Cu-Sn [8].


 Obr. 47 Jemnější struktura α fáze po rychlém ochlazení [54].


Obr. 48 Mikrostruktura CuSn10 [54].

Cínový bronz se mimo výrobu ložisek, ozubených kol a čepů využívá i k uměleckému lití viz obr.49;50. Nejčastěji používaná binární slitina mědi a cínu je o obsahu Sn 7-12 %, která má zlatavou barvu. Pro odlévání soch se používá slitina s obsahem 10 % cínu. Kvůli širokému pásmu tuhnutí cínový bronz hůře vyplňuje dutiny a detaily. I když se jedná o tradiční slitinu, hojně se pro umělecké lití využívají jiné levnější bronzy a mosazi. Další častou používanou slitinou jsou tzv. červené bronzy s příměsí zinku a olova. [8;9;64]



Obr. 49 Čerstvě odlitá bronzová socha [64].



Obr. 50 Busta T. G. Masaryka [65].

3.1.2 Cínovo olověný bronz

Podle koncentrace a obsahu příměsových prvků se bronzы tohoto typu dělí do dvou skupin. První skupinou jsou slitiny mědi s cínem, zinkem a olovem, taktéž zvané jako červené bronzы. Druhou jsou poté slitiny mědi s cínem a olovem. Červený bronz často nahrazuje cínový bronz i v uměleckém odvětví slévárenství viz obr 45;46. Jelikož má nižší obsah cínu a to 4 – 8 % je daleko levnější a používá se nejčastěji pro armaturní odlitky, komponenty pro hydrauliku a ložiska. Drahý cín je u této slitiny nahrazován levným zinkem a olovem 2 – 9 % Zn a 3 – 8 % Pb. Mechanické vlastnosti jsou o něco nižší viz tab. 6 než u cínového bronzu. Zejména však tvrdost, ale příměs olova zlepšuje kluzné vlastnosti, těsnost odlitku, obrobiteľnost a chemickou odolnost. Když se zinek nahradí fosforem, dojde k navýšení tvrdosti, únavové odolnosti a odolnosti vůči korozi. [8]

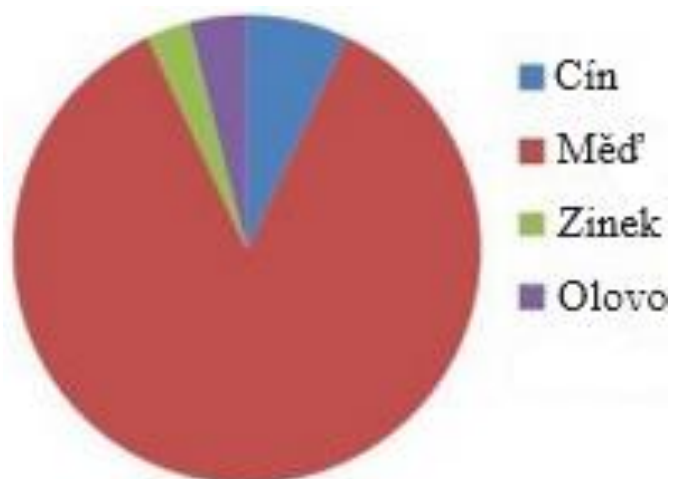
Tab. 6 Přehled mechanických vlastností [8;54].

R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	A [%]	HB
220-260	110-130	15-20	60-70

Při vyšším obsahu Pb, tj. u olovnatých bronzů, se vyskytuje vysoká náchylnost k segregaci, jelikož olovo je v mědi rozpustitelné pouze minimálně v kapalném stavu a kompletně nerozpustné v pevném stavu. V důsledku velmi rozdílných hustot a teplot tuhnutí vznikají ve struktuře čisté krystaly olova a mědi. K redukci jsou zapotřebí komplikované metalurgické pochody a intenzivní míchání. Slitina má výborné kluzné vlastnosti a využívá se k výrobě ložisek. Z důvodu horší zabíhavosti kovu se, ale nepoužívá v uměleckém slévárenství. [8;54]



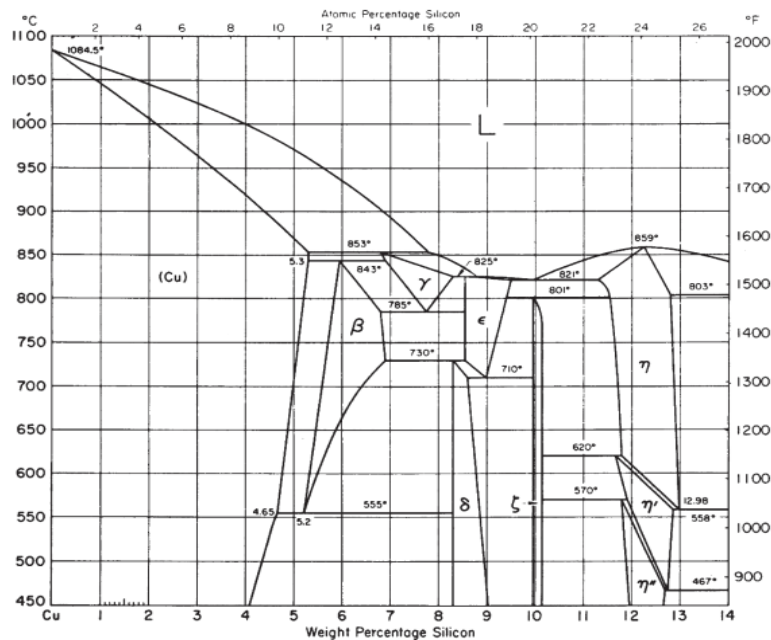
Obr. 51 Soška z červeného bronzu [66].



Obr. 52 Koláčový graf složení [64].

3.1.3 Křemíkový bronz

Slitiny mědi a křemíku byly poprvé představeny v roce 1920 a to pod dvěma názvy Herculyo a Everdur. Druhá zmíněná slitina neobsahuje zinek. Podle obsahu Zn se pak dále slitiny dělí na mosazi a bronz, kdy mosaz má více jak 5 % zinku a bronz méně. Slitina má skvělou slévateľnost a u některých aplikací ji lze považovat jako adekvátní náhradu za cínový bronz. V dnešní době není moc používaný kvůli kompatibilitě s ostatními slitinami, ale díky tomu, že nekontaminuje atmosféru ve slévárně olovem, by mohl být v budoucnu více používán. [67]

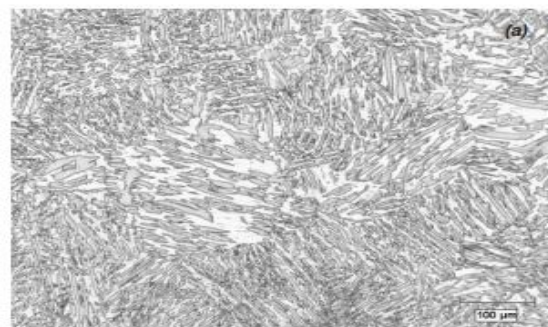


Obr. 53 Fázový diagram Cu-Si [67].

Čím je vyšší obsah křemíku ve slitině, tím víc roste pevnost a tvrdost na úkor tažnosti. Maximální rozpustnost Si v Cu je při koncentraci 5,3 % **obr. 53**, u vyšších obsahů vznikají křehké fáze β . Přítomnost prvku jako je železo nebo mangan způsobuje vznik intermetalických sloučenin obsahující křemík. Ty se vyskytují na hranicích zrn nebo uvnitř jako jemné precipitáty a mají na slitinu značný zpevňující efekt. Při koncentraci 4 % Si a 4 % Zn se ve struktuře značně vyskytuje tvrdší β **viz obr. 54;55** a také se významně zvětšuje pásmo tuhnutí. Slitiny s vyšším obsahem sekundární fáze mají vysoké sklony ke křehnutí. Obvyklá koncentrace křemíku pro strojírenské použití nepřesahuje 3,5 %. Dalšími doprovodnými prvky jsou mangan, zinek, nikl, cín a železo. [8; 67]



Obr. 54 Mikrostruktura s β fází při nízkém obsahu Zn [67].



Obr. 55 Mikrostruktura s β fází při vysokém obsahu Zn [67].

Křemíkové bronzы jsou vhodné pro použití do 180 °C. Vyznačují se vysokou chemickou odolností v řadě prostředí a velmi dobrými frikčními vlastnostmi. Jako taková je slitina velmi populární v uměleckém slévárenství ve formě Everduru viz obr. 56;57. Pro tyto účely má dostačující pevnost, houževnatost, nízké smršťování při tuhnutí a také malé množství nečistot v odlitku. Je ideální pro přidání patiny na sochy. Při vystavení určitým kyselinám se barva změní na zelenou, hnědou, modrou nebo i černou. Ve své přirozené barvě se zejména využívá ve šperkařství i pro složitější kusy, protože dobře snáší tažení a tepání. Tavenina jako taková nesmí být příliš přehřátá, jinak začne pohlcovat vodík, který pak vede k prasklinám. [8;9;67;68]



Obr. 56 Dekorativní odlitek sov [68].



Obr. 57 Socha z křemíkového bronzu [69].

3.1.4 Manganový bronz

Jedná se o materiál s vysokou pevností R_m až 820 MPa, tažností menší jak 18 % a vysokou houževnatostí viz tab.7. Slitina je homogenní do obsahu 20 % Mn, ale při rychlém ochlazení je možné získat stejnorodou strukturu i za vyšších koncentrací manganu. Disponuje vysokou korozní odolností, dobrými elektrotechnickými schopnostmi a vysokými mechanickými vlastnostmi do teplot 300 °C. Oproti ostatním bronzům má vysokou únavovou pevnost. Nejedná se o běžně odlévanou slitinu. Obvykle má slitina žlutohnědou barvu, ale vlivem reakce s kyslíkem se na povrchu časem vytvoří patina z oxidu mědi. Má jemnozrnnou strukturu a povrch je poměrně dobře leštitelný. [8;70]

Tab. 7 Mechanické vlastnosti manganového bronzu [70].

$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	E [GPa]	HB
460	820	117	225

Kvůli své vysoké tvrdosti je manganový bronz špatně obrobitelný a taktéž má vyšší bod tání a to 885 – 920 °C. Díky svým korozním a únavovým vlastnostem je využíván pro námořní aplikace, ozubená kola, ložiska, části podvozků a části výrobních strojů. Slitina je poměrně složitá na výrobu, což se také odráží na ceně. Špatně snáší abrazivní prostředí, které může narušit její strukturální integritu. Prvky, které jsou obsaženy ve slitině jsou hliník, železo, cín, olovo a vysoká koncentrace zinku a to až 42 %. Kvůli vysokému podílu Zn v kovu je slitina na pomezí mezi bronzem a mosazí. [70;71]

Manganový bronz se taktéž dá využít pro umělecké slévárství **obr. 58**, zejména pak pro šperkařství. K předejití vyššímu smrštění, zakalení a zlepšení tečení se dá využít odstředivého lití do přehřáté formy. Také se při tavení odpařuje poměrně vysoké procento zinku, které je nutné doplnit zpátky. Pro zlepšení zabíhavosti je taktéž možné slitinu legovat niklem, který dodá slitině stříbrnou barvu. Na **obr. 59** lze vidět vliv zvyšující se koncentrace manganu na barvě odlitku. [8;9;72]



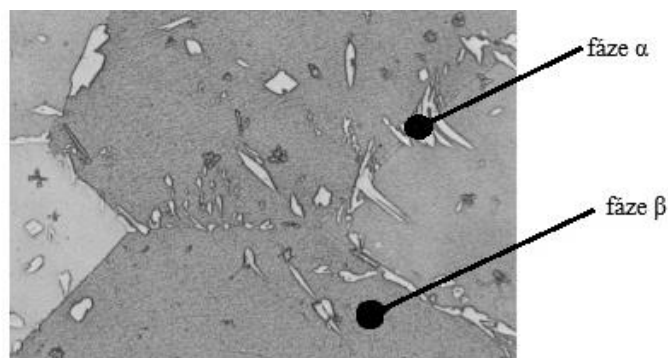
Obr. 58 Soška z manganového bronzu [73].



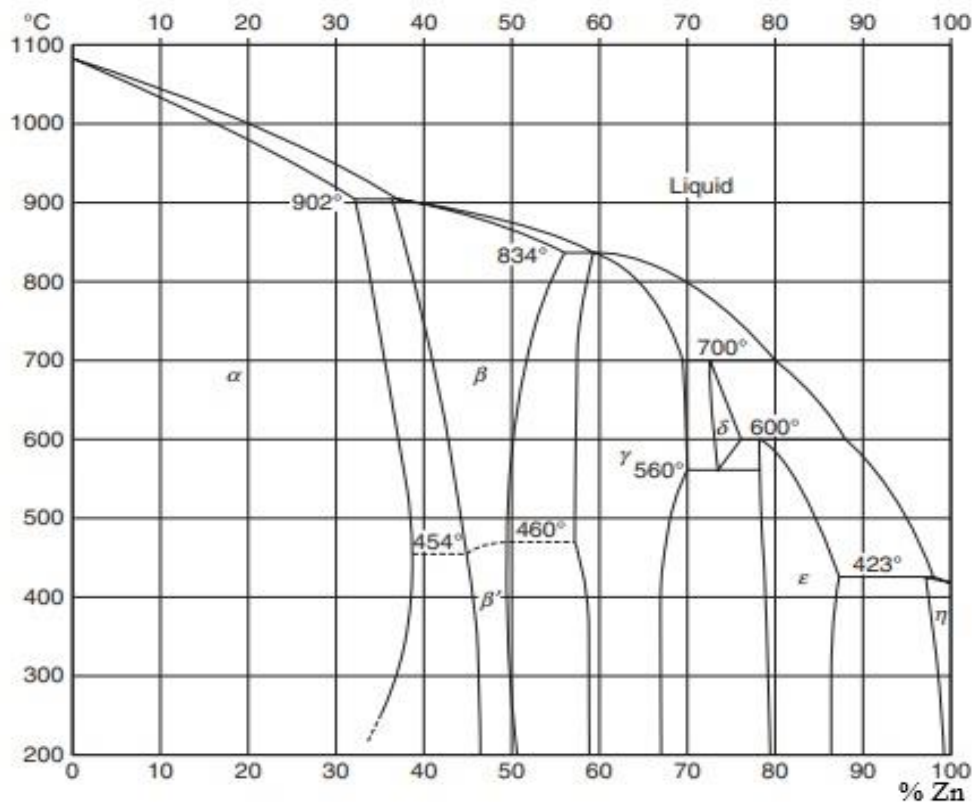
Obr. 59 Čím vyšší je podíl manganu, tím je odlitek světlejší [74].

3.2 Mosaz

Jedná se o rozsáhlou skupinu slitin na bázi mědi a zinku. Maximální rozpustnost Zn je 39 % za teploty 456 °C a při teplotě 903 °C je 32,5 %. Mosaz má dvě podstatné fáze, a to α a β fázi na **obr. 60**. Fáze α má FCC mřížku a dobré plastické vlastnosti. Po překročení koncentrace zinku nad 38 % se ve struktuře začíná objevovat fáze β , **viz obr. 60**. V tomto stavu má slitina BCC mřížku a tvoří roztok na bázi elektronové sloučeniny a má taktéž dva různé stavy za různých teplot. Za teplot vyšších než 460 °C je krystalová mřížka v neuspořádaném stavu a má excelentní zpracovatelnost za tepla. Za nižších teplot se ve struktuře vyskytuje uspořádaná BCC mřížka, která má za následek navýšení pevnosti na úkor tažnosti a houževnatosti. Slitiny tvořené pouze β fází jsou v průmyslu takřka nepoužitelné, a tak maximální koncentrace zinku v mosazích nepřesahuje 45 %. Fáze α je oproti β relativně měkká a tvárná, což zapříčiňuje právě nižší obsah zinku. [8;9;37;67]



Obr. 60 Struktura při koncentraci 39,5 % Zn a 1 % Al [67].



Obr. 61 Fázový diagram Cu-Zn [37].

Slévárenské mosazi obsahují v sobě velkou řadu příměsových prvků a nečistot, které ovlivňují vlastnosti a také velikost oblasti fáze α **obr. 61**. Hlavními doprovodnými prvky jsou [8]:

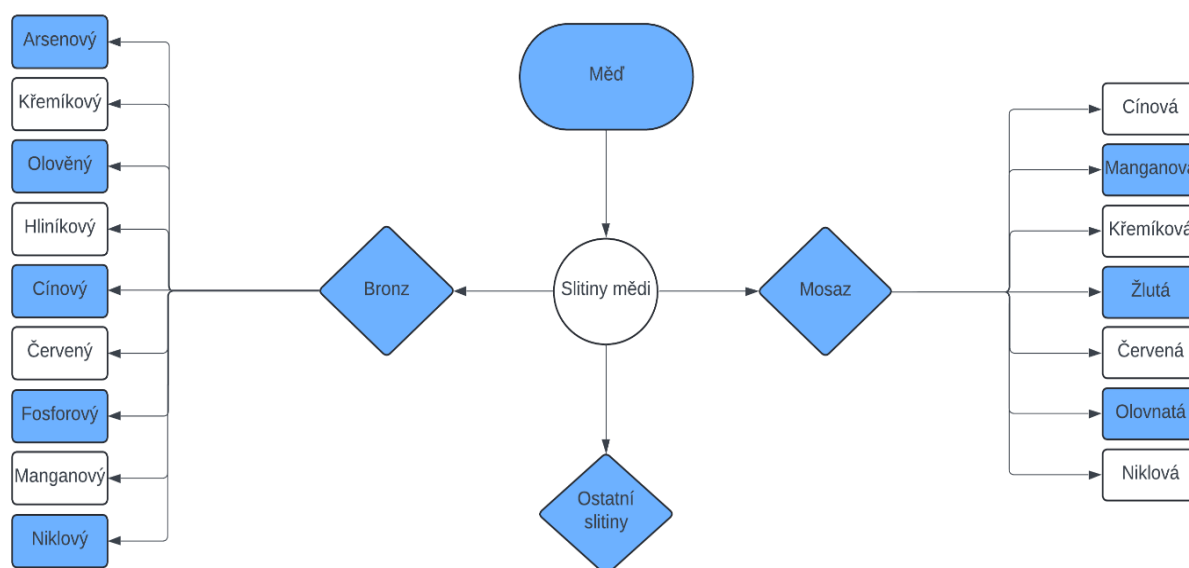
- Železo – je nerozpustné ve slitině, zjemňuje zrno a zpevňuje matici. Částice se usazují na hranici nebo uvnitř zrna ve formě intermetalické fáze jako černý kulatý nebo rozetový vměstek. Pozitivně ovlivňuje tuhnutí v tlustých sekcích odlitku, kde předchází vzniku hrubého zrna. Při vyšším obsahu tvoří tvrdé skvrny, které negativně ovlivňují obrobiteľnosť a vzhľad povrchu. Obsah Fe ve strukture býva obvykle do 0,5 %, ale může být až ke 3 % u vysokopevnostních mosazích. [8;67]
- Hliník – zvyšuje korozní odolnost, pórovitost odlitků a zabraňuje zatuhnutí pohyblivých částí. Má tendenci podporovat vznik fáze β a to tak, že má šestinásobný zinkový ekvivalent **obr. 60**, tudíž zvyšuje tvrdost a zhoršuje houževnatost. Taktéž minimalizuje vypařování zinku při tavení a zlepšuje tečení taveniny, ale zvyšuje smršťování při tuhnutí. Obvyklý obsah je 0,15 – 0,3 % a u speciálních až 3 % Al. [8;9;67]
- Nikl – zvyšuje houževnatost a korozní odolnost. Je rozpustný v α fázi a v koncentracích do 0,3 % příznivě ovlivňuje velikost zrna, ale při vyšším obsahu způsobuje hrubnutí a zhoršení obrobiteľnosti. Maximální obsah ve slitině do 1 %. [8;67]
- Mangan – zvyšuje pevnost, aniž by nějak ovlivnil tvárnost. Je rozpustný v α i β fázi do 4 % koncentrace. Má nízký ekvivalent zinku a to 0,5 a pozitivně ovlivňuje slévárenské vlastnosti. Obvyklý obsah se pohybuje od 0,2 do 0,5 % a u legovaných mosazí dosahuje koncentrace i vyšší než 5 %.
- Olovo – je ve slitině téměř nerozpustné a ve strukture se vyskytuje v podobě kuliček. Snižuje houževnatost a zlepšuje obrobiteľnosť, obsah do 1 %. [8;67]

- Cín – zlepšuje korozní vlastnosti, obzvláště vůči slané vodě, zabíhavost a pevnost slitiny. Také vede ke zkracování za tepla a k problémům s praskáním, zejména u tenkostěnných odlitků. [8;67]
- Bor – snižuje tendenci k praskání za tepla a ve formě tavidla se využívá k zušlechťování zrna. Má tendenci reagovat se železem za vzniku boridu železa, který způsobuje vznik tvrdých míst a následné horší vlastnosti povrchu. [67]
- Zirkon – používá se pro zušlechťování zrna. [67]
- Selen, antimon, telur, síra mají negativní vliv na výsledné vlastnosti mosazí. Do této skupiny se také počítá křemík, pakliže se nejedná o mosaz přímo legovanou křemíkem. Obsahy těchto prvků se obvykle pohybují pod 0,01 %. [8;67]

Struktura mosazí se mění podle obsahu zinku a také dalších prvků, které mají určený zinkový ekvivalent. Vyjadřuje účinek jednotlivých prvků vzhledem k účinku zinku. Napomáhá určit výslednou strukturu slitiny př. slitina s obsahem zinku 30 % může mít strukturu jako kdyby měla 45 % vlivem příměsových prvků. Největší ekvivalent z běžně se vyskytujících prvků ve slitině má křemík 10 a naopak nejnižší nikl -1,3. To znamená, že 1 % Si má stejný vliv na strukturu jako 10 % zinku. Proto je nutné spočítat relativní množství mědi a zinku ve struktuře, protože by mohlo dojít k poklesu pevnosti a tažnosti za nižších obsahů zinku ve slitině. Mosaz jako taková má střední mechanické vlastnosti viz tab. 8, ale má výborné slévárenské vlastnosti, a to zejména díky svému úzkému pásmu tuhnutí. Patří do skupiny I, takže má skvělou zabíhavost a malý sklon ke vzniku ředin, proto se používá v uměleckém slévárenství. Disponuje středním smrštěním po ztuhnutí a to 1,5 %. Praktické použití je při výrobě armatur, pouzder a součástí pracujících v solných roztocích. [8;9;67]

Tab. 8 Mechanické vlastnosti mosazi [8].

R _m [MPa]	A [%]	HB
200 - 300	10 - 20	70 - 100



Obr. 62 Rozdělení mosazí a bronzů.

Stejně jako bronz má i mosaz rozdílné druhy podle toho jakým prvkem je legována **obr. 62**, mimo zinku. Obecně by se dalo říci, že mosazi disponují lepší zabíhavostí a tvárností než bronzy. Druhy mosazí:

- **Žlutá** – jedná se o nejběžnější typ mosazi a její kompozice je z mědi, zinku a popřípadě cínu a olova. Vlastnosti jsou popsány výše. Slitina se využívá pro umělecké lití. Kov s vysokým obsahem mědi a nízkým obsahem zinku do 20 % se nazývá tombak. Pakliže je slitina legována ještě cínem pro lepší korozní odolnost a nižší vypařování zinku, slitině se říká cínová mosaz. [8;9;67]
- **Červená** – slitina obsahuje 2 – 15 % zinku, až 5 % cínu a 8 % olova. Má široké pásmo tuhnutí, které vede ke špatné zabíhavosti a nutnosti použití nálitků. Jakožto dezoxidační činidlo je využívána 15 % fosforová měď. Z hlediska uměleckého lití se slitina dá využít například pro odlévání soch. Využití taktéž nachází ve zbrojním průmyslu. [9;67]
- **Olovnatá** – mimo mědi a zinku obsahuje až 3 % olova. Pb působí jako mazivo při zpracování a díky němu je slitina dobře obrobitelná. Produkuje se převážně ve formě kulatých profilů a disponuje vysokou korozní odolností. Vysoký rozsah pásma tuhnutí však zapříčiňuje až 2 % výskyt porozit u velkých odlitků. Pro umělecké lití spíše nepoužitelná. [9;67]
- **Křemíková** – mechanické vlastnosti závisí na obsahu zinku a křemíku, který má nejvyšší zinkový ekvivalent, proto je nutné u těchto slitin kontrolovat složení. Maximální obsah křemíku je do 4 %. Do slitiny se taktéž přidává kolem 3 % olova ke zlepšení odolnosti proti opotřeby. Má dobrou korozní odolnost a mechanické vlastnosti za nízkých teplot i pod nulou. Při překročení 290 °C se slitina stává extrémně křehkou. Disponuje nízkou teplotou tání a dobrou tekutostí, což přispívá k její univerzálnosti při lití. Odlévat lze do keramických a kovových forem, dále je vhodná pro odstředivé a tlakové lití. Využívá se pro ložiska, armatury a ozubená kola. Díky své dobré zabíhavosti je kov velmi dobře využitelný v uměleckém slévárenství. [9;67]
- **Manganová** – tyto slitiny jsou pečlivě smíšené žluté mosazi s odměřeným množstvím železa, manganu a hliníku. Kov je třeba roztavit a zahřát na teplotu vzplanutí nebo na teplotu, při níž lze detekovat páry oxidu zinečnatého. V tomto okamžiku by se měl kov vyjmout z pece a vylít. Jediným přídatkem, který se u těchto slitin vyžaduje, je zinek kvůli jeho vyhořívání - oxidování. Přidává se takové množství, aby se koncentrace vrátila na původní hodnotu. Do této skupiny taktéž lze zařadit bílou manganovou mosaz, která se dělí na dvě slitiny. Obě jsou slitiny mědi a zinku, obsahující velké množství manganu a v jednom případě i niklu. Jedná se o slitiny typu manganového bronzu, které lze odlévat při nízkých teplotách, protože jsou velmi tekuté a neměly by se přehřívát. [9;75;76]
- **Niklová** – obsahuje 8 až 20 % niklu, který je zcela rozpustný v homogenní mosazi α a zvětšuje rozsah této fáze. Homogenní slitiny jsou vhodné pro tváření za studena a pro hluboké tažení. Heterogenní slitiny $\alpha+\beta$ jsou dobré pro zpracování za tepla. Niklové mosazi mají vysoké mechanické vlastnosti, odolnost proti korozi a jsou snadno leštitelné. Jedna z nejstarších slitin obsahuje 60 % mědi a 14 až 18 % niklu. Používají se na výrobu ozdobných a užitných předmětů. Tyto slitiny mají mnoho různých obchodních názvů, například "pakfong", "alpaka", "argentan" atd. Používají se ve stavebnictví, přesné mechanice, při výrobě lékařských přístrojů a pro namáhané pružiny (vysoký modul pružnosti).[9]

4 NÁVRH A ODLITÍ VLASTNÍHO ODLITKU

Ze zadání vyplývá, že model není fixně dán a v kapitole 1. Rozbor zadání byla vybrána přezka pro šampionský opasek, která bude ve formě poměrně tenkostěnného odlitku. V bojových sportech má opasek velký význam, jelikož se jedná o prestižní ocenění pro nejlepšího bojovníka v dané váhové kategorii. Bojovníci se ke své titulové šanci obvykle proboujovávají a pracují na sobě roky. Když jsou úspěšní, tak je jim udělena čest zápasit v titulovém zápase, který je odlišný od běžných, a to zejména v délce a pozornosti, kterou zápas přitahuje. Obvykle je štítek na přední straně opasku plochý nebo vypouklý. Tvary a ornamenty nejsou nijak přesně specifikovány. Jediné, co všechny přezky mají společné je logo anebo název organizace či instituce. Většinou jsou vyrobeny z kovu, a to převážně ze slitin zinku. V případě této práce byla však použita slitina mědi. Ze tří slitin byla vybrána manganová mosaz. Přednostní výhodou je úzké pásmo tuhnutí, a tudíž výborná schopnost vyplnit i tenkostěnné odlitky bez vzniku ředin a nutnosti náliťkování. Taktéž materiály k přípravě této slitiny jsou k dispozici ve fakultní slévárně, vyjma niklu, který je nahrazen dalším manganem. Slitina jako taková se ještě na FSI nikdy předtím neodlévala. [77]

Podle typického kritéria pro vzhled byly vytvořeny dva modely. První model na **obr. 63** je vytvořen na motivy odboru slévárenství. Tvar osmiúhelníku byl převzat z opasku UFC, a dále je na modelu “dusačka“, dva kelímky, zkratka a logo fakulty. Druhý model **obr. 64** je vytvořen podle opasku z organizace Bellator. Oproti prvnímu obsahuje navíc zkratku Ústavu strojírenské technologie, roky bakalářského studia a více vybrání po okraji. Tloušťka druhého modelu je konstantních 7 mm, vyjma písma, které má 8 mm. U prvního návrhu je největší tloušťka 6 mm na okrajích, nejmenší 4 mm ve vybrání a písmo má 6,5 mm. Všechny hrany u modelů jsou zaobleny, jelikož by při odlévání mohli působit jako možné koncentrátoři napětí, anebo by je kov vůbec nemusel vyplnit. Rádiusy jsou různé podle tloušťky, délky a výsledného vzhledu. Jelikož se jedná o lití do skořepiny, tak nemusí být nikterak velké. Povrch nebude dále obráběn, takže odlévání bude probíhat na čisto, a z toho důvodu na modelu nejsou žádné přídávky. Kvůli lepšímu zaběhnutí kovu, esteticke a efektivnějšímu procesu při modelování byly přidány úkosy. Drobné detaily, jako roky a zkratka BC., jsou nezaoblené ani neobsahují úkosy, protože by s nimi při odlévání neměl být problém.



Obr. 63 První návrh modelu.



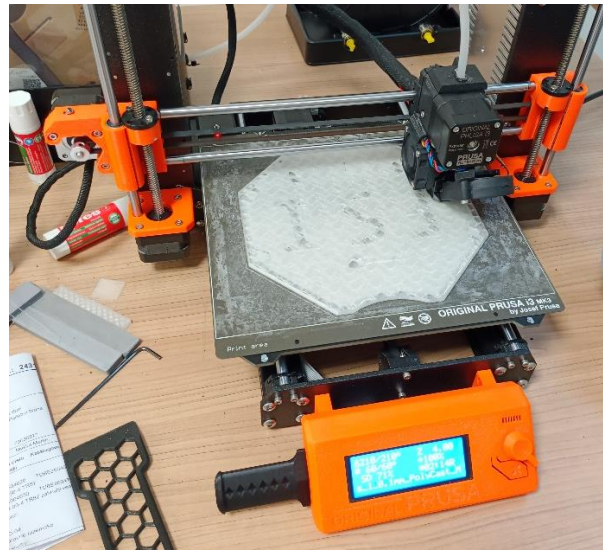
Obr. 64 Druhá verze modelu.

4.1 Postup výroby

Model byl zhotoven rapid prototypingem a to metodou FDM. Tisk byl proveden na stroji Průša přímo na ústavu, a to na modelu Prusa i3 MK3 viz obr. 65. Materiál navinutý na cívce, byl postupně taven hlavicí a byl nanášen plynule po vrstvách viz obr. 66. Zvoleným materiálem pro 3D tisk byl polycast. Je vhodný pro metodu vytavitelného modelu, kdy vytisknutá součást nahradí voskový model a tím pádem odpadne nutnost výroby kovové matečné formy nebo odlití modelu do pískové formy. Materiál nezanechává zbytkový popel, a tak je výsledný odlitek bez kazů. Vytváří poměrně kvalitní povrch, ale i tak bylo nutné model ručně upravit obr. 67;68. Podpory vzniklé tiskem byly zčištěny a voskem se zapravily praskliny a vady povrchu. [78]



Obr. 65 Tiskárna pro 3D.



Obr. 66 Průběh tisku.



Obr. 67 Výtisk modelu 1.



Obr. 68 Výtisk modelu 2.

Na upravený model se nakapal vosk ve dvou místech. Následně byla nahřata plocha voskového hranolu a kapek vosku, díky čemuž mohly být části spojeny do sebe. Z místa byl odstraněn přebytečný materiál a styková plocha byla mírně natavena, aby vytvořila malý rádius. Na pohyblivé rameno byl přimontován voskový kůl, který slouží jako model vtokové soustavy. Model byl přiložen těsně ke kůlu a pájecí pistolí byly nahřívány plochy mezi hranoly a kůlem. Po natavení byly obě komponenty spojeny do jedné. Stykové plochy byly opět lehce nataveny, aby případné nerovnosti nekomplikovaly vyplnění dutiny. Nakonec k modelu a keramickému vtoku byly přitaveny voskové trubičky symbolizující výfuky. Obdobně byl přidělán i druhý model, který měl pouze jeden výfuk. Oba modely byly připevněny pár centimetrů ode dna, aby docházelo k plynulému plnění formy.



Obr. 69 Stromeček.



Obr. 70 Ruční obalování v břečce.



Obr. 71 Zaprášení zirkonovým práškem.

Výsledný stromeček **obr. 69** byl ručně obalen do primárního obalu. Následně byl stromeček ponořen do husté břechky **obr. 70**, která se skládá z vody a vyššího podílu křemičitanu. Poté byl poprášen jemným zirkonovým prachem **obr. 71**. Obal byl sušen na vzduchu **obr. 72** po dobu přibližně čtyř hodin. Jelikož se jedná o umělecký odlitek, tak byl využit meziobal. Pro vytvoření meziobalu byla použita řidší břечka a posyp molochitovou drť **obr. 73** pro kvalitní obalení detailů a hran **viz obr. 74**, kde by se křemičitý písek nemusel uchytit. Proces probíhal ručně, aby břечka zaběhla všude a nevznikly na modelu zbytečné kapky, které by neudržely drť. Vytvrzení probíhalo opět na vzduchu.



Obr. 72 Schnoucí primární obal.



Obr. 73 Molochitová drť.



Obr. 74 Uschlý meziobal.



Obr. 75 Namáčení do břечky pro sekundární obal.

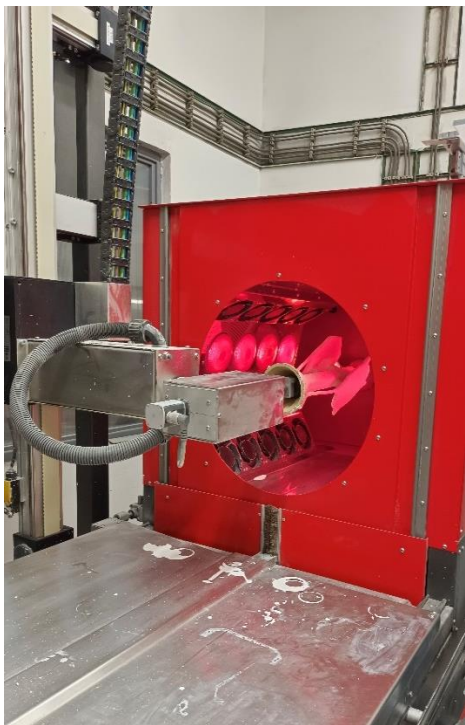
Sekundární obaly byly zhotoveny strojně **obr. 75; 76** na robotickém pracovišti Cyclone od MK technology **obr. 77**. Sušení probíhalo v infra červené komoře, kdy na obal byl foukán vítr z větráků **obr. 78**, doba zhotovení jednoho sekundárního obalu byla 20 minut. Břečka byla opět řídkší, aby vyplnila díry v primární vrstvě a skořepina tak získala větší těsnost. Jako posyp byl použit už hrubý křemičitý písek. Celkem bylo nanášeno 10 vrstev. Model byl následně po dobu přibližně 30 minut vytavován při 650 °C. Před žiháním byla skořepina zkontrolována na přítomnost prasklin, které mohly vzniknout dilatací modelu při vytavování. Následně byla skořepina vložena do pece LAC PK 360/12 **obr. 79** na provedení keramizačního žihání při 730 °C s výdrží 1 hodiny. Teplota začínala na 150 °C a zvyšovala se o 4 °C/min.



Obr. 76 Obalování v křemičitém ostrivu.



Obr. 77 Stroj Cyclone.



Obr. 78 Sušící komora.



Obr. 79 Pec pro keramizační žihání.

4.2 Proces odlévání

Následující den po vyžihání skořepiny **obr. 80** bylo přistoupeno k samotnému lití. Prvním krokem byla temperace skořepiny a kelímku s postupným nárůstem na 1100 °C. Temperování kelímku je nutné pro zkrácení doby tavení a tím snížení oxidace. Skořepina se přehřívá, aby při odlévání nepraskla vlivem tepelného šoku. Po uplynutí dvou hodin byla přidána čistá měď ve formě drátů, která byla zahřívána, dokud nebyla kompletně roztavena. Celkově bylo 10 kilo vsázky **viz obr. 81** obsahující přibližně 60 % mědi, 20 % manganu a 20 % zinku.



Obr. 80 Vyžihaná skořepina.



Obr. 81 Vsázka.

Po 45 minutách byla tavenina promíchána ocelovou tyčí, aby byl zkontrolován stav roztaveného kovu. Kdyby se měď kompletně neroztavila, mohla by po přidání dalších prvků zůstat v tuhém stavu a působit problémy s litím. Do taveniny byl přehozen borax (tetraboritan sodný) k dezoxidaci a zušlechtnění zrna. Následně byl postupně přidáván mangan a byla sledována jeho rozpustnost v mědi. Teplota pece **obr. 82** byla navýšena na 1200 °C. Mangan se ze začátku rozpouštěl pomalu, ale s rostoucím objemem taveniny šlo rozpouštění rychleji. Když v kelímku byla zhruba půlka vsázky manganu, byl znovu přidán borax. Mosaz byla přehřívána na plameni, aby se předešlo ochlazení taveniny a urychlil tavící proces. Pro kontrolu byla tavenina promíchána tyčí. Po úplném roztavení manganu byl přidán borax a postupně dávkována mosazná část vsázky. Dokončené vsázení bylo následováno promícháváním taveniny a přidáním zahušťovadla strusky. Roztavený kov **obr. 83** byl postupně zchlazován na lící teplotu. Po dvou měření tepelnou sondou byl kelímek vyjmut a stažena struska. Následně byla dvakrát změřena teplota **obr. 84** a při 980 °C byl kov přepraven k lití. Odlévání probíhalo do skořepiny ponořené v sudu s pískem **obr. 85;86** kvůli teplotní izolaci. Po hodině byl barel převrhnut a byla opatrně vyjmuta skořepina. Forma následně ještě byla chlazená vodou **obr. 87** v podobě postřiku rozprašovačem po dobu 30 minut. Až skořepina dostatečně vychladla, byla rozbита kladivem údery do vtokové soustavy **obr. 88**. Při oklepávání odpadly dva výfuky a zanechali drobné vady. [79]



Obr. 82 Tavicí agregát.



Obr. 83 Proces tavení.



Obr. 84 Měření teploty a odstraněná struska.



Obr. 85 Odlévání.



Obr. 86 Tuhnoucí kov.



Obr. 87 Skořepina po postupném ochlazování.



Obr. 88 Hrubý odlitek.

4.3 Úpravy

Po hrubém odstranění keramického obalu byl stromeček přenesen na pracoviště s pískovací tryskou. Pískováním byly odstraněny poslední zbytky skořepiny **obr. 89;90**, které byly přichyceny na odlitcích. Následně byly odlitky odřezány úhlovou bruskou od vtokové soustavy. Zbytky po vtocích byly zabroušeny bruskou s lamelovým brusným kotoučem.



Obr. 89 Opískovaný stromeček z jedné strany.



Obr. 90 Opískovaný stromeček z druhé strany.

Nerovný povrch na zadní straně byl taktéž zabroušen zmíněnou brusku **obr. 91;92**. Dále bylo nutné odstranit zálupy **obr. 93**, tenkou vrstvu keramiky, která byla překrytá kovem a způsobovala vady na odlitcích. K odstranění vad byla využita malá ruční frézka s karbidovým nástrojem a malý sekáček s kladivem. Dostupné rovné plochy se zálupy byly vyfrézovány, v hůře dostupných místech byly vady vysekány. Upravené povrchy po vysekávání byly dle dostupnosti zahlazeny frézku **obr. 94**. Boční strana menšího odlitku byla celá ofrézována a byly dle možností opraveny vady vzniklé odpadem výfuků při odstraňování skořepiny.



Obr. 91 Přebroušený povrch prvního odlitku.



Obr. 92 Přebroušená záda druhého odlitku.



Obr. 93 Příklad zálupů na odlitku.



Obr. 94 Povrch po odstranění zálupů.

Odlitky byly podruhé opískovány **obr. 95**, aby bylo dosaženo co nejvyšší barevné homogenity. Finální povrchovou úpravou bylo broušení excentrickou bruskou. K opracování byly využity brusné papíry o různých drsnostech. Jako první byl použit papír s drsností 60 pak 120 a nakonec 160. Leštěnými plochami byl pouze okraj, vystouplá písmena, číslice a obrazce **obr. 96;97**.



Obr. 95 Podruhé opískovaný odlitek.



Obr. 96 Finální podoba prvního odlitku.



Obr. 97 Finální podoba druhého odlitku.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo zhotovení libovolného uměleckého odlitku. V teoretické části se práce věnuje rozboru zadání a variantnímu způsobu řešení výroby. V návaznosti je krátce rozebrána historie měděných slitin sahající tisíce let do minulosti. Poslední částí rešeršní oblasti je popis měděných slitin, které se běžně využívají, nebo by se potencionálně dali využít v uměleckém slévárství. Na teoretickou část navazuje praktická část, která je věnována výrobě samotného uměleckého odlitku.

Vybranou součástí byla přezka na šampionský pás, který je udělován v bojových sportech za úspěchy atleta. Zhotovení proběhlo technikou lití do skořepiny za využití vytavitelného modelu zhotoveného 3D tiskem z materiálu polycast. Na jednom z modelů bylo využito podpor k zhotovení tisku, které po odstranění zanechali hrubý členitý povrch. Předejít by se tomu dalo vhodnější úpravou modelu nebo použitím odlišného materiálu pro podpory. Na povrchu modelu byly patrné vrstvy po tisku, které by se daly naleptat izopropylalkoholem k vyhlazení, ale chemikálie nebyla v daný okamžik k dispozici. Proces obalování do skořepiny a následné tepelné úpravy proběhly bez potíží. Při tavení vsázky se vyskytnul problém s rozpustností manganu, kdy kov příliš ochlazoval taveninu a pomalu se v ní rozpouštěl. Možným řešením by byla volba větších kusů manganu, které by se daly předežhřát anebo mít větší objem taveniny, aby nedocházelo k markantnímu ochlazení. Samotné odlévání následně proběhlo bez komplikací.

Z teorie vyplývá, že skořepina by měla obtisknout i drobné detaily a měla by zanechat kvalitní povrch. Druhým předpokladem bylo, že zvolený materiál v podobě manganové mosazi by měl vyplnit formu se všemi jejími detaily bez problémů. Obou teoretických předpokladů bylo úspěšně dosaženo, protože na odlitku byly patrné všechny detaily, které byly i na tisknutém modelu, včetně jednotlivých vrstev. Jednou z vad byly povrchové nerovnosti v místě výfuků, které odpadly při odstraňování skořepiny. Vadě by se dalo předejít nižší teplotou lití anebo lepším upevněním výfuků při tvorbě stromečku. Dalšími nedokonalostmi byly zálupy, vzniklé v některých místech u vystouplého písma. Zabránit vzniku záluv by se dalo snížením lící teploty kovu.

Hotový odlitek splňuje předpoklady a cíle bakalářské práce. Povedlo se zhotovit umělecký odlitek za pomoci kovu, se kterým se ve školní slévárně doposud nepracovalo. Dalším rozšířením bakalářské práce by mohlo být srovnání mezi přesným litím a litím do sádry nebo porovnání různých měděných slitin př. alpaka, křemíkový bronz, žlutá mosaz atd. Také by se dalo zabývat možnostmi patinace zvoleného kovu a její vliv na strukturu povrchu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Podle pana Vítězslava Pernici (přednáška Moderní slévárenské technologie, dne 20. 9. 2023), Brno: VUT v Brně
 2. *Odlévání*. Online. In: IStock. 2018. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/unikatni-technologie-3d-tisku-pisku>. [cit. 2023- 12-21].
 3. *Unikátní technologie 3D tisku písku*. Online. 2015, roč. 15, č. 6. Průmyslové spektrum, 2015. Dostupné z: Průmyslové spektrum, <https://www.mmspektrum.com/clanek/unikatni-technologie-3d-tisku-pisku>. [cit. 2023-12-21].
 4. *Animalistická tematika: Soška Lvice*. Online. In: Bronzsocha. ©2024. Dostupné z: <https://www.bronzsocha.cz/shop/animalisticka-tematika-cs/zivocisna-rise-zivocisna-rise/soska-lvice/>. [cit. 2024-05-18].
 5. *Galerie výrobků: umělecké odlitky*. Online. In: Přesné odlitky. 2016. Dostupné z: <http://www.presne-odlitky.cz/vyroba-odlitku.html>. [cit. 2023-12-21].
 6. *UFC Role Play Championship belt*. Online. In: Ubuy Co. 2021. Dostupné z: <https://www.ubuy.co.in/product/1AOEQ8I-ufc-role-play-championship-belt-one-size-fits-all-authentic-look-and-detail-be-the-ultimate-fighting-champion-ready-for-playtime-wrestling-boxing>. [cit. 2024-05-16].
 7. *Amazing MMA UFC Bellator...* Online. In: Wbelts. Dostupné z: <https://wbelts.com/product/amazing-mma-ufc-bellator-kickboxing-world-championship-fighting-belt/>. [cit. 2024-05-16].
 8. ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2790-6.
 9. KONEČNÁ, Radomila. *Copper and Copper Alloys: Casting, Classification and Characteristic Microstructures*. Online. In: IntechOpen, 2012. ISBN 9789535101604. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/39014>. [cit. 2024-05-18].
 10. *Brass and Bronze*. Online. Belmont metals. ©2024. Dostupné z: <https://www.belmontmetals.com/product-category/brass-and-bronze/>. [cit. 2024-05-16].
 11. *C99700*. Online. Copper Development Association. ©2024. Dostupné z: <https://alloys.copper.org/alloy/C99700>. [cit. 2024-05-16].
 12. ASIANCOPPER. *Typy slitin mědi*. Online. Sichuan Kepai New Material Co. 2020. Dostupné z: <https://cz.asiancopper.com/news/types-of-copper-alloys-38914685.html>. [cit. 2024-05-16].
 13. *C87610 Copper-Silicon Alloy*. Online. St. Paul Foundry. ©2024. Dostupné z: https://stpaulfoundry.com/AlloySpecs/alloy_specifications_data_page.aspx?id=C87610. [cit. 2024-05-16].
 14. *C86200*. Online. Copper Development Association. ©2024. Dostupné z: <https://alloys.copper.org/alloy/C86200>. [cit. 2024-05-16].
 15. *3D tisk spékáním práškové vrstvy*. Online. Cotu s.r.o. Dostupné z: <https://www.cotu.cz/blog/90/praskovy-3d-tisk>. [cit. 2024-05-16].
 16. *Razítkování: Lisování dílů za studena*. Online. EMG presses. Dostupné z: <https://www.emg-lisy.cz/zastosowania/8/razitkovani/>. [cit. 2024-05-16].
 17. *3D tisk kovových materiálů*. Online. In: NOVÁ MÉDIA, S. R. O. STROJIRENSTVI.CZ. © 2013-2024. Dostupné z: <https://www.strojirenstvi.cz/3d-tisk-kovovych-materialu/>. [cit. 2024-05-16].
-

-
18. *Hydraulické lisy*. Online. In: ŽĎDAS, a.s. © 2021. Dostupné z: <https://www.zdas.com/cs/produkce/hydraulicke-lisy/>. [cit. 2024-05-16].
 19. *CNC frézování: Princip CNC frézování*. Online. Seco Industries, s.r.o. Dostupné z: <https://www.seco-slevarna.cz/cnc-frezovani/>. [cit. 2024-05-16].
 20. *What is High Pressure Die Casting?* Online. Chicago White Metal Casting, Inc. ©2024. Dostupné z: <https://cwmdiecast.com/what-we-do/die-casting-process/what-is-high-pressure-die-casting/>. [cit. 2024-05-16].
 21. COPPER DEVELOPMENT ASSOCIATION A NON-FERROUS FOUNDERS' SOCIETY. *Copper casting alloys*. Online. 2007. Dostupné z: https://www.copper.org/publications/pub_list/pdf/7014.pdf. [cit. 2024-05-16].
 22. CAMPBELL, John. *Castings: the new metallurgy of cast metals*. Second edition. Amsterdam: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2003. ISBN 0-7506-4790-6.
 23. *Low Pressure Die Casting*. Online. ZheJiang Dongrun Casting Industry Co. 2023. Dostupné z: <https://www.dongruncasting.com/news/Low-Pressure-Die-Casting-A-Comprehensive-Guide-to-the-Process.html>. [cit. 2024-05-16].
 24. *SOLIDCAM 3 D FRÉZOVÁNÍ*. Online. In: SolidVision, s.r.o. 2021. Dostupné z: <https://www.solidvision.cz/cam-reseni/cnc-frezovani/solidcam-3d-frezovani>. [cit. 2024-05-16].
 25. *Permanent Mold Casting*. Online. In: The Federal Group USA. ©2024. Dostupné z: <https://www.tfgusa.com/capabilities/permanent-mold-casting/>. [cit. 2024-05-16].
 26. *Low Pressure Die Casting Machine*. Online. In: Wuxi Judexing Technology Co. Dostupné z: <http://jdx-filtration.com/3-1-low-pressure-die-casting-machine.html>. [cit. 2024-05-16].
 27. *Metal Casting Methods*. Online. USG Hydrocal. 1997. Dostupné z: https://www.usg.com/content/dam/USG_Marketing_Communications/united_states/product_promotional_materials/finished_assets/hydrocal-gypsum-cements-application-en-IG538.pdf. [cit. 2024-05-16].
 28. *Sand Casting*. Online. In: Weld2Cast. © 2021. Dostupné z: <https://www.weld2cast.com/sand-casting/>. [cit. 2024-05-16].
 29. PAGNI, James. *How slip casting and plaster molds work*. Online. In: Artsyn. 2021. Dostupné z: <https://artsyn.com/blogs/news/how-slip-casting-and-plaster-molds-work>. [cit. 2024-05-16].
 30. *The History of Investment Casting*. Online. In: Intercast Inc. 2022. Dostupné z: <https://intercast.com/2022/01/20/history-investment-casting/>. [cit. 2024-05-16].
 31. ARCHEOLOGIE NA DOSAH. *Zpracování kovů-bronz*. Online. 2015. Dostupné z: https://www.archeologienadosah.cz/sites/default/files/zpracovani_kovu_-_bronz_0.pdf. [cit. 2024-02-17].
 32. *History of Bronze Castings*. Online. BronzeSmith. 2015. Dostupné z: <https://www.thebronzsmith.com/blog/2015/8/17/history-of-bronze-from-the-book-methods-of-modern-sculptors-by-ronal-d-young-rober-a-fennell>. [cit. 2024-02-17].
 33. KHAN, Muhammad Azhar Ali; SHEIKH, Anwar Khalil a AL-SHAER, Bilal Suleiman. *Evolution of Metal Casting Technologies*. Cham: Springer International Publishing, 2017. ISBN 3319466321. ISSN 2191-530X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46633-0>.
 34. LEIBBRANDT, Alexander. *Civilization and copper*. Online. Santiago: Codelco, 2001. ISBN 0-943642-12-13. Dostupné z: https://copper.org/publications/pub_list/pdf/civilization-and-copper.pdf. [cit. 2024-05-16].
-

-
35. *Žádné obětiště: Současný pohled na svatyni Habrůvka*. Online. In: Lumyd. 2021. Dostupné z: <https://lumyd.eu/article/zadne-obetiste-soucasny-pohled-na-svatyni-habruvka-by-ci-skala-moravske-halstatske-centrum/44>. [cit. 2024-05-16].
 36. TYLECOTE, Ronald F. *A history of metallurgy*. Online. 2nd. Maney, 1992. ISBN 1-902653-79-3. Dostupné z: https://www.academia.edu/25202180/R_F_Tylecote. [cit. 2023-12-26].
 37. WRIGHT, Roger N. Chapter 13 - Relevant Aspects of Copper and Copper Alloy Metallurgy. In: *Wire Technology*. 2nd. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2016, s. 177-200. ISBN 978-0-12-802650-2. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802650-2.00013-3>.
 38. HELMENSTINE, Anne. *What is bronze?* Online. Science notes. 2021. Dostupné z: <https://sciencenotes.org/what-is-bronze-composition-uses-and-properties/>. [cit. 2024-02-17].
 39. DEBUT, Vincent; CARVALHO, Miguel; FIGUEIREDO, Elin; ANTUNES, José a SILVA, Rui. The sound of bronze: Virtual resurrection of a broken medieval bell. Online. *Journal of Cultural Heritage*. 2016, roč. 19, č. 19, s. 544-554. ISSN 12962074. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.09.007>. [cit. 2024-05-16].
 40. MATHIEU, Dominique. *A Brief History of Bronze Sculpture*. Online. Artsper. 2022. Dostupné z: <https://blog.artsper.com/en/a-closer-look/a-brief-history-of-bronze-sculpture/>. [cit. 2024-05-16].
 41. *Bronze Sculpture: Everything You Need to Know*. Online. Mayfair Gallery. 2018. Dostupné z: <https://www.mayfairgallery.com/blog/bronze-sculpture-everything-you-need-to-know/>. [cit. 2024-05-16].
 42. *History of Bronze Timeline*. Online. Makin Metal Powders. © 2023. Dostupné z: <https://www.makin-metals.com/history-of-bronze/>. [cit. 2024-05-16].
 43. TYKOT, Robert H. *Investigating Ancient "Bronzes": Non-Destructive Analysis of Copper-Based Alloys*. Online. J. Paul Getty Museum. © 2017. Dostupné z: <https://www.getty.edu/publications/artistryinbronze/conservation-and-analysis/36-tykot/#bibliography>. [cit. 2024-05-16].
 44. *Temples of Nara and Kamakura, Japan*. Online. Travel Well, Fly Safe. 2014. Dostupné z: <https://travelwellflysafe.com/2014/03/06/temples-of-nara-and-kamakura-japan/>. [cit. 2024-05-16].
 45. *The Bell and Drum Towers*. Online. In: Mybeijingchina. ©2006-2024. Dostupné z: <https://www.mybeijingchina.com/beijing-attractions/the-drum-tower-and-the-bell-tower/>. [cit. 2024-05-16].
 46. *Perseus a Medusa*. Online. In: CiaoItalia. 2019. Dostupné z: <https://www.ciaoitalia.cz/perseus-a-medusa/>. [cit. 2024-02-17].
 47. CHASE, W.T a . Chinese bronzes: casting, finishing, patination, and corrosion: casting, finishing, patination, and corrosion. *Ancient and historic metals*. 1993, s. 85-117. ISSN 9780892362318.
 48. HUAN, Yang a JINGNAN, Du. A Review of the History of Research in Lost-Wax Casting in Bronze Age China Over the Past Century. *Advances in Archaeomaterials*. 2022, roč. 3, č. 2, s. 47-55. ISSN 2667-1360. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aia.2023.06.002>.
 49. BAGLEY, Robert W. Shang Ritual Bronzes: Casting Technique and Vessel Design: Casting Technique and Vessel Design. *Archives of Asian Art*. 1990, roč. 43, s. 6. Dostupné také z: <http://www.jstor.org/stable/20111203>.
-

-
50. *Lost wax proces*. Online. Firebird Bronze. ©2024. Dostupné z: <https://firebirdbronze.com/lost-wax-process/>. [cit. 2024-02-18].
 51. *Stopové prvky - měď*. Online. Sportvital pro s.r.o. 2010. Dostupné z: <https://www.sportvitalpro.cz/zdravi/stopove-prvky-med>. [cit. 2024-02-20].
 52. UDOMPHOL, Tapany. *Copper and its alloys*. Online. 2007. Dostupné také z: https://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/matscienceii/lectures2017/04_Copper%20and%20copper%20alloys.pdf.
 53. FÖLL, Helmut. *10. A Short History Of Metals: Smelting Copper - The First*. Online. Iron, Steel and Swords script. Dostupné z: <https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/>. [cit. 2024- 05-16].
 54. DAVIS, Joseph R. *ASM Specialty Handbook - Copper and Copper Alloys*. ASM International, 2001. ISBN 0871707268.
 55. *Měď*. Online. MetalCentrum s. r. o. © 2024. Dostupné z: <https://www.metalcentrum.cz/med/>. [cit. 2024-05-18].
 56. *Cu-ETP*. Online. Gebr. Kemper GmbH + Co. KG. Dostupné z: <https://www.kemper-group.com/cz/oblasti-cinnosti/pasy/material/medi/cu-etp/>. [cit. 2024-05-18].
 57. *Měď*. Online. Jaroslav Calta. ©2024. Dostupné z: <https://www.bronz-calta.cz/cs/produkty/materialy-a-normy/med>. [cit. 2024-02-21].
 58. *Měďěnka*. Online. In: OKO. Dostupné z: <http://oko.yin.cz/111/medenka/>. [cit. 2024- 02- 21].
 59. *Jak se vyrábějí měděné dráty*. Online. In: Megamix s.r.o. © 2019-2024. Dostupné z: <https://www.megamix.shop/blog/post/jak-se-vyrabeji-medene-draty>. [cit. 2024-05-18].
 60. *Auf Biertour mit der S-Bahn: Münchner Brauereien abseits des Mainstreams*. Online. In: Bahn München. Dostupné z: <https://www.s-bahn-muenchen.de/Entdeckerzone/MitEuchUnterwegs/kleine-brauereien>. [cit. 2024-02-21].
 61. Hansen, S. “Arsenic Bronze. An Archaeological Introduction...” *Eurasia Antiqua*, online, vol. 23, no. 23, 2021, pp. 1-24, <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.11588/propylaeumdok.00005305>.
 62. *Fosforový Bronz C50500...* Online. In: Jiashan Roncan Slide Angle Co., Ltd. Dostupné z: <http://cz.glidlager.com/bronze-alloy/phosphor-bronze/phosphor-bronze-c50500-c5.html>. [cit. 2024-05-17].
 63. *The Tsar Cannon (Moscow, Russia)*. Online. In: Buyoya. ©2016. Dostupné z: <https://buyoya.com/the-giant-tsar-cannon-moscow-russia/>. [cit. 2024-05-17].
 64. COPPER DEVELOPMENT ASSOCIATION. *Copper Alloys in Sculpture*. Online. SCHOOLSCIENCE. © 2024. Dostupné z: <https://www.schoolscience.co.uk/copperalloysinsculpture>. [cit. 2024-05-17].
 65. *Bronzová busta Tomáš Garrigue Masaryk*. Online. In: AUKRO s.r.o. © 2003–2024. Dostupné z: <https://aukro.cz/bronzova-busta-tomas-garrigue-masaryk-6967027371>. [cit. 2024-05-17].
 66. *Gun Metal statue*. Online. In: IndiaMART InterMESH Ltd. © 1996-2024. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/gun-metal-statue-13076537662.html>. [cit. 2024- 05- 17].
 67. SAHOO, Madhumita; SAHU, Sumanta; WHITING, L. V. a SADAYAPPAN, K. *Casting Copper-Base Alloys*. 3rd. American Foundry Society (AFS), 2015. ISBN 978-0-87433-446-3. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCCBAE002/casting-copper-base-alloys/casting-copper-base-alloys>.
-

-
68. *Everdur Silicon Bronze for Sculpture and Jewelry Applications*. Online. Belmont Metals. 2021. Dostupné z: <https://www.belmontmetals.com/everdur-silicon-bronze-for-sculpture-and-jewelry-applications/>. [cit. 2024-05-17].
 69. *ABOUT SILICON BRONZE CASTING*. Online. In: Buccacio Sculpture Services LLC. 2020. Dostupné z: <https://buccaciosculptureservices.com/portfolio/bronze-casting/>. [cit. 2024-05-17].
 70. *Manganese Bronze: Definition, Composition,*. Online. Xometry. 2024. Dostupné z: <https://www.xometry.com/resources/materials/manganese-bronze/>. [cit. 2024-05-17].
 71. *Manganese Bronze*. Online. 911Metallurgist. © 2012-2021. Dostupné z: <https://www.911metallurgist.com/manganese-bronze/>. [cit. 2024-05-17].
 72. *ART CASTING WITH BRONZE AND BRASS*. Online. Belmont metals. 2018. Dostupné z: <https://www.belmontmetals.com/art-casting-with-bronze-and-brass/>. [cit. 2024-05-17].
 73. *Desk Sculpture Masterpiece in Manganese Bronze*. Online. In: EBay Inc. © 1995-2024. Dostupné z: <https://www.ebay.ca/itm/374222051255>. [cit. 2024-05-17].
 74. *Manganese Bronze Alloys*. Online. In: Warner Brothers Foundry. © 2023. Dostupné z: <https://www.wbcastings.com/non-ferrous-alloys/brass-bronze/maganese-bronze/>. [cit. 2024-05-17].
 75. *Copper and Copper Alloys Casting Problems*. Online. Total Materia AG. 2002. Dostupné z: <https://www.totalmateria.com/articles/copper-and-copper-alloys-casting-problems>. [cit. 2024-05-17].
 76. BRUNHUBER, Ernst. *Guss aus Kupferleierungen: (Casting copper-base alloys)*. Berlin: Schiele & Schön, 1986. ISBN 3794904443.
 77. *WWE World Heavyweight Champion*. Online. Fanatics, Inc. ©2024. Dostupné z: https://shop.wwe.com/en/wwe-world-heavyweight-champion-mini-title-belt/p-465566247977906303+z-8-3883431479?_ref=p-DLP:m-GRID:i-r11c1:po-34. [cit. 2024- 05-17].
 78. POLYMAKER POLYCAST. *Polymaker PolyCast*. Online. 3Dwiser. 2024. Dostupné z: <https://eshop.3dwiser.com/tiskove-struny/polymaker-polycast/>. [cit. 2024-05-17].
 79. BROWN, John R. *Foseco non-ferrous foundryman's handbook*. 11th. Oxford: Elsevier, 2005. ISBN 0-7506-4286-6.
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbole

Označení	Legenda	Jednotka
A	tažnost	[%]
Al	hliník	[-]
Be	beryllium	[-]
Cr	chrom	[-]
CO	oxid uhelnatý	[-]
Cu	měď	[-]
Cu ⁺²	ion mědi	[-]
CuO	oxid měďnatý	[-]
Cu ₂ O	oxid měďný	[-]
H	vodík	[-]
H ⁺	ion vodíku	[-]
H ₂ O	voda	[-]
H ₂ SO ₄	kyselina sírová	[-]
Mn	mangan	[-]
Ni	nikl	[-]
Pb	olovo	[-]
R ₂ Cu	načtená organická látka	[-]
RH	výměnná organická látka	[-]
R _m	mez pevnosti	[MPa]
R _{p0,2}	mez kluzu	[MPa]
Si	křemík	[-]
Sn	cín	[-]
SO ₄ ⁻²	síranový ion	[-]
Zn	zinek	[-]

Zkratky

Označení	Legenda
BCC	Prostorově středěná kubická mřížka
FCC	Plošně středěná kubická mřížka
FDM	Fused deposition modeling
HB	Tvrdost podle Brinella

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Materiálový list pro bílou manganovou mosaz C99700
Příloha 2	Materiálový list pro manganový bronz C86200
Příloha 3	Materiálový list pro křemíkový bronz C87610

SEZNAM VÝKRESŮ

Přezka 1.	2024-BP-239032-01
Přezka 2.	2024-BP-239032-02

Příloha 1

Materiálový list pro bílou manganovou mosaz C99700

C99700

1/1

Tradename: White Manganese Brass
 Designation:
 Type: Cast
 Class: SPECIAL ALLOYS , Special Alloys
 Active? true
 Inactive Date:
 Antimicrobial? false

[Find suppliers for this alloy](#)

Chemical Composition

	Elements							
	Cu ⁽¹⁾	Pb	Sn	Zn	Fe	Ni	Al	Mn
Min (%)	54.0			19.0		4.0	0.50	11.0
Max (%)		2.0	1.0	25.0	1.0	6.0	3.0	15.0

(1) Cu + Sum of Named Elements 99.7% min.

Mechanical Properties *

Form	Temper	Temper Code	Tensile Strength (ksi)	YS-0.5% Ext (ksi)	Elongation (%)	Brinell Hardness, 3000 kg load
As Die Cast	As Pressure Die Cast	M04	65 Typ	27 Typ	15 Typ	125 Typ
As Sand Cast	As Sand Cast	M01	55 Typ	25 Typ	25 Typ	110 Typ

* Measured at room temperature, 68°F (20°C).

Physical Properties

Melting Point - Liquidus °F	1655
Melting Point - Solidus °F	1615
Density lb/cu in. at 68°F	0.296
Specific Gravity	8.19
Electrical Conductivity % IACS at 68°F	3
Modulus of Elasticity in Tension ksi	16500

Casting Characteristics

Casting Attribute	Level
Casting Yield	Medium
Drossing	Medium
Effect of Section Size	Low
Fluidity	High
Gassing	Low
Patternmakers Shrinkage inches per inch	4/16
Shrinkage in Solidification	Medium

Materiálový list pro manganový bronz C86200

C86200

[Find suppliers for this alloy](#)

Tradename:
 Designation:
 Type: Cast
 Class: BRASSES , Manganese Bronze and Leaded Manganese Bronze Alloy (High Strength Yellow Brasses)
 Active? true
 Inactive Date:
 Antimicrobial? false

Chemical Composition

	Elements							
	Cu ^(1,2)	Pb	Sn	Zn	Fe	Ni ⁽²⁾	Al	Mn
Min (%)	60.0			22.0	2.0		3.0	2.5
Max (%)	66.0	0.20	0.20	28.0	4.0	1.0	4.9	5.0

(1) Cu + Sum of Named Elements 99.0% min.
 (2) In determining Cu min., Cu may be calculated as Cu + Ni.
 (3) Ni value includes Co.

Mechanical Properties *

Form	Temper	Temper Code	Tensile Strength (ksi)	YS-0.5% Ext (ksi)	Elongation (%)	Brinell Hardness, 3000 kg load	Izod (ft-lbs)	Compressive Strength .001 in. set/in. (ksi)
As Centrifugal Cast	As Centrifugal Cast	M02	90 Min for Standard					
As Continuous Cast	As Continuous Cast	M07	90 Min for Standard	45 Min for Standard	18 Min for Standard			
As Sand Cast	As Sand Cast	M01	90 Min for Standard 95 Typ	45 Min for Standard 48 Typ	18 Min for Standard 20 Typ	180 Typ	12 Typ	50 Typ

* Measured at room temperature, 68°F (20°C).

Physical Properties

Melting Point - Liquidus °F	1725
Melting Point - Solidus °F	1650
Density lb/cu in. at 68°F	0.288
Specific Gravity	7.97
Electrical Conductivity % IACS at 68°F	8
Thermal Conductivity Btu/sq ft hr °F at 68°F	20.5
Coefficient of Thermal Expansion 68-572 10 to -6 power per °F (68 - 572°F)	12
Specific Heat Capacity Btu/lb °F at 68°F	0.09
Modulus of Elasticity In Tension ksi	15000
Magnetic Permeability	1.24 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Yield Strength 16 kA/m

Casting Characteristics

Casting Attribute	Level
Casting Yield	Low
Drossing	High
Effect of Section Size	Low
Fluidity	Medium
Gassing	Low
Patternmakers Shrinkage inches per inch	4/16
Shrinkage in Solidification	High

Fabrication Properties

Technique	Suitability
Soldering	Poor
Brazing	Poor
Oxyacetylene Welding	Good
Gas Shielded Arc Welding	Fair
Coated Metal Arc Welding	Good
Machinability Rating	30

Materiálový list pro křemíkový bronz C87610

C87610 Copper-Silicon Alloy

Aliases		
CDA NUMBER	C87610	
Common Name	Cast Copper Silicon	
Specification Composition		
	Minimum	Maximum
Copper (Cu)	90	
Lead (Pb)		0.09
Zinc (Zn)	3	5
Iron (Fe)		0.2
Nickel (Ni)		1
Aluminum (Al)		0.8
Manganese (Mn)		0.25
Silicon (Si)	3	5
Copper + Sum of Named Elements	99.5	
Specification Properties		
(Heat Treat 'F' Denotes As Cast)	Heat Treat State	Minimum
Tensile Strength (ksi)	F	
Yield Strength (.5% extension under load) (ksi)	F	18
Elongation (2 inch gauge length) (%)	F	
Typical Properties		
	Heat Treat State	Typical
Modulus of Elasticity (ksi)		16000
Hardness (Brinell) (HB @ 500kg)		206
Machinability (% of free cutting brass)		40
Impact Strength (Izod) (ft-lb)		33.0
Shear Strength (ksi)		28
Melting Range (Liquidus-Solidus)(F)		1780-1510
Coefficient of Thermal Expansion (per F @ 68-400F)		.000011
Thermal Conductivity (Btu/sq.ft./hr/F @ 68F)		16.4
Specific Heat (Btu/lb/F @ 68F)		.09
Electrical Conductivity (% IACS @ 68F)		6.1
Density (lb/cu.in. @ 68F)		.302
Corrosion Resistance*		
*While corrosion resistance is listed for food products, certain alloys may be unacceptable for other reasons.		
Acetate Solvents	Excellent Resistance	
Acetic Acid, 20 %	Excellent Resistance	
Acetic Acid, 50%	Excellent Resistance	
Acetic Acid, Glacial	Excellent Resistance	
Acetone	Excellent Resistance	
Acetylene	Explosive!	
Alcohols	Excellent Resistance	
Aluminum Chloride	Not Recommended	
Aluminum Sulfate	Excellent Resistance	
Ammonia, Moist Gas	Not Recommended	
Ammonia,Moisture-Free	Excellent Resistance	
Ammonium Chloride	Not Recommended	
Ammonium Hydroxide	Not Recommended	
Ammonium Nitrate	Not Recommended	
Ammonium Sulfate	Excellent Resistance	
Aniline and Aniline Dyes	Not Recommended	
Asphalt	Excellent Resistance	
Barium Chloride	Excellent Resistance	
Barium Sulfide	Not Recommended	
Beer	Excellent Resistance	
Beet Sugar Syrup	Acceptable	
Benzene	Excellent Resistance	
Benzol	Excellent Resistance	
Boric Acid	Excellent Resistance	
Butane	Excellent Resistance	
Calcium Bisulfite	Excellent Resistance	
Calcium Chloride (acid)	Excellent Resistance	
Calcium Chloride (alkaline)	Not Recommended	
Calcium Hydroxide	Not Recommended	
Calcium Hypochlorite	Not Recommended	
Cane Sugar Syrups	Excellent Resistance	
Carbon Dioxide, Dry	Excellent Resistance	
Carbon Dioxide, Moist	Excellent Resistance	
Carbon Tetrachloride, Dry	Excellent Resistance	
Carbon Tetrachloride, Moist	Excellent Resistance	
Carbonated Beverages	Excellent Resistance	
Chlorine, Dry	Excellent Resistance	